



แบบรายงานความก้าวหน้าการดำเนินงานโครงการวิจัย
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่...2...รอบ...12...เดือน ประจำปีงบประมาณ...2555.....
 หน่วยงาน.....คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

ส่วนที่ 1. ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การทำเสถียรภาพในระบบไมโครกริดแยกโดดที่มีแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนที่ไม่สม่ำเสมอ
 ด้วยการควบคุมของอิเล็กโทรไลเซอร์ภายใต้การควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ออกแบบให้เหมาะสมด้วยวิธีฝูงผึ้ง
 (ภาษาอังกฤษ) An isolated microgrid stabilization included with intermittent renewable
 energy sources by electrolyzer control based on optimal fuzzy logic controller using
 bee colony optimization

2. รายนามคณะผู้วิจัย (ระบุค่านำหน้า เป็น นาง/นางสาว/นาย หน่วยงานต้นสังกัด หมายเลขโทรศัพท์ E-mail)

1. นายอิสรระชัย งามหฐุ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ โทร.02-329-8330 E-mail.knissara@kmitl.ac.th
 (หัวหน้าโครงการ)

3. งบประมาณการวิจัยที่ได้รับ 80,000บาท

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ระยะเวลาทำการวิจัย...1... ปี เริ่มทำการวิจัยเมื่อ.....ตุลาคม 2554..... ถึงกันยายน 2555.....

4. วัตถุประสงค์ของโครงการ

(1) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการแกว่งกำลังไฟฟ้าในไมโครกริดอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานลมและ
 แสงอาทิตย์.....

(2) เพื่อประยุกต์ใช้โพลิตที่สามารถควบคุมการรับกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้อิเล็กโทรไลเซอร์เพื่อลดการแกว่งของ
 กำลังไฟฟ้าในระบบไมโครกริด.....

(3) เพื่อศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกอย่างเหมาะสมของอิเล็กโทรไลเซอร์โดยใช้วิธีฝูงผึ้ง.....

ส่วนที่ 2. การรายงานความก้าวหน้า

1. ตารางแสดงความก้าวหน้าของโครงการ ณ ช่วงรายงานเมื่อเทียบกับแผนการดำเนินงานทั้งโครงการ

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1.ศึกษาระบบ	←→												
2. สร้างแบบจำลอง		←→	←→										
3. วิเคราะห์ ระบบ			←→	←→									
4. ศึกษาการควบคุม ฟัซซี่				←→	←→								
5. ศึกษาวิธีฝูงผึ้ง					←→	←→							
6. ออกแบบตัว ควบคุม						←→	←→	←→	←→				
7. ทดสอบตัว ควบคุม							←→	←→	←→	←→			
8. ทดสอบความ ทนทานตัวควบคุม									←→	←→	←→		
9. เขียนบทความ											←→	←→	←→

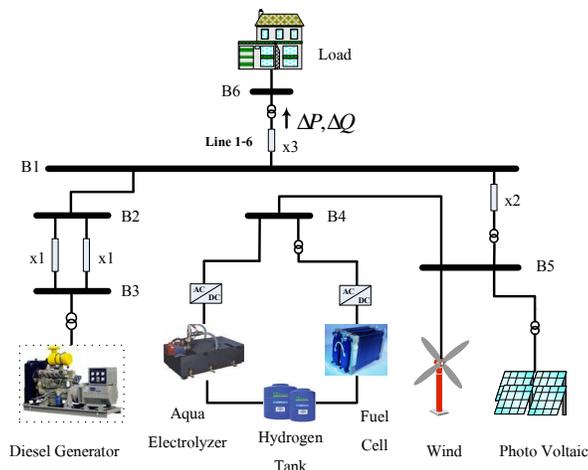
←→ แผนงานทั้งโครงการที่วางไว้

←-----> ผลการดำเนินงานจนถึงปัจจุบัน

2. รายละเอียดทางวิชาการที่ได้รับจากการวิจัย

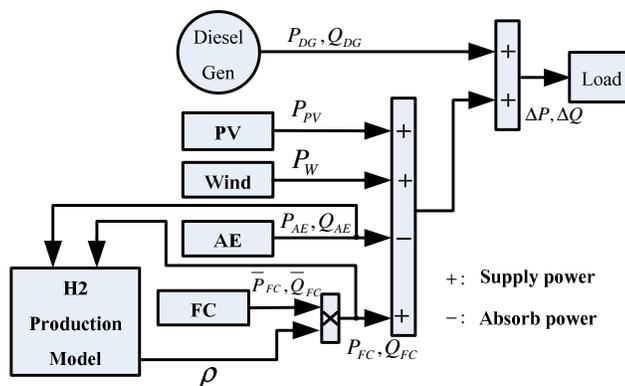
งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีโดยใช้วิธีฝังในการออกแบบพารามิเตอร์ตัวควบคุมให้มีความเหมาะสม เพื่อควบคุมการทำงานของ อิเล็กโทรไลเซอร์ (Aqua electrolyzer: AE) เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไมโครกริดที่มีส่วนประกอบของการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย เนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ไม่คงที่ของพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าในระบบไมโครกริดไม่คงที่ จึงได้มีการการออกแบบตัวควบคุมเพื่อให้รับกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE เพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบ ผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมความด้วยตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีมีสมรรถนะ และความคงทนต่อการเกิดสิ่งรบกวนในระบบได้สูงกว่าตัววิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน

