

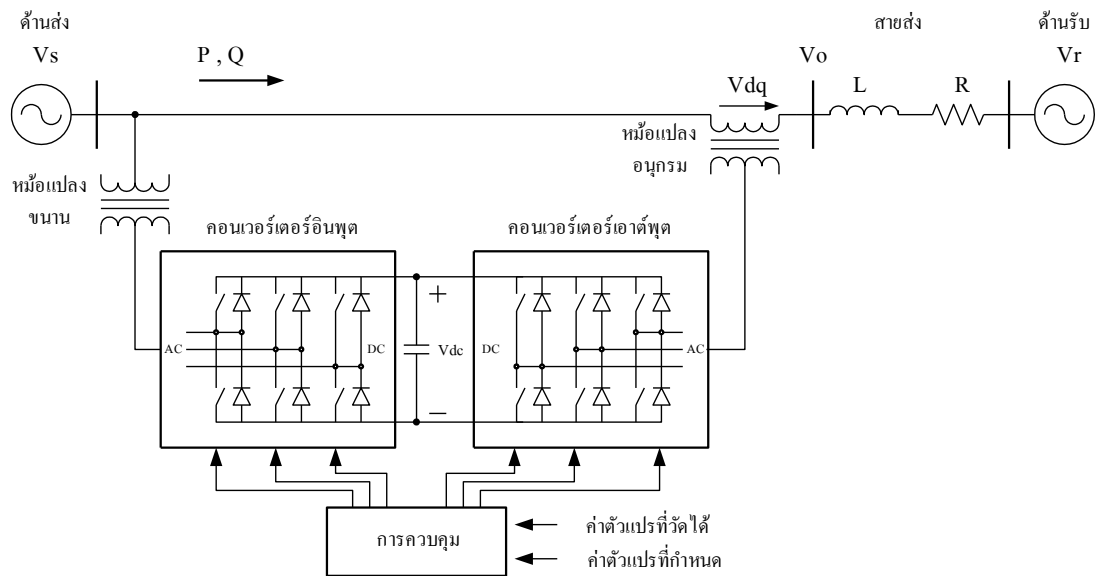
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible Alternating Current Transmission System : FACTS) เป็นระบบที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง ให้มีความเหมาะสมกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดได้รวดเร็ว เทคโนโลยี FACTS มีประโยชน์หลายประการ [11] เช่น ช่วยให้สามารถใช้งานสายส่งที่พิกัดความจุ (capacity) ของสายส่ง ช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า และปรับปรุงเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น อุปกรณ์ FACTS ที่มีใช้งานในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ตัวควบคุมแรงดัน (Static Synchronous Compensator : STATCOM) ตัวควบคุมมุมเฟสที่ใช้ไทรสเตอร์ (Thyristor Controlled Phase-Angle Regulator : TCPAR) ตัวควบคุมกำลังไฟฟ้า (Static Synchronous Series Compensation : SSSC) และตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้ารวม (Unified Power Flow Controller : UPFC) ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดก็จะมีพฤติกรรมการทำงานและมีความเหมาะสมสำหรับใช้แก้ปัญหาที่แตกต่างกัน

UPFC เป็นอุปกรณ์ FACTS ที่มีความซับซ้อนและสามารถทำงานได้ในหลายโหมด [8] [9] [11] เช่น โหมดควบคุมแรงดันบัส โหมดควบคุมมุมเฟส และโหมดควบคุมอิมพีแดนซ์ของสายส่ง เป็นต้น ในรูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของ UPFC ซึ่งประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์กำลังสองตัวเชื่อมกันโดยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง และระบบควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ คอนเวอร์เตอร์อินพุตต่อขนานกับสายส่งโดยผ่านหม้อแปลงขนาน และคอนเวอร์เตอร์เอาต์พุตต่ออนุกรมกับสายส่งโดยผ่านหม้อแปลงอนุกรม การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลทำได้โดยเปลี่ยนขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์เอาต์พุต สำหรับคอนเวอร์เตอร์อินพุตจะทำหน้าที่จ่ายหรือรับกำลังจริงตามที่คอนเวอร์เตอร์เอาต์พุตต้องการผ่านแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง นอกจากนี้คอนเวอร์เตอร์อินพุตยังสามารถจ่ายหรือรับกำลังรีแอกทีฟ เพื่อควบคุมแรงดันบัสด้านส่งได้ด้วย การควบคุมให้คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองทำงานอย่างเหมาะสมจะส่งผลให้ UPFC สามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าได้ตามต้องการ

