

บทที่ 4

ผลการจำลอง UPFC บนเครื่องคอมพิวเตอร์

วิทยานิพนธ์นี้มีการจำลองระบบ UPFC ขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยอ้างอิงระบบจากรูปที่ 4.1 ในโปรแกรมจำลองมีการทำงานเชื่อมโยงระหว่างส่วนของ m-file ใน MATLAB กับ SIMULINK รายละเอียดของโปรแกรมจำลองระบบอยู่ในซีดีรอมที่แนบมากับหนังสือวิทยานิพนธ์ สำหรับเนื้อหาของบทนี้เป็นการจำลอง UPFC เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะตัวควบคุมทั้งสามวิธี คือ ตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมพีไอไอ และตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

4.1 ผลการจำลอง UPFC

หัวข้อนี้เป็นการแสดง และเปรียบเทียบผลการจำลองการควบคุม UPFC ที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ (PI) ตัวควบคุมพีไอไอ (PII) และตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) ภายใต้สภาวะการทำงานที่กำหนด การจำลองกำหนดวิธีคำนวณเป็น *fix-step Runge-Kutta* ค่า Δt เท่ากับ 0.5 มิลลิวินาที ค่าฐานกำลังระบบ 10 กิโลโวลต์แอมแปร์ แรงดันเฟส 91.99 โวลต์ (ค่ายอด) ความถี่ระบบ 60 เฮิรตซ์ ($\omega_{base} = 2\pi 60$) และกำหนดตัวแปรที่ใช้จำลองแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยหม้อแปลงขนานมีอัตรารอบ 1:1 และหม้อแปลงอนุกรมมีอัตรารอบ 2:1 มุมเฟสระหว่าง v_1 กับ v_r เป็น 36 องศา

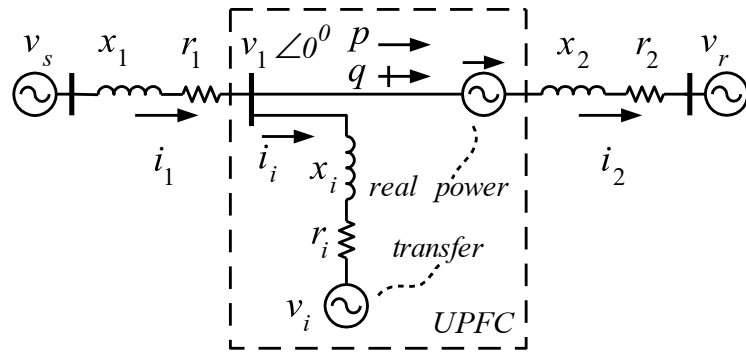
ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอทั้งสองวิธีได้จากการพิจารณาค่าหนึ่งจุดชั่ว จุดศูนย์ และผลตอบสนองของฟังก์ชันส่งทอด เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันสเตป โดยมีค่าอัตราขยายแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 สำหรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกได้จากการลองถูกลงผิด และมีค่าอัตราขยายแสดงดังตารางที่ 4.4

ในการทดสอบกำหนดสภาวะการทำงาน 3 เงื่อนไข ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 : กำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้นเป็น 0.95 ต่อหน่วย ที่เวลา 0.05 วินาที

เงื่อนไขที่ 2 : กำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแบบขั้นเป็น 0.50 ต่อหน่วย ที่เวลา 0.05 วินาที

เงื่อนไขที่ 3 : ค่าตัวแปรสายส่งเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซนต์ และกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้นเป็น 0.95 ต่อหน่วย ที่เวลา 0.05 วินาที



รูปที่ 4.1 วงจรสมมูลของระบบที่ใช้จำลอง

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้จำลองระบบ

ระบบไฟฟ้ากำลัง		UPFC	
ตัวแปร	ค่า	ตัวแปร	ค่า
S_{SYS}	10 kVA	S_{UPFC}	5 kVA
v_s	91.99 V _{peak, l-n}	v_1	89.81 V _{peak, l-n}
v_r	89.81 V _{peak, l-n}	v_{dq}	46.67 V _{peak, l-n}
r_1	26 mΩ	v_{dc}	200 V
x_1	64 mΩ	r_i	65 mΩ
r_2	100 mΩ	x_i	410 mΩ
x_2	1.02 Ω	c	6200 μF

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอ

ตัวควบคุม v_s		ตัวควบคุม v_{dc}	
K_p	0.03	K_p	0.03
T_i	0.0020	T_i	0.0020
ตัวควบคุม p		ตัวควบคุม q	
K_p	0.08	K_p	0.08
T_i	0.0032	T_i	0.0032