แบบจำลองระบบไมโครกริด



รูปที่ 1 ระบบไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา

ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel generator: DG) ขนาด 20 MVA เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (Wind power generator: WG) ขนาด 4 MW เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photo voltaic: PV) ขนาด 800 kW และ เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell: FC) ขนาด 2 MW เชื่อมต่อกันเพื่อร่วมกันจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดขนาด $10 + j2$ MVA และระบบการผลิตไฮโดรเจน (Hydrogen production) คือ AE ขนาด 3 MW โดยสามารถแสดงเป็นแบบจำลองของระบบได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองระบบไมโครกริด

เมื่อ

P_{DG}, Q_{DG} คือ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่จ่ายเข้าระบบ

P_{PV} คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จ่ายเข้าระบบ

P_W คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่จ่ายเข้าระบบ

P_{AE}, Q_{AE} คือ การรับกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE จากระบบ

ρ คือ สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนในถังเก็บ และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของ FC

$\bar{P}_{FC}, \bar{Q}_{FC}$ คือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ควรจะจ่ายออกมาของ FC

P_{FC}, Q_{FC} คือ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของ FC ที่จ่ายเข้าระบบ

$\Delta P, \Delta Q$ คือ การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนในสายที่จ่ายไปยังโหลด

จากรูปที่ 2 แบบจำลองของระบบสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลแทนด้วยสมการแบบจำลองอันดับที่สาม ที่ประกอบไปด้วย $[E'_q, \dot{\omega}, \delta]$ โดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้
สมการสวิง (Swing equation)

$$\dot{\delta} = \omega - \omega_s \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = (P_m - P_e - D(\omega - \omega_s)) / M \quad (2)$$

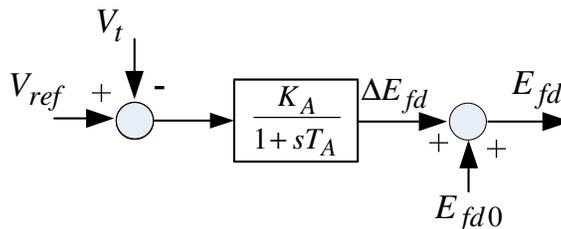
สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในชั่วคราว (Transient internal electro-magnetic field) ในแนวแกนขวาง (Quadrature axis)

$$\dot{E}'_q = (E_{fd} - E'_q + I_d(X_d - X'_d)) / T'_{d0} \quad (3)$$

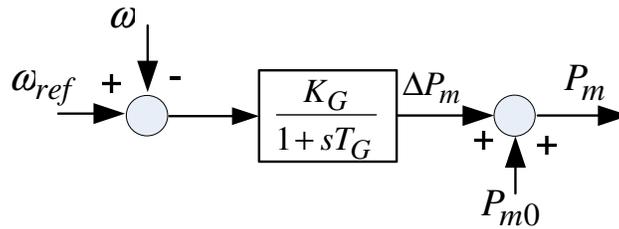
โดยที่

- δ คือ มุมโรเตอร์ (Rotor angle)
- ω คือ ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity)
- ω_s คือ ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed)
- P_m คือ กำลังทางกล (Mechanical power)
- P_e คือ กำลังทางไฟฟ้า (Electrical power)
- D คือ สัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping coefficient)
- M คือ ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia constant)
- E'_q คือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในชั่วคราวในแนวแกนขวาง
- E_{fd} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขดฟิลด์ (Field voltage)
- X_d คือ รีแอกแตนซ์ในแนวแกนตรง (Direct axis)
- X'_d คือ รีแอกแตนซ์ชั่วคราว (Transient reactance) ในแนวแกนตรง
- I_d คือ กระแส (Current) ในแนวแกนตรง
- T'_{d0} คือ ค่าคงที่เวลาชั่วคราว (Transient time constant) ในแนวแกนตรง

โดยเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยแบบจำลองอย่างง่ายของตัวกระตุ้น (Exciter) ดังแสดงในรูปที่ 3 และแบบจำลองอย่างง่ายของตัวบังคับ (Governor) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 แบบจำลองระบบตัวกระตุ้น



รูปที่ 4 แบบจำลองระบบตัวบังคับ

เครื่องกำเนิดดีเซลมีพิกัด 20 MVA พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดมีดังต่อไปนี้	
ความถี่ (f)	= 60 Hz
ความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Armature resistance) (R_a)	= 0.0036 pu.
รีแอกแตนซ์ในแนวแกนตรง (X_d)	= 1.56 pu.
รีแอกแตนซ์ชิงโครนัสในแนวแกนขวาง (X_q)	= 1.06 pu.
รีแอกแตนซ์ชั่วคราวในแนวแกนตรง (X'_d)	= 0.296 pu.
ค่าคงตัวเวลาชั่วคราวของการเปิดวงจรในแนวแกนตรง (T'_{d0})	= 1.01 s
ค่าสัมประสิทธิ์ของความเฉื่อย (H)	= 0.8 s
ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (D)	= 1

พารามิเตอร์ของสายส่งแต่ละสายมีค่าอิมพีแดนซ์ คือ

รีแอกแตนซ์ของสาย ($x1$)	= 0.4 pu.
รีแอกแตนซ์ของสาย ($x2$)	= 0.2 pu.
รีแอกแตนซ์ของสาย ($x3$)	= 0.001 pu.