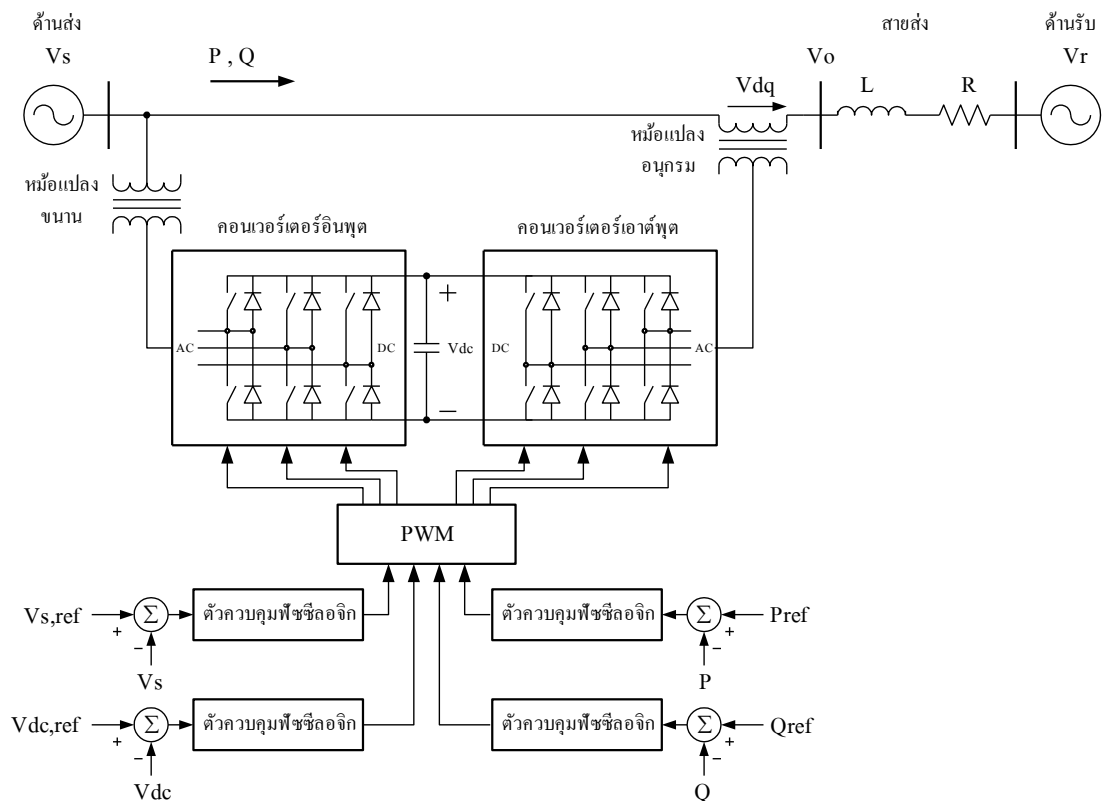


รูปที่ 1.1 โครงสร้างของ UPFC

เนื่องจากวิธีการควบคุม UPFC แบบเดิมใช้ตัวควบคุมพีไอ (Proportional Integral Controller : PI) มีข้อด้อยหลายอย่าง กล่าวคือ ให้ผลตอบสนองช้า ค่าอัตราขยายที่ถูกกำหนดมีช่วงการทำงานแคบ ระบบควบคุมไม่มีความทนทาน (robustness) ต่อความไม่แน่นอนของตัวแปรสายส่ง และไม่สามารถลดปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างคอนเวอร์เตอร์ได้ ทำให้สมรรถนะด้านพลวัตของ UPFC ค่อนข้างต่ำ อันจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมไฟฟ้ากำลังลดลงด้วย นอกจากนี้ในกรณีที่เกิดปฏิสัมพันธ์รุนแรงก็อาจจะทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้

1.2 แนวทางการแก้ปัญหา

UPFC เป็นระบบไม่เป็นเชิงเส้น มีการทำงานที่ซับซ้อน การควบคุม UPFC ควรใช้ตัวควบคุมไม่เป็นเชิงเส้นที่ออกแบบได้ง่าย และการหาคำตอบต้องใช้เวลาสั้น เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานกับระบบจริงได้ และควรมีต้นทุนในการติดตั้งต่ำ เนื่องจากตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเป็นตัวควบคุมไม่เป็นเชิงเส้นที่มีข้อดีหลายประการ [4] กล่าวคือ ค่าอัตราขยายอยู่ในช่วงกว้าง ให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน เหมาะกับระบบที่ค่าตัวแปรไม่แน่นอน และการออกแบบไม่ซับซ้อนเข้าใจง่าย ดังนั้นการใช้ฟัซซีลอจิกควบคุม UPFC จึงน่าจะเหมาะสม และอาจจะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของ UPFC ได้ งานวิจัยนี้จึงนำฟัซซีลอจิกมาปรับปรุงสมรรถนะของ UPFC ในการวิจัยจะกำหนดให้ UPFC ทำงานในโหมดควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุม UPFC โดยใช้ฟัซซีลอจิก