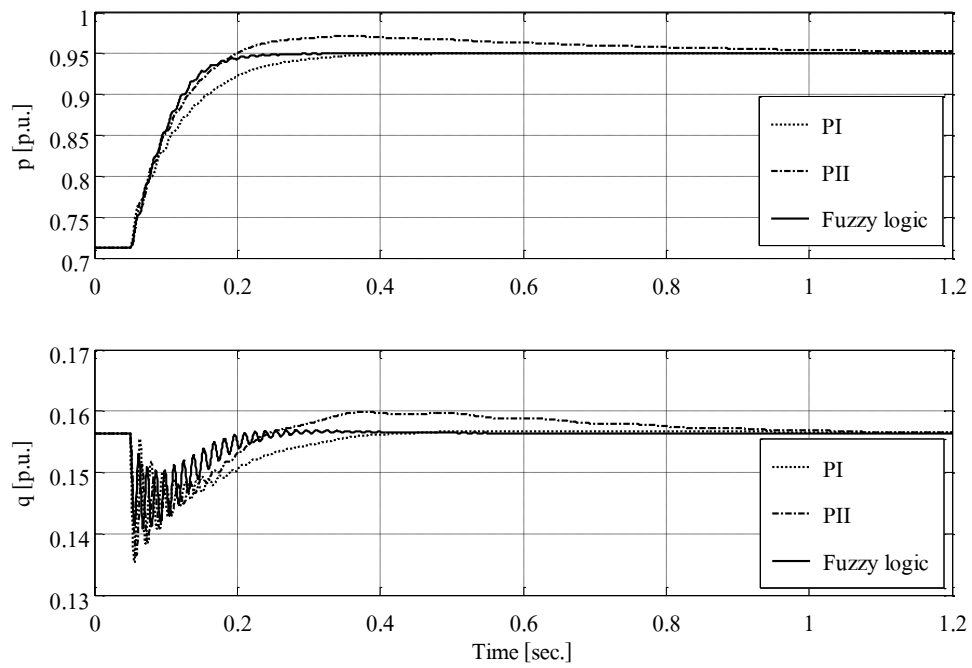
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอไอ

ตัวควบคุม v_s		ตัวควบคุม v_{dc}	
K_p	0.008	K_p	0.008
T_i	0.5333	T_i	0.5333
ตัวควบคุม p		ตัวควบคุม q	
K_p	0.014	K_p	0.014
T_i	0.4667	T_i	0.4667

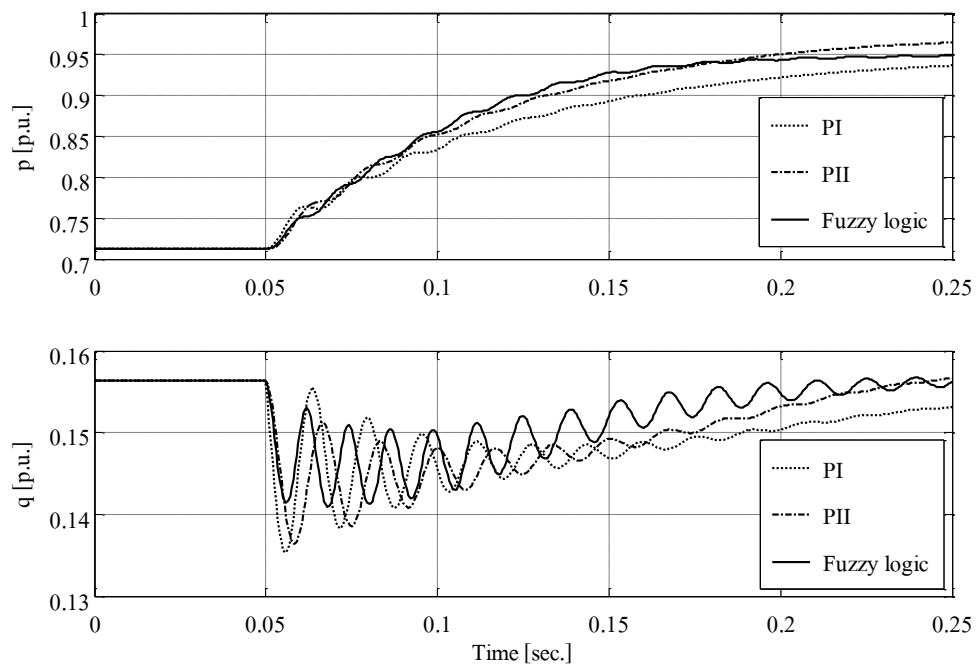
ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

ตัวควบคุม v_s		ตัวควบคุม v_{dc}	
K_{norE}	100	K_{norE}	100
K_{nordE}	550	K_{nordE}	550
K_{denor}	0.00042	K_{denor}	0.00042
ตัวควบคุม p		ตัวควบคุม q	
K_{norE}	6	K_{norE}	6
K_{nordE}	70	K_{nordE}	70
K_{denor}	0.0052	K_{denor}	0.0052