พารามิเตอร์ของตัวกระตุ้น

อัตราขยายของตัวกระตุ้น (K_A)	= 10
ค่าคงตัวเวลาของตัวกระตุ้น (T_A)	= 0.1 s

พารามิเตอร์ของตัวบังคับ

อัตราขยายของตัวบังคับ (K_G)	= 10
ค่าคงตัวเวลาของตัวบังคับ (T_G)	= 4 s

ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากในระบบนี้ไม่ได้พิจารณาการควบคุมกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์จึงได้แทนการจำลองด้วยสัญญาณการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่คงที่เข้าไปยังระบบ

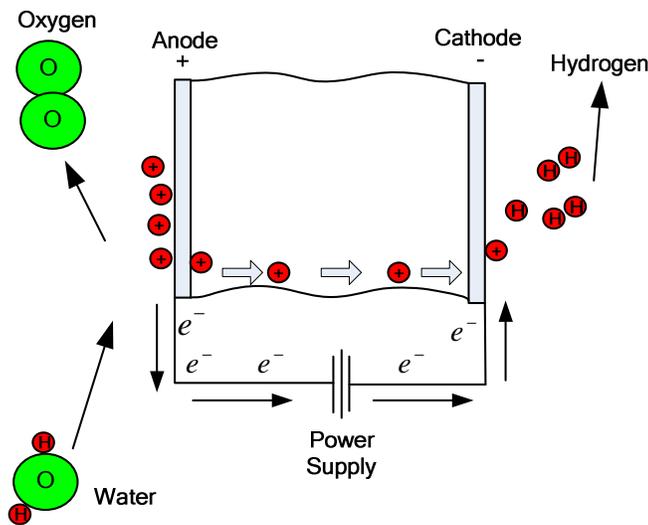
หลักการทํางาน และแบบจำลองของอิเล็กโทรไลเซอร์ และเซลล์เชื้อเพลิง

ก. อิเล็กโทรไลเซอร์

อิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไฮโดรเจน และออกซิเจนที่บริสุทธิ์ โดยสามารถที่จะแจกจ่ายไปยังความต้องการที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ของแต่ละบุคคล ระบบพลังงานทดแทน สถานีเติมเชื้อเพลิง และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม อิเล็กโทรไลเซอร์แบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane (PEM) electrolyzer) เป็นอิเล็กโทรไลเซอร์ที่ใช้พื้นที่น้อย หรืออัดแน่นมากที่สุด และง่ายต่อการสร้าง นอกจากนี้ ยังสามารถที่จะผลิตไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง และควมมีประสิทธิภาพที่ระดับความหนาแน่นกระแสสูงอีกด้วย ในอิเล็กโทรไลเซอร์แบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน พันธะระหว่างไฮโดรเจน และออกซิเจนของน้ำ (H_2O) ได้แยกออกจากกันด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) และตัวเร่งปฏิกิริยาของแพลตินัม (Platinum) ในขณะที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกไป ที่แอโนด เยื่อเซลล์จะทำการแยกไฮโดรเจน (H_2) ออกจากโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) โปรตอนไฮโดรเจน (H^+) จะเคลื่อนย้ายผ่านเยื่อเซลล์ และกลับมารวมกันที่แคโทดร่วมกับ

อิเล็กตรอนที่ไหลกลับ (e^-) แล้วอยู่ในรูปแบบของไฮโดรเจน (H_2) ดังแสดงในรูปที่ 5 การประยุกต์ในด้านอื่นๆ ของระบบอิเล็กโทรไลต์ คือ สามารถที่จะใช้เป็นเสมือนกับเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อที่จะผลิตไฟฟ้าจากไฮโดรเจน และออกซิเจนด้วยการแปลงรูปเพียงเล็กน้อย

ส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลเซอร์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ปั๊มน้ำ เครื่องแยกน้ำ-ก๊าซ ถึงแม้ว่าอิเล็กโทรไลเซอร์จะสามารถผลิตได้ทั้ง H_2 และ O_2 ด้วยการแยกไฟฟ้าเคมีของน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วอิเล็กโทรไลเซอร์จะได้รับการพิจารณาเสมือนเครื่องผลิตไฮโดรเจน และได้จำแนกตามระบบการป้อนที่แอโนด หรือระบบการป้อนที่แคโทดโดยจะขึ้นอยู่กับว่าทางเข้าของน้ำอยู่ที่ไหน เมื่ออิเล็กโทรไลเซอร์ใช้สำหรับเป็นเครื่องผลิตไฮโดรเจน ระบบการป้อนที่แคโทดจึงเป็นตัวเลือกที่ดี เนื่องจากตัวแยกซึ่งแยกน้ำ และออกซิเจนได้รับการขจัดออกที่แอโนด พร้อมกับบอออกซิเจนได้รับการระบายอากาศร่วมกับน้ำ แต่ข้อเสียในกรณีนี้คือจะมีข้อจำกัดในการโอนถ่ายปริมาณมาก และความหนาแน่นของกระแสต่ำ ในการศึกษาครั้งนี้แบบจำลองอิเล็กโทรไลเซอร์แบบการป้อนที่แอโนดได้ประยุกต์ใช้ในการศึกษา เนื่องจากส่วนใหญ่อิเล็กโทรไลเซอร์ในด้านธุรกิจ และในหน่วยทางการทหารเป็นอิเล็กโทรไลเซอร์แบบการป้อนที่แอโนด