รูปที่ 1.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุม UPFC โดยใช้ฟัซซีลอจิก เอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะไปควบคุม PWM (Pulse Width Modulation) ให้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองให้มีการทำงานที่เหมาะสมตามการเปลี่ยนแปลงของระบบ

1.3 สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Akdag A., *et al.* [1] ได้เปรียบเทียบวิธีควบคุม UPFC ระหว่างวิธีใช้ตัวควบคุมพี (Proportional Controller : P) และวิธีใช้ตัวควบคุมพีไอ ผลการจำลองปรากฏว่า วิธีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอให้ผลตอบสนองดีกว่าเล็กน้อย ในการทดลองใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเชื่อมโยงกับระบบควบคุม และทำการทดลองกับวิธีใช้ตัวควบคุมพีเท่านั้น เพราะมีความง่ายในการติดตั้งและทำงานรวดเร็ว สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อแสดงให้เห็นว่าการควบคุมวิธีตัวควบคุมพีมีความง่าย และให้ผลตอบสนองเพียงพอที่จะใช้ควบคุม UPFC

Round S.D., *et al.* [19] ได้เสนอการควบคุมครอสคัปปลิง (cross-coupling control) สำหรับควบคุมกระแสของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นการใช้แรงดันแกน q ควบคุมกระแสแกน d และใช้แรงดันแกน d ควบคุมกระแสแกน q โดยทำการจำลองและทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันผลการจำลอง แล้วเปรียบเทียบกับวิธีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการควบคุมครอสคัปปลิงมีความทนทานต่อความไม่แน่นอนของค่าตัวแปร และช่วยลดปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามผลตอบสนองที่ได้ยังช้ากว่าวิธีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ

Yu Q., *et al.* [24] ได้เสนอการใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับดีคัปปลิง (PI controller with decoupling) ควบคุมการทำงานของ UPFC โดยเปรียบเทียบผลการจำลองและทดลองกับวิธีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ และการควบคุมครอสคัปปลิง (cross-coupling control) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ให้ผลตอบสนองที่ดีมาก แต่มีข้อด้อยที่ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งต้องมีความถูกต้อง

Yu Q., *et al.* [25] ได้เสนอตัวควบคุม H_∞ ที่ทนทาน (robust H_∞ controller) ควบคุมการทำงานของ UPFC โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ การควบคุมครอสคัปปลิง และตัวควบคุมพีไอร่วมกับดีคัปปลิง ผลการจำลองวิธีนี้ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอนเวอร์เตอร์ และแม้ว่าวิธีนี้จะให้ผลตอบสนองช้า แต่โดยรวมก็ดีกว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตามผลการทดลองปรากฏว่าตัวควบคุม H_∞ ที่ทนทาน มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเกิดขึ้นในขณะที่ปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าจริง นอกจากนี้ตัวควบคุม H_∞ ยังมีความซับซ้อนในการออกแบบ และในการนำไปใช้งานจริงจะต้องใช้ตัวประมวลผลที่สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว

Makombe T., *et al.* [14] ได้ทำการวิเคราะห์การทำงานของ UPFC โดยกำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ที่ต่ออนุกรมมีการทำงาน 5 โหมดคือ โหมดหนึ่งอยู่เฉย ๆ (UPFC ทำงานเป็น STATCOM) โหมดสองควบคุมแรงดัน โหมดสามควบคุมแรงดันและชดเชยอิมพีแดนซ์ โหมดสี่ควบคุมแรงดันและปรับมุมเฟส และโหมดห้าควบคุมการไหลของกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟในสายส่ง สำหรับคอนเวอร์เตอร์ที่ต่อขนานจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันบัสด้านส่ง และสนับสนุนการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ที่ต่ออนุกรม ในการจำลองและการทดลองใช้ตัวควบคุมพีไอ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอนเวอร์เตอร์เกิดขึ้น

Menniti D., *et al.* [15] ได้เสนอการใช้ฟuzzyลอจิกช่วยปรับปรุงความทนทานของกฎการควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งกฎดังกล่าวนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการควบคุม LQR (linear quadratic regulator controller) วัตถุประสงค์ก็เพื่อควบคุมให้คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองมีการทำงานร่วมกันดีขึ้น โดยจำลองเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธี LQR ที่ไม่ใช้ฟuzzyลอจิก และวิธีควบคุมในเอกสารอ้างอิง [9] ของบทความนี้ ผลการเปรียบเทียบปรากฏว่า LQR ที่ใช้ฟuzzyลอจิกให้ผลตอบสนองที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม

