

## บทที่ 4

### การออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบคงทนสำหรับวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบ โหมดกระแสสูงสุดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

การออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบคงทนสำหรับวงจรทอน-ทบระดับแรงดัน (Buck-Boost Converter) แบบโหมดกระแสด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมให้กับวงจรทอน-ทบระดับแรงดัน จะดำเนินการเช่นเดียวกับการออกแบบชุดควบคุมพีไอดีในบทที่ผ่านมา ตัวโดยเริ่มพิจารณาจากแบบจำลองพลวัตของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันที่เป็นแบบโหมดกระแสสูงสุด (Peak Current-Mode) [2] เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเมื่อได้ฟังก์ชันถ่ายโอนแล้วก็ทำการออกแบบชุดควบคุมโดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

#### แบบจำลองพลวัตของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบโหมดกระแสสูงสุด

วงจรทอน-ทบระดับแรงดัน (Buck-Boost Converter) แบบโหมดกระแสสูงสุด (Peak Current-Mode) [2] ดังภาพ 37 ซึ่งจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนจากกระแสอ้างอิง (Current Reference) ไปยังแรงดันทางด้านเอาต์พุต (Output Voltage) ดังนี้

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = R \frac{V_g}{V_g + 2V_o} \frac{1 - \frac{Ls}{R} \frac{V_o}{V_g} \frac{V_g + V_o}{V_o}}{1 + RCs \frac{V_g + V_o}{V_g + 2V_o}} \quad (4.1)$$

โดยที่วงจรทอน-ทบระดับแรงดันมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$V_g = 12 \text{ V}$$

$$V_o = 30 \text{ V}$$

$$R = 40 \text{ } \Omega$$

$$L = 100 \text{ } \mu\text{H}$$

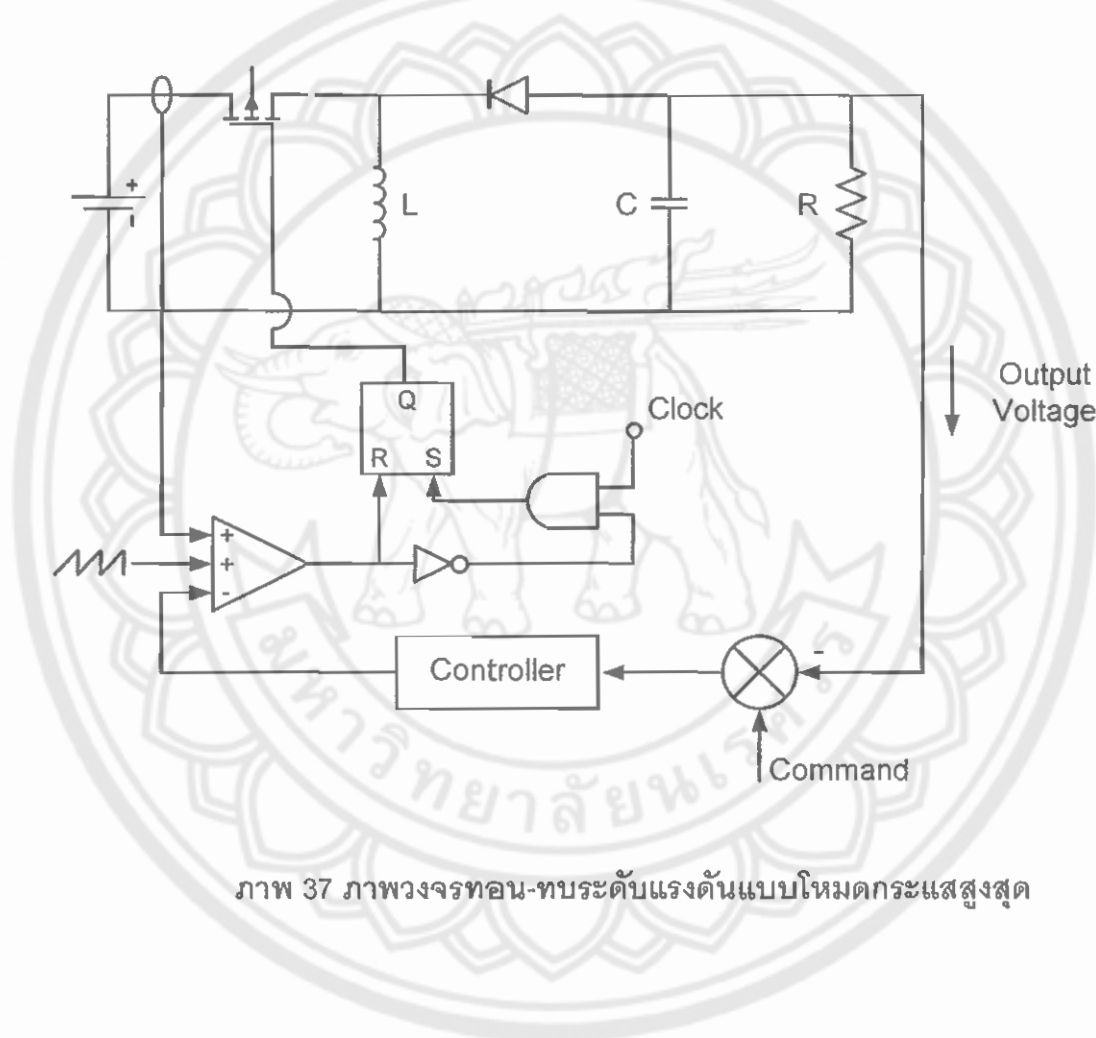
$$C = 470 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R_s = 0.5 \text{ } \Omega$$