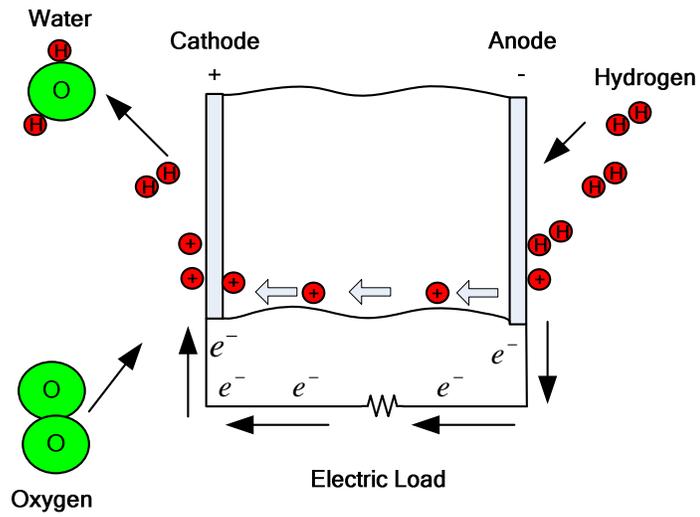


รูปที่ 5 ลักษณะการทำงานของอิเล็กโทรไลเซอร์

ข. เซลล์เชื้อเพลิง

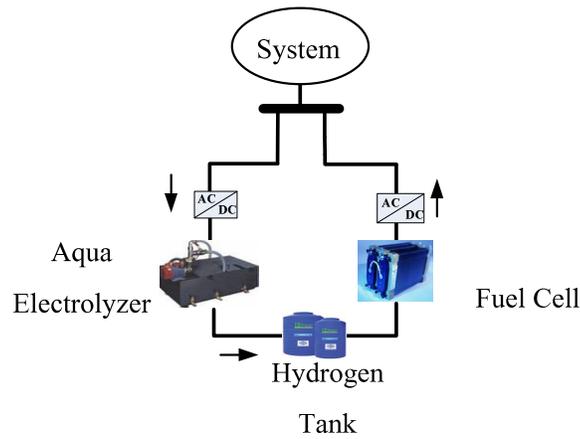
เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างหนึ่งคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างกันที่เซลล์เชื้อเพลิงนั้นออกแบบมาให้มีการเติมสารตั้งต้นเข้าสู่ระบบตลอดเวลา นั่นคือการเติมไฮโดรเจน และออกซิเจนตลอดเวลาซึ่งช่วยขจัดปัญหาความจุที่จำกัดของแบตเตอรี่ออกไป นอกจากนี้ที่ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเข้าทำปฏิกิริยาเมื่ออัดประจุ หรือคายประจุ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และค่อนข้างเสถียร สารตั้งต้นที่ใช้โดยทั่วไปในเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนที่ด้านแอโนด และก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (เซลล์ไฮโดรเจน) โดยปกติแล้วเมื่อมีสารตั้งต้นไหลเข้าสู่ระบบ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก็จะไหลออกจากระบบไปด้วย ดังนั้นการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane fuel cells) หรือ PEMFC ดังแสดงในรูปที่ 6 พอลิเมอร์ที่ให้โปรตอนผ่านได้จะแยกฝั่งแอโนด และแคโทดออกจากกัน แต่ละด้านจะมีขั้วไฟฟ้าของตัวเอง ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแผ่นคาร์บอนเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม ในด้านของแอโนด ไฮโดรเจนจะแพร่เข้าสู่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แอโนด ทำให้แตกตัวออกเป็นโปรตอน และอิเล็กตรอน โปรตอนจะวิ่งผ่านเยื่อแก้วไปที่แคโทด ในขณะที่อิเล็กตรอนจะได้รับการบังคับให้วิ่งเข้าสู่วงจรไฟฟ้าภายนอก (ให้พลังงานออกมา) เพราะว่าเยื่อแก้วนั้นไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ในด้านของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แคโทด โมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่มาจากแอโนดผ่านวงจรภายนอก และมารวมกับออกซิเจนและโปรตอนที่ด้านนี้กลายเป็นน้ำ



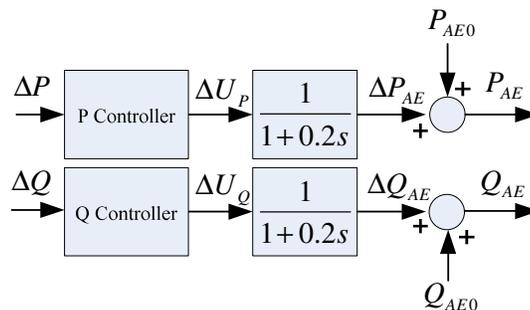
รูปที่ 6 ลักษณะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ค. แบบจำลองของอิเล็กโทรไลเซอร์ และเซลล์เชื้อเพลิง