ก็ตามเนื่องจากหลักการของวิธี LQR จะกำหนดให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่สนใจคงที่ จึงอาจจะมีบางเวลาที่ค่าผิดพลาดมีค่าสูงมากเกิดขึ้น นอกจากนี้วิธี LQR ยังมีความซับซ้อนในการออกแบบ และการคำนวณ จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับระบบจริง

Kang Y.L., *et al.* [12] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดตัวเก็บประจุ และขนาดตัวเหนี่ยวนำสมมูลของสายส่ง ที่มีต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยระบบจำลองเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่องต่อกับ UPFC และบัสอนันต์ ผลการจำลองพบว่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำสมมูลของสายส่ง มีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะด้านพลวัตของระบบไฟฟ้ากำลัง ในการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวควบคุมไม่เป็นเชิงเส้นจะช่วยลดผลกระทบดังกล่าวลงได้

Dong L.Y., *et al.* [3] ได้เสนอตัวควบคุมพีไอแบบใหม่ สำหรับควบคุมพลวัตของ UPFC ตัวควบคุมแบบใหม่ที่น่าสนใจไม่เพียงสามารถควบคุมกำลังจริง และกำลังรีแอกทีฟได้เท่านั้น ยังช่วยหน่วงการแกว่งของระบบได้ด้วย ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าวิธีควบคุมแบบใหม่สามารถหน่วงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังได้ อย่างไรก็ตามผลตอบสนองยังคงเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่ไหล

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.4.1 เพื่อศึกษาวิธีการใช้ UPFC ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง
- 1.4.2 เพื่อศึกษาการนำฟuzzyลอจิกมาใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะของ UPFC โดยจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีการควบคุมพีไอ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและสร้างโปรแกรมจำลอง UPFC ที่มีการทำงานในโหมดควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยใช้วิธีการควบคุม 2 วิธี คือ วิธีแรกใช้พีไอ และวิธีที่สองใช้ฟuzzyลอจิก แล้วทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับระบบ UPFC ที่สร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังขนาดพิกัด 1 กิโลโวลต์แอมแปร์

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัยเชิงทฤษฎี และ/หรือเชิงประยุกต์

- 1.6.1 ได้วิธีการวิเคราะห์ฟuzzyลอจิกมาใช้ควบคุม UPFC ได้
- 1.6.2 ได้ระบบควบคุม UPFC ที่ช่วยลดปฏิสัมพันธ์ที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังจริงระหว่างคอนเวอร์เตอร์

1.6.3 ได้ระบบควบคุม UPFC ที่มีความทนทานต่อความไม่แน่นอนของตัวแปรสายส่ง มีการทำงานรวดเร็ว และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

บทที่ 1 ได้กล่าวถึงความเป็นมา ปัญหา และแนวทางแก้ปัญหของ UPFC บทต่อไปจะแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ เพื่อหาสมการจำลองระบบ UPFC ทั้งในโดเมนความถี่ และโดเมนเวลา การวิเคราะห์จะแปลงระบบไฟฟ้าสามเฟสไปยังระบบสองเฟสสมดุล โดยใช้การแปลงของปาร์ก (Park's transform) ต่อมาในบทที่ 3 จะเป็นการออกแบบตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมพีไอไอ และตัวควบคุมฟuzzyลอจิก การออกแบบตัวควบคุมพีไอและพีไอไอจะใช้หลักการควบคุมเชิงเส้น (linear control) ในบทนี้ยังกล่าวถึงโครงสร้าง กระบวนการ และแนวทางการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิก โดยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่ออกแบบขึ้นจะใช้ฐานข้อมูลจากตัวควบคุมพีไอ และประสิทธิภาพของผู้ออกแบบ ในบทที่ 4 จะนำสมการระบบและตัวควบคุมที่ออกแบบมาทำการจำลองขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ผลการจำลอง UPFC ที่ใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบมีการพิจารณาในบทนี้ บทที่ 5 จะให้รายละเอียดการออกแบบวงจร UPFC ที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทั้งในส่วนของวงจรไฟฟ้า วงจรควบคุม และโปรแกรมควบคุมที่ใช้สำหรับผลการทดสอบ UPFC จะมีการนำเสนอ และวิเคราะห์ในบทที่ 6 และสำหรับบทที่ 7 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายจะเป็นการสรุปผล และให้ข้อเสนอแนะ