$$f_s = 50 \text{ kHz}$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรทอน-ทระดับแรงดันในสมการที่ (4.1) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรทอน-ทระดับแรงดันแบบโหมดกระแสสูงสุด จากกระแสอ้างอิง (Current Reference) ไปยังแรงดันทางด้านเอาต์พุต (Output Voltage) ดังสมการที่ (4.2)

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = G = \frac{-0.0042s + 480}{0.7896s + 72} \quad (4.2)$$



ภาพ 37 ภาพวงจรทอน-ทระดับแรงดันแบบโหมดกระแสสูงสุด

การออกแบบตัวควบคุมแบบจัดสัญญาณวงรอบเอชอินฟินิตี้ (H infinity Loop Shaping) ที่กำหนดโครงสร้างได้ด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม สำหรับวงจรถอน-ทบระดับแรงดันแบบ โหมดกระแสสูงสุด

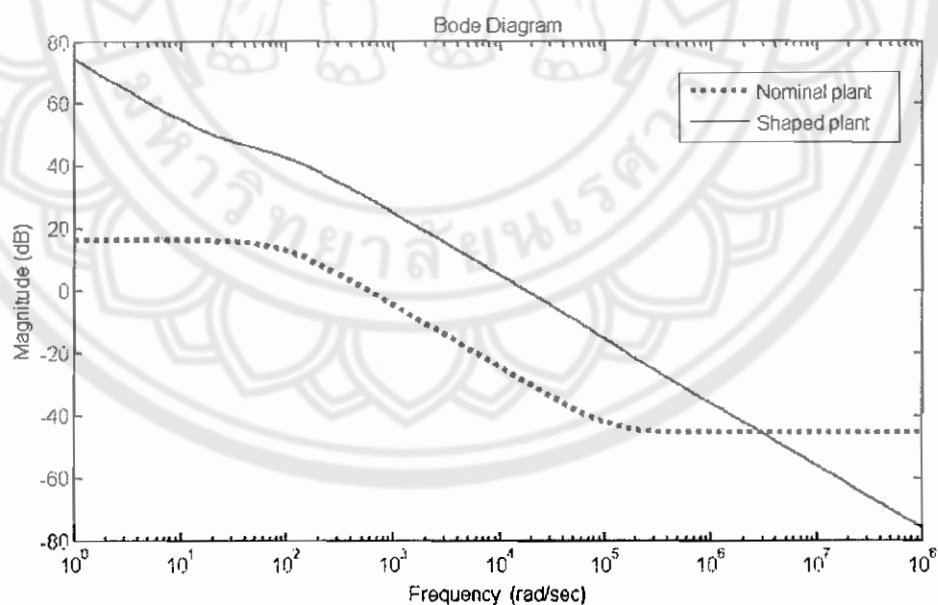
การออกแบบวงจรถอบคุมตามวิธีการที่นำเสนอจะแสดงได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะต้องมีการกำหนดค่าฟังก์ชันน้ำหนักก่อน ( $W_1$ ) และหลัง ( $W_2$ ) โดยต้องออกแบบให้ค่าส่วนเผื่อเสถียรภาพ ( $\epsilon_{opt}$ ) มีค่ามากกว่า 0.25 (หรือค่า  $\gamma_{opt} > 4$ ) โดยออกแบบฟังก์ชันน้ำหนักชดเชยก่อน  $W_1$  และฟังก์ชันน้ำหนักชดเชยหลัง  $W_2$  ดังนี้

$$W_1 = 30 \frac{(s+26.7)}{(s+0.001)}, \quad W_2 = \frac{100000}{s+100000} \quad (4.3)$$

$$G_s = W_1 G W_2 = 30 \frac{(s+26.7)(-0.0042s+480)(10000)}{(s+0.001)(0.7896s+72)(s+10000)} \quad (4.4)$$