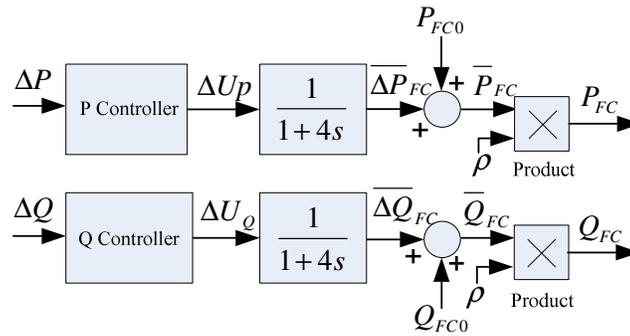


รูปที่ 7 โครงสร้างการทำงานของอิเล็กโทรไลเซอร์ และเซลล์เชื้อเพลิง

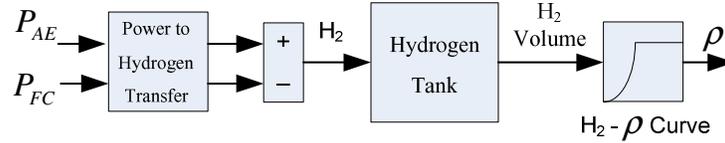
รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างการทำงานของอิเล็กโทรไลเซอร์ และเซลล์เชื้อเพลิง โดยสามารถแสดงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ ดังรูปที่ 8 ในส่วนของระบบการผลิตไฮโดรเจน AE จะทำการรับกำลังไฟฟ้าจากระบบมาผลิตเป็นไฮโดรเจนด้วยอัตรา 0.029 (V/kWh) แล้วนำเอาไฮโดรเจนที่ได้ไปเก็บสะสมไว้ในถังเก็บขนาด 500 ลิตร เพื่อให้ FC ทำการเปลี่ยนจากไฮโดรเจนเป็น กำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าให้กับระบบด้วยอัตรา 0.061 (V/kWh)



ก.แบบจำลองของอิเล็กโทรไลเซอร์



ข.แบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิง



ค.แบบจำลองการผลิต และการนำไปใช้ของไฮโดรเจน

รูปที่ 8 แบบจำลอง AE และ FC พร้อมด้วยตัวควบคุม P และ Q

เมื่อ

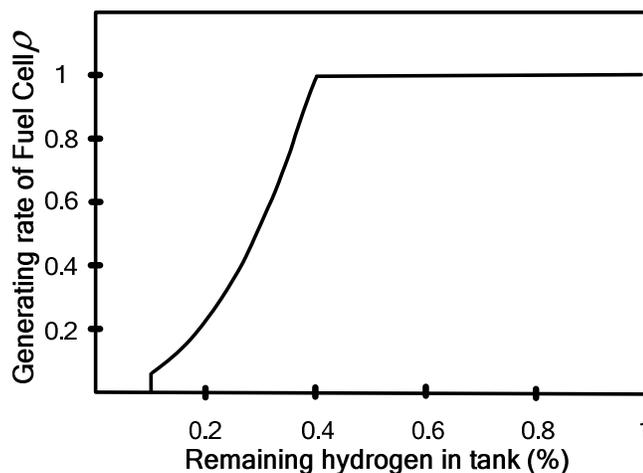
- ΔP_{AE} คือ การเปลี่ยนแปลงของการรับกำลังไฟฟ้าจริงจากระบบของ AE
- ΔQ_{AE} คือ การเปลี่ยนแปลงของการรับกำลังไฟฟ้าเสมือนจากระบบของ AE
- P_{AE0} คือ การรับกำลังไฟฟ้าจริงของ AE เริ่มต้น (Initial) (กำหนดให้ = 0.05 pu)
- Q_{AE0} คือ การรับกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE เริ่มต้น (Initial) (กำหนดให้ = 0 pu)
- $\overline{\Delta P}_{FC}$ คือ การเปลี่ยนแปลงในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงที่ควรจะได้รับของ FC
- $\overline{\Delta Q}_{FC}$ คือ การเปลี่ยนแปลงในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ควรจะได้รับของ FC
- \overline{P}_{FC0} คือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ควรจะได้รับของ FC เริ่มต้น (0.05 pu.)
- \overline{Q}_{FC0} คือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ควรจะได้รับของ FC เริ่มต้น (0 pu.)

การรับกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE สามารถหาได้จาก

$$P_{AE} = P_{AE0} + \Delta P_{AE} \quad (4)$$

$$Q_{AE} = Q_{AE0} + \Delta Q_{AE} \quad (5)$$

การทำงานของ FC ในการเริ่มเดินเครื่อง และการหยุดการทำงาน ส่งผลให้เกิดแรงดันตก ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตในการจ่ายให้กับระบบของ FC นั้นจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณไฮโดรเจนในถังดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนในถัง และเอาต์พุตของ FC

เมื่อปริมาณไฮโดรเจนในถังมีน้อยกว่า 10 % การผลิตกำลังไฟฟ้าของ FC จะหยุดการทำงานจนกระทั่งปริมาณไฮโดรเจนจะมีมากกว่า 50 % และอัตราการผลิตกำลังไฟฟ้าของ FC ในขณะที่ไฮโดรเจนมีปริมาณตั้งแต่ 10-40 % จะมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 9 ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของ FC ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P_{FC} = \rho * \bar{P}_{FC} \quad (6)$$