โดยที่ K_{norE} คือ ค่านอร์แมลไลซ์เซชันสัญญาณผิดพลาด
 K_{nordE} คือ ค่านอร์แมลไลซ์เซชันอัตราเปลี่ยนแปลงของสัญญาณผิดพลาด
 K_{denor} คือ ค่าดีนอร์แมลไลซ์เซชันสัญญาณเอาต์พุต

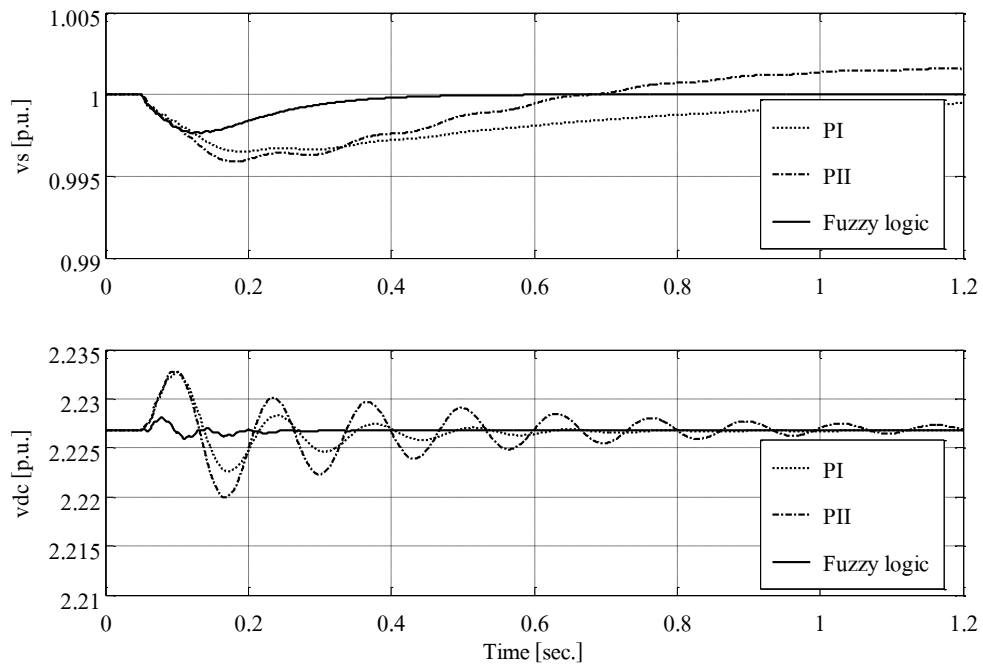


(ก) กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.0 – 1.2 วินาที

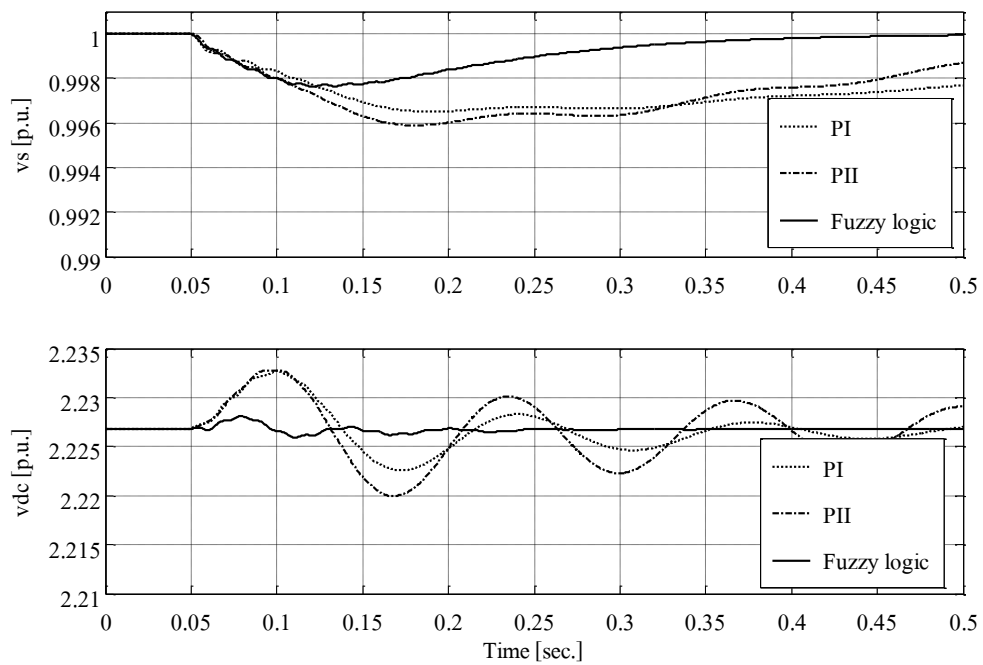


(ข) กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.0 – 0.25 วินาที

รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้น

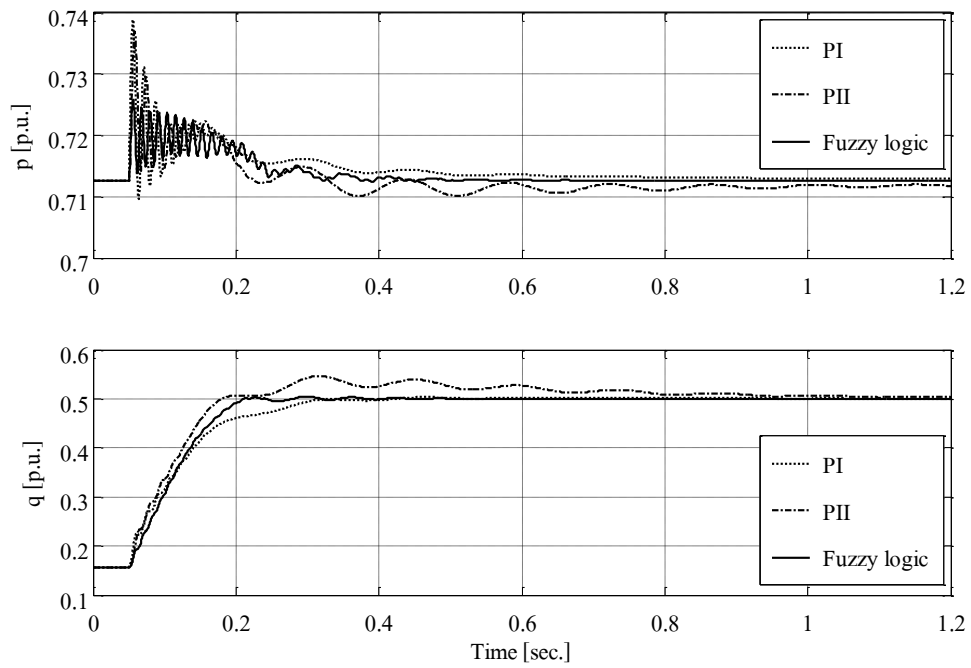


(ข) แรงดันในช่วงเวลา 0.0 – 1.2 วินาที

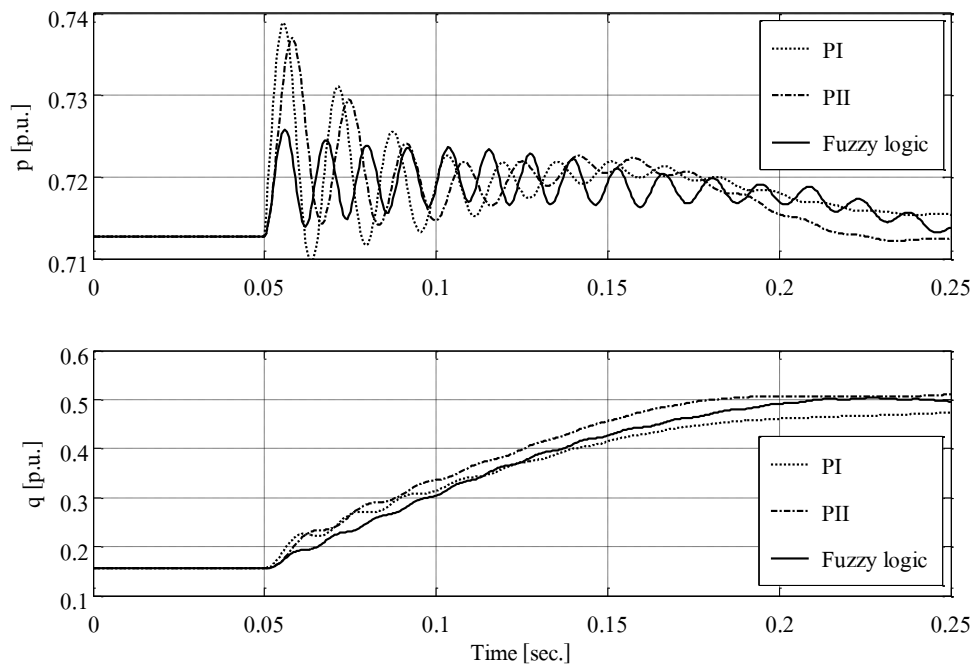


(ข) แรงดันในช่วงเวลา 0.0 – 0.50 วินาที

รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของแรงดันจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้น