$$Q_{FC} = \rho * \bar{P}_{FC} \quad (7)$$

โดยที่

$$\bar{P}_{FC} = P_{FC0} + \Delta P_{FC} \quad (8)$$

$$\bar{Q}_{FC} = Q_{FC0} + \Delta Q_{FC} \quad (9)$$

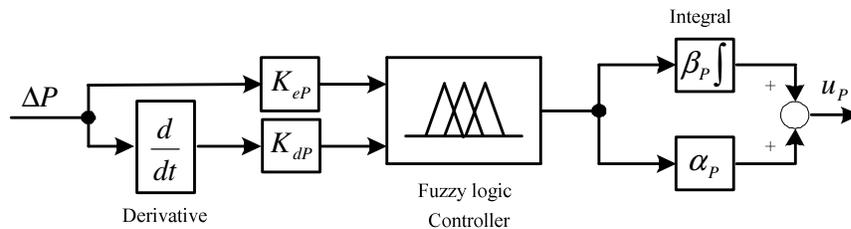
แต่เนื่องจากค่าคงตัวเวลาของ FC นั้นมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับค่าคงตัวเวลาของ AE ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงไม่คิดการควบคุมของ FC ($\Delta P_{FC} = \Delta Q_{FC} = 0$) จากสมการที่ (8) และ (9) สามารถสรุปได้เป็น

$$\bar{P}_{FC} = P_{FC0} \quad (10)$$

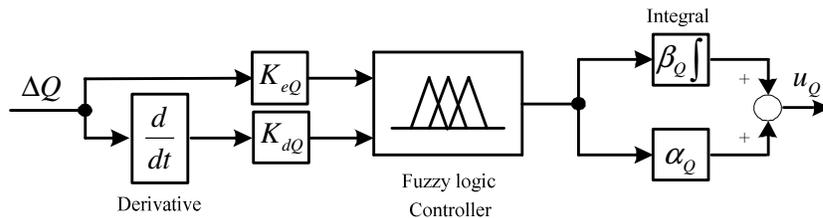
$$\bar{Q}_{FC} = Q_{FC0} \quad (11)$$

การออกแบบตัวควบคุม

จากรูปที่ 8 (ก) ตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (P Controller) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q Controller) ได้ทำการแทนด้วยตัวควบคุมฟัซซีโลจิก-พีเอ็ด ดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 10 ตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของ AE



รูปที่ 11 ตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE

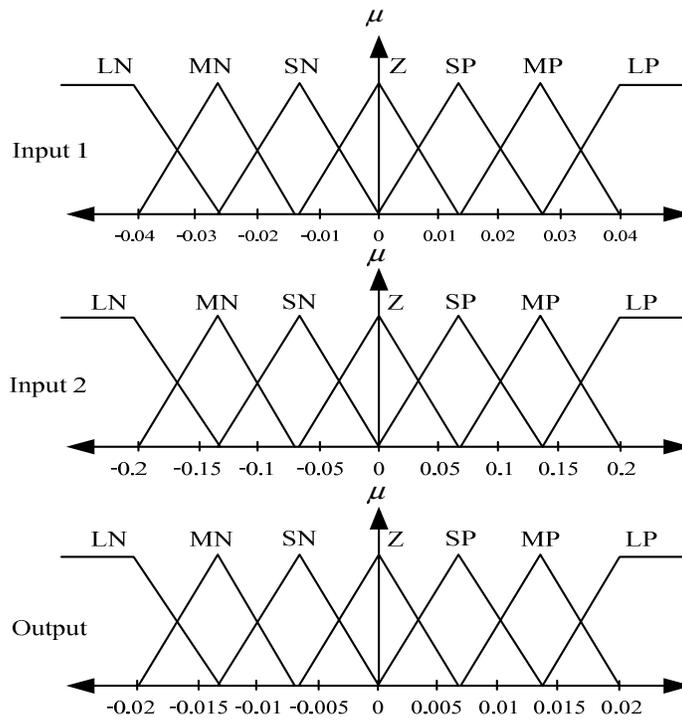
เมื่อ

K_{eP}, K_{dP}, β_P และ α_P คือ แพคเตอร์สัดส่วนของตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง

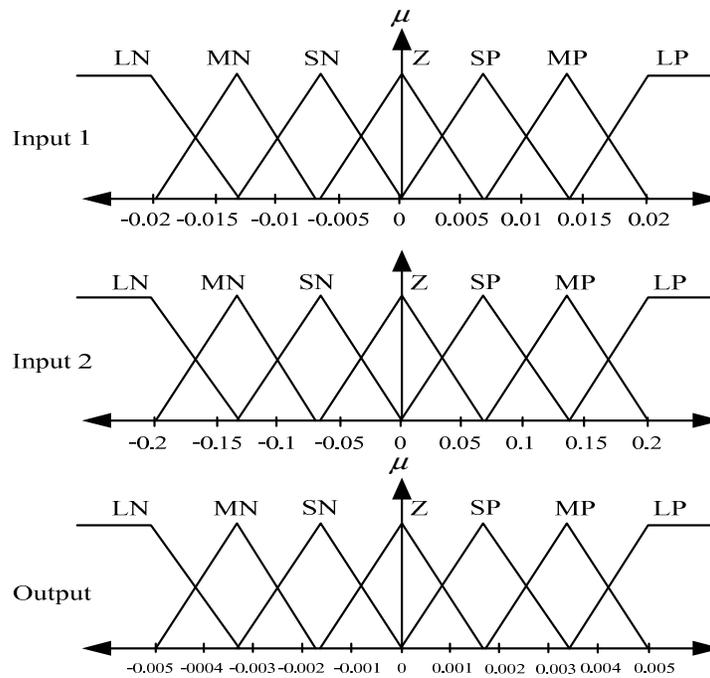
K_{eQ}, K_{dQ}, β_Q และ α_Q คือ แพคเตอร์สัดส่วนของตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือน

u_P และ u_Q คือ สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีโลจิก-พีเอ็ดสำหรับควบคุม กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน

ในส่วนของฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซีโลจิกที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นสำหรับตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนได้แสดงไว้ในรูปที่ 12-13 และกฎควบคุมของตัวควบคุมทั้งกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนในสถานะเริ่มต้นจะใช้แบบเดียวกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 12 ฟังก์ชันสมาชิกเริ่มต้นสำหรับตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของ AE



รูปที่ 13 ฟังก์ชันสมาชิกเริ่มต้นสำหรับตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE

ตารางที่ 1 กฎควบคุมสำหรับตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของ AE

		Input 2						
		LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP
Input 1	LN	LP	LP	LP	MP	MP	SP	Z
	MN	LP	MP	MP	MP	SP	Z	SN
	SN	LP	MP	SP	SP	Z	SN	MN
	Z	MP	MP	SP	Z	SN	MN	MN
	SP	MP	SP	Z	SN	SN	MN	LN
	MP	SP	Z	SN	MN	MN	MN	LN
	LP	Z	SN	MN	MN	LN	LN	LN

ในการศึกษาครั้งนี้ การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีที่นำเสนอ นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีแบบทั่วไป และระบบที่ไม่ได้มีการควบคุมโดยมีลักษณะของการออกแบบดังนี้

1. ตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีสำหรับ AE แบบทั่วไป (Conventional fuzzy logic-PID AE controller: Conventional FLPID) โดยตัวควบคุมนี้จะใช้ฟังก์ชันสมาชิก และกฎควบคุมดังแสดงในรูปที่ 12-13 และ ตารางที่ 5.1 ตามลำดับ ส่วนทางด้านแพคเตอร์สัดส่วนจะทำการออกแบบให้เหมาะสมด้วยวิธีฝูง

2. ตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีสำหรับ AE แบบเหมาะสม (Optimal fuzzy logic-PID AE controller: Optimal FLPID) ตัวควบคุมนี้ เป็นตัวควบคุมที่วิทย์านาพินธ์นี้นำเสนอ โดยจะทำการออกแบบทั้งในส่วนของ แพคเตอร์สัดส่วน ฟังก์ชันสมาชิก และกฎควบคุม ให้มีความเหมาะสมด้วยวิธีฝูงพร้อมกันทั้งหมด

สำหรับการออกแบบให้มีความเหมาะสม การแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนในสาย 1-6 ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้พิจารณาในการนำมาหาพื้นที่ใต้กราฟ โดยใช้วิธี integral absolute error (IAE) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ดังสมการ

$$\text{Minimize } IAE = \int_0^{\infty} (|\Delta P(t)| + |\Delta Q(t)|) dt \quad (12)$$

เมื่อ

ΔP คือ การแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงในสาย1-6

ΔQ คือ การแกว่งของกำลังไฟฟ้าเสมือนในสาย1-6

โดยพารามิเตอร์ต่างๆในการออกแบบกำหนดค่าไว้ดังนี้

แพคเตอร์สัดส่วนทุกตัวอยู่ในช่วงระหว่าง -10 ถึง 10

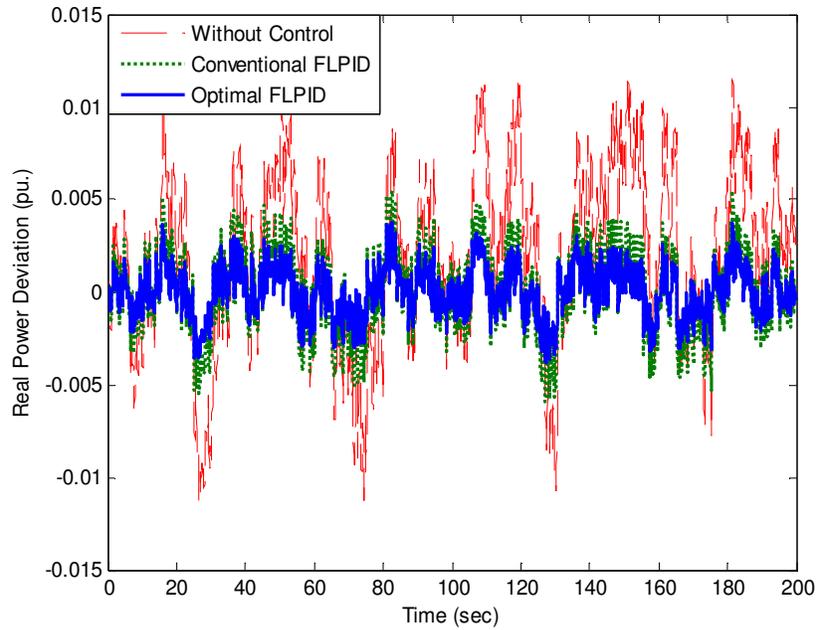
ฟังก์ชันสมาชิกทุกตัวอยู่ในช่วงระหว่าง -50% ถึง +50% จากตำแหน่งเดิม

กฎควบคุมทุกตัวอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 7 (LN-LP)