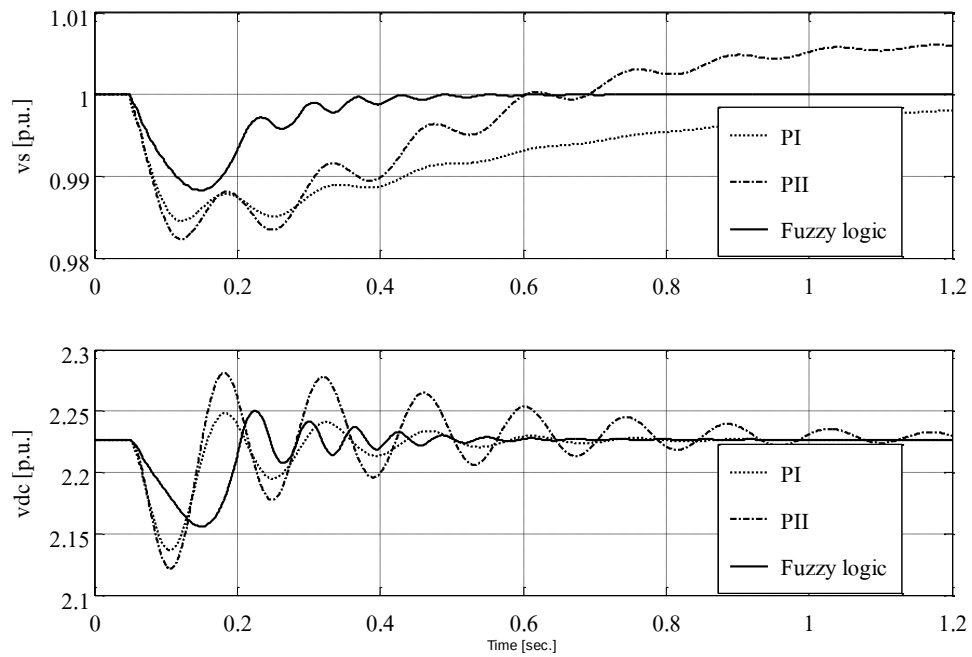


(ก) กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.0 – 1.2 วินาที

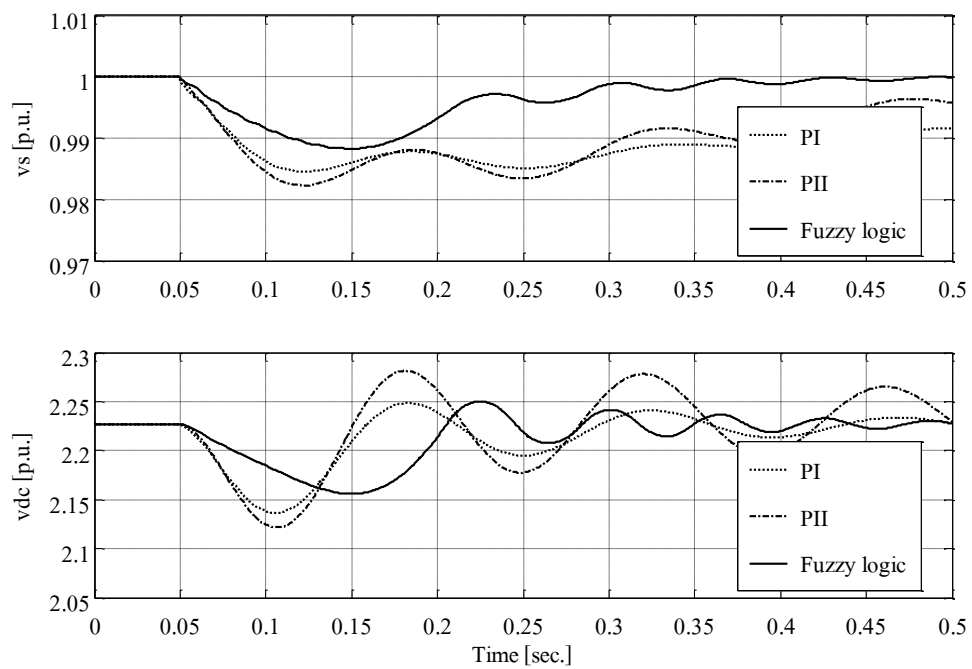


(ข) กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.0 – 0.25 วินาที

รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแบบขั้น

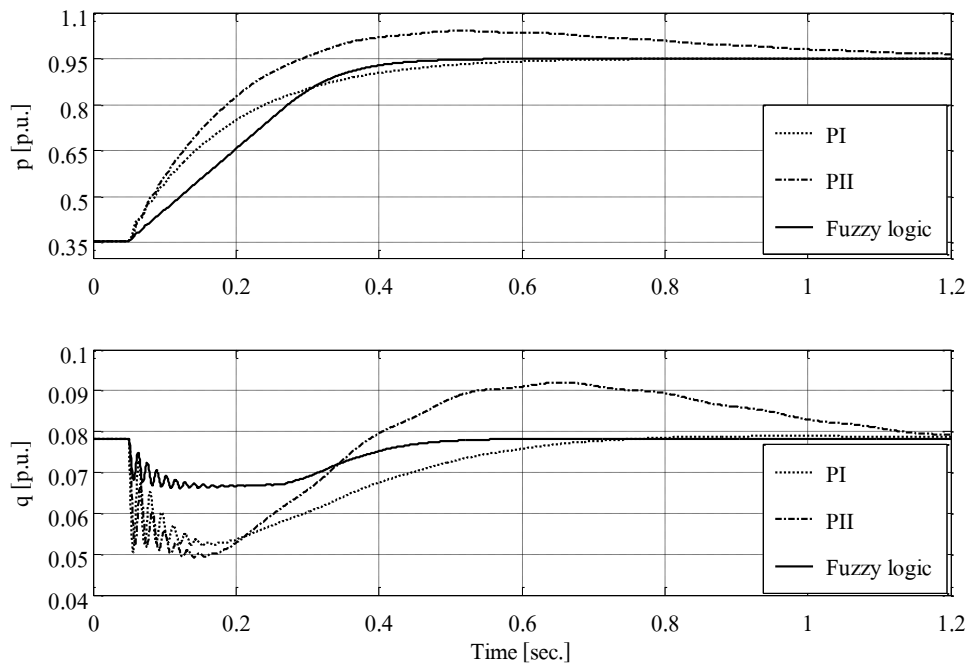


(ก) แรงดันในช่วงเวลา 0.0 – 1.2 วินาที

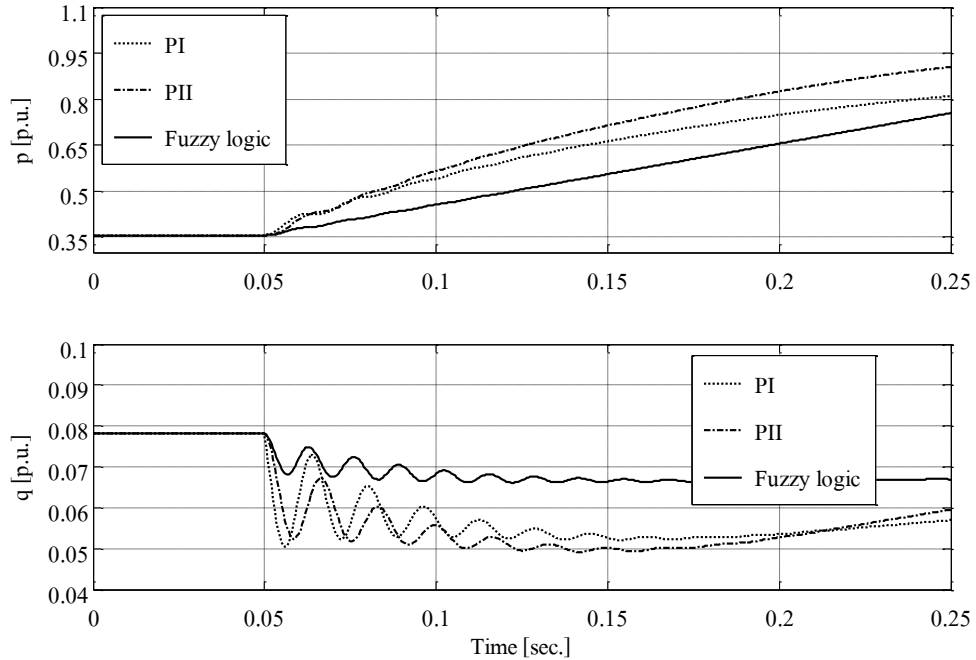


(ข) แรงดันในช่วงเวลา 0.0 – 0.50 วินาที

รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของแรงดันจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแบบขั้น