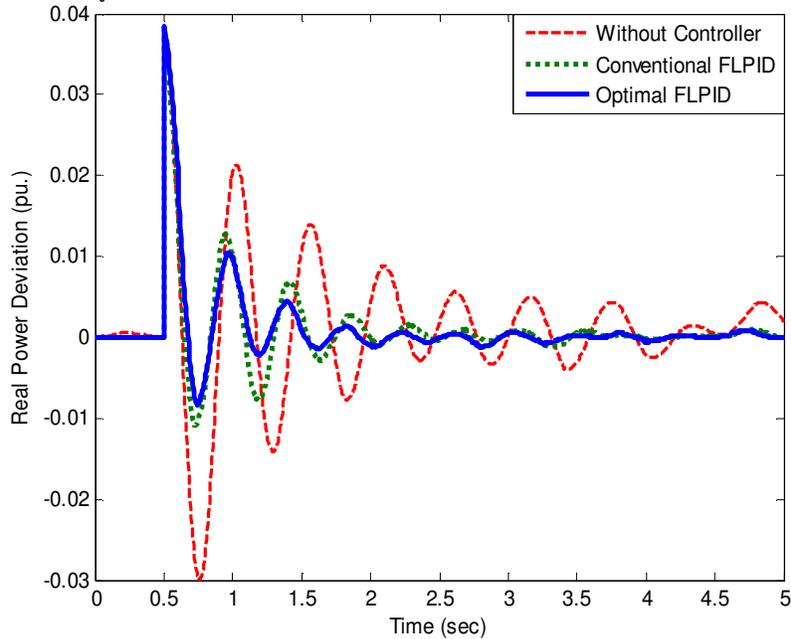
ในที่นี้จะประยุกต์ใช้วิธีฝูงเพื่อแก้ปัญหาการทำให้เหมาะสมสมการ (12) และใช้การจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพผลตัวควบคุมดังกรณีต่อไปนี้

การจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ 1 สมมติว่าในระบบมีกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายเข้าไปยังระบบ ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าในสาย 1-6 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 14 จะเห็นว่า สมรรถนะของ AE เมื่อระบบมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเนื่องมาจากผลกระทบของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่คงที่ ภายใต้ตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีที่ออกแบบให้เหมาะสมด้วยวิธีฝูงดังที่นำเสนอ (Optimal FLPID) สามารถที่จะลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงให้น้อยลงกว่าวิธีออกแบบโดยทั่วไป (Conventional FLPID) และระบบที่ไม่มีตัวควบคุม (ให้ AE รับไฟฟ้าคงที่)

ในกรณีที่ 2 สมมติว่าจากในกรณีแรกนั้น เกิดความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงของโหลดเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดจาก 0.5 เป็น 0.6 pu. เมื่อพิจารณาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสาย 1-6 ดังแสดงในรูปที่ 15 เห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจริง ภายใต้การควบคุมของ AE ที่ใช้ตัวควบคุมฟuzzy logic-พีไอดีที่ออกแบบด้วยวิธีฝูงดังที่นำเสนอ นั้น มีการแกว่งที่น้อยกว่า และสามารถที่จะกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าตัวควบคุม ฟuzzy logic-พีไอดีที่ออกแบบโดยทั่วไป และระบบที่ไม่มีตัวควบคุม



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงในสาย 1-6 ในกรณีที่ 1



รูปที่ 15 การแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงในสาย 1-6 ในกรณีที่ 2

ความก้าวหน้าของงานวิจัย ได้รับการตอบรับตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ ดังรายละเอียดต่อไปนี้
Theerawut Chaiyatham and Issarachai Ngamroo,

“A bee colony optimization based-fuzzy logic-PID control design of electrolyzer for microgrid stabilization”,
International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.8, No.9, September 2012,
pp.6049-6066. (ISI Impact Factor 2010 = 1.664)

ในที่นี้ได้แนบจดหมายการตอบรับการตีพิมพ์พร้อมต้นฉบับบทความที่ได้รับตีพิมพ์มาพร้อมรายงานนี้

3. สรุปผลการดำเนินงาน
 เป็นไปตามแผน ไม่เป็นตามแผน เนื่องจาก

4. ความก้าวหน้าการดำเนินงานโครงการวิจัยที่ดำเนินการไปแล้ว คิดเป็นร้อยละ 100.....

5. รายละเอียดแผนงานที่จะดำเนินการต่อไป.....
.....
.....

6. การรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณ

6.1 การเบิกจ่ายงบประมาณ

งวดที่ 180,000.....บาท100.....% วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป)1/10/2554.....

6.2 สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน(จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	-
งบดำเนินงาน	-
ค่าตอบแทน	-
ค่าใช้สอย	-
ค่าวัสดุ	80000
ค่าสาธารณูปโภค	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-
รวมงบประมาณที่จ่ายไปแล้ว	80000

7. ปัญหา /อุปสรรค

8. ข้อเสนอแนะ / แนวทางแก้ปัญหา

9. กำหนดเวลาส่งรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เดือน กันยายน พ.ศ. 2555.....

10. ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวไว้ในข้างต้นเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ

(..... อิศระชัย งามทร.....)

หัวหน้าโครงการ

วันที่ 30 กันยายน 2555.....

ลงชื่อ

(..... อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ.....)

หัวหน้าหน่วยงานที่หัวหน้าโครงการสังกัด

วันที่ 30 กันยายน 2555.....