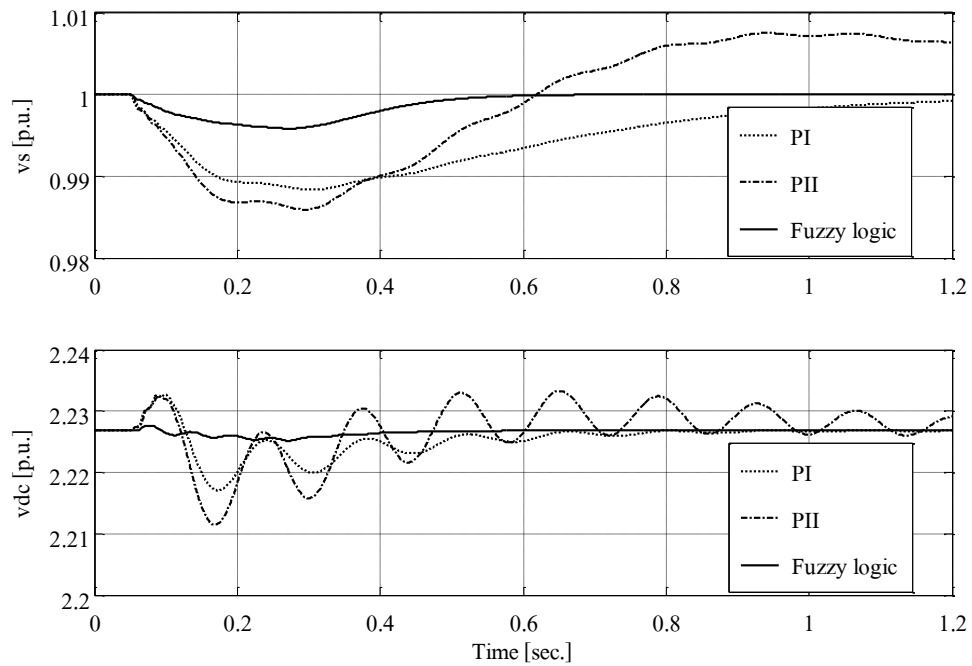


(ก) กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.0 – 1.2 วินาที

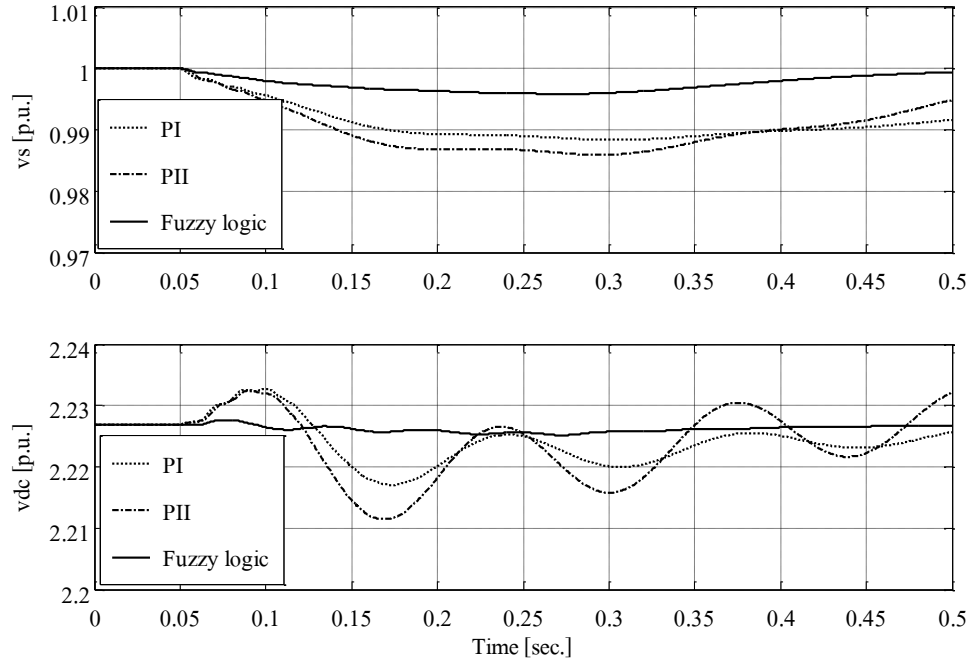


(ข) กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.0 – 0.25 วินาที

รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจากการจำลองในเงื่อนไขค่าตัวแปรสายส่งเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ และกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้น



(ข) แรงดันที่ช่วงเวลา 0.0 – 1.2 วินาที



(ข) แรงดันที่ช่วงเวลา 0.0 – 0.50 วินาที

รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของแรงดันจากการจำลองในเงื่อนไขค่าตัวแปรสายส่ง
เพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ และกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขึ้น

รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 เป็นผลตอบสนองที่ได้จากการจำลองในเงื่อนไขที่กำลังจริงถูกเปลี่ยนแปลงขึ้น พิจารณาผลตอบสนองที่ได้จากการควบคุมระหว่างตัวควบคุมพีไอและตัวควบคุมพีไอโอไอจะเห็นว่าตัวควบคุมพีไอให้ผลตอบสนองในสถานะชั่วคราวของกำลังไฟฟ้าช้ากว่า และมีแอมพลิจูดการแกว่งสูงกว่าเล็กน้อย แต่สามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า พิจารณาแอมพลิจูดการแกว่งของแรงดันยังต่ำกว่าและเข้าสู่สภาวะคงตัวได้รวดเร็วกว่าตัวควบคุมพีไอโอ เมื่อพิจารณาผลตอบสนองที่ได้จากตัวควบคุมพีซีลอจิก จะเห็นว่าตัวควบคุมพีซีลอจิกให้ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าในสถานะชั่วคราวที่ดี มีแอมพลิจูดการแกว่งต่ำ โดยผลตอบสนองกำลังไฟฟ้าสามารถเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.2 วินาที สำหรับแรงดันบัสด้านส่งมีการลดน้อยและเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.4 วินาที นอกจากนี้แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยงยังมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 เป็นผลตอบสนองที่ได้จากการจำลองในเงื่อนไขที่กำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแปลงขึ้น สังเกตว่าเงื่อนไขนี้ผลตอบสนองของแรงดันจะเปลี่ยนแปลงรุนแรงกว่าเงื่อนไขที่กำลังจริงถูกเปลี่ยนแปลงขึ้น เมื่อพิจารณาผลตอบสนองที่ได้จะเห็นว่าผลตอบสนองกำลังจริงในสถานะชั่วคราวของตัวควบคุมพีไอ มีแอมพลิจูดการแกว่งสูงกว่าตัวควบคุมพีไอโอเล็กน้อย และมีผลตอบสนองกำลังรีแอกทีฟในสถานะชั่วคราวน้อยกว่าตัวควบคุมพีไอโอ อย่างไรก็ตามผลตอบสนองกำลังไฟฟ้าของตัวควบคุมพีไอจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า และเมื่อพิจารณาผลตอบสนองแรงดันจะเห็นว่าตัวควบคุมพีไอมีแอมพลิจูดการแกว่งต่ำกว่า และเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าตัวควบคุมพีไอโอ สำหรับตัวควบคุมพีซีลอจิกยังคงให้ผลตอบสนองดีกว่าตัวควบคุมพีไอทั้งสองวิธี โดยผลตอบสนองกำลังไฟฟ้ามีแอมพลิจูดการแกว่งต่ำ และเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.2 วินาที แรงดันบัสด้านส่งมีการลดน้อยและเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.45 วินาที และแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยงยังคงมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 เป็นผลตอบสนองที่ได้จากการจำลองในเงื่อนไขที่ค่าตัวแปรสายส่งเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ และกำลังจริงถูกเปลี่ยนแปลงขึ้น ในเงื่อนไขนี้เนื่องจากมีการเพิ่มค่าตัวแปรสายส่ง ทำให้สภาวะเริ่มต้นของกำลังไฟฟ้าที่ไหลแตกต่างจากเงื่อนไขที่ผ่านมา วัตถุประสงค์การทดสอบในเงื่อนไขนี้ เพื่อต้องการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้งสามวิธีในกรณีที่ตัวแปรของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แล้วตัวควบคุมจะให้ผลตอบสนองของระบบอย่างไร และจากรูปจะเห็นว่าถึงแม้ผลตอบสนองกำลังไฟฟ้าที่ได้จากตัวควบคุมพีซีลอจิกในเงื่อนไขนี้จะช้ากว่าเงื่อนไขที่ไม่เพิ่มค่าตัวแปรสายส่ง อย่างไรก็ตามตัวควบคุมพีซีลอจิกยังคงให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอทั้งสอง โดยผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.45 วินาที ผลตอบสนองของแรงดันบัสด้านส่งจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.5 วินาที แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยงจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลา 0.4 วินาที

4.2 สรุปผลการจำลอง

จากผลการจำลอง UPFC เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะตัวควบคุมพีชชีลอจิกกับตัวควบคุมพีไอ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด แสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมพีชชีลอจิกสามารถปรับปรุงสมรรถนะด้านพลวัตของ UPFC ได้ กล่าวคือ ช่วยลดค่ายอดของกำลังไฟฟ้าที่แกว่งในภาวะชั่วคราว และยังคงควบคุมกำลังไฟฟ้าให้ลู่เข้าสู่ภาวะคงตัวได้รวดเร็วกว่าตัวควบคุมพีไอ ซึ่งจะส่งผลให้กำลังสูญเสียในสายส่งลดลง และระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพด้านกำลังไฟฟ้าที่ดี และการที่ผลตอบแทนแรงดันบัสด้านส่งของตัวควบคุมพีชชีลอจิกมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ยังช่วยรักษาเสถียรภาพด้านแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลังได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยงให้มีการแกว่งน้อย และลู่เข้าสู่ภาวะคงตัวได้รวดเร็ว จึงช่วยลดปฏิสัมพันธ์ของคอนเวอร์เตอร์ใน UPFC ได้ด้วย สำหรับผลการจำลองในเงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสายส่ง แสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมพีชชีลอจิกมีความทนทานต่อความไม่แน่นอนของตัวแปรสายส่งได้ดีกว่าตัวควบคุมพีไอ