จากสมการที่ (4.4) สามารถหาค่าส่วนเผื่อเสถียรภาพ ( $\epsilon_{opt}$ ) ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.612 (ซึ่งมากกว่า 0.25) แสดงว่าฟังก์ชันน้ำหนักชดเชยก่อน  $W_1$  และฟังก์ชันชดเชยน้ำหนักหลัง  $W_2$  ที่ออกแบบขึ้นมานั้นมีความเหมาะสม แล้วพิจารณาฟังก์ชันน้ำหนักชดเชยก่อน  $W_1$  และฟังก์ชันชดเชยน้ำหนักหลัง  $W_2$  จะต้องทำให้ระบบที่ทำการจัดสัญญาณวงรอบมีเสถียรภาพ



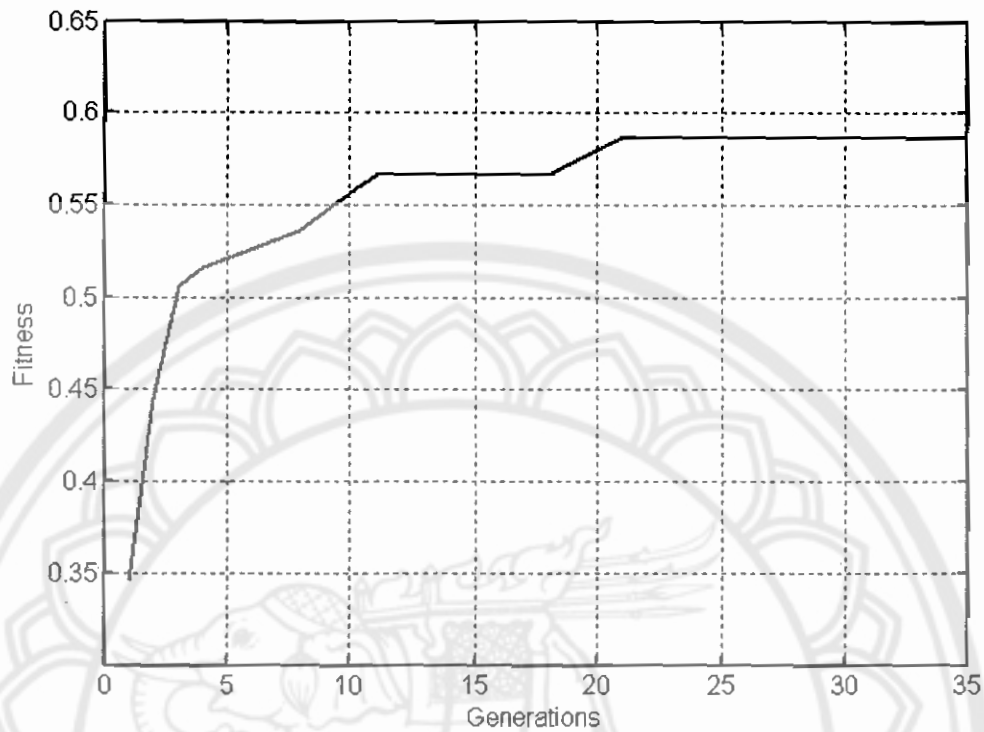
ภาพ 38 การเปรียบเทียบแผนภาพโบดของระบบก่อนจัดสัญญาณวงรอบ และแผนภาพโบดของระบบหลังจัดสัญญาณวงรอบวงจรถอน-ทบระดับแรงดัน

จากภาพ 38 เป็นแผนภาพโบทของระบบจากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการจัดสรรฐานแล้วจะมีค่าแบนด์วิดท์ของระบบเพิ่มจาก 500 rad/s เป็นประมาณ 20000 rad/s และในช่วงความถี่ต่ำมีอัตราการขยายสูงและในช่วงความถี่สูงมีอัตราการขยายต่ำ จากภาพ 38 จะมีอัตราการขยายที่ความถี่ 100 rad/sec จะพบว่าระบบก่อนจัดสรรฐานมีค่าอัตราการขยายประมาณ 15 เท่า และระบบหลังจัดสรรฐานมีค่าอัตราการขยายประมาณ 45 เท่า ซึ่งหมายถึงสมรรถนะและความคงทนที่ดีขึ้นและมีค่าแบนด์วิดท์กว้างขึ้น และมีเฟสเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 180 องศา เพราะว่าถ้าเฟสมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 180 องศา จะทำให้ระบบมีอัตราการขยายเป็นลบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมขึ้น ( $K(p)$ ) จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยวิธีการที่นำเสนอจะกำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมให้เป็นแบบ ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งโครงสร้างของตัวควบคุมนี้มีลักษณะดังนี้

$$K(p) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (4.5)$$

เลือกช่วงพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ต้องการหา ดังนี้  $K_p \in [0 \ 100]$  และ  $K_i \in [0 \ 4000]$  แล้วใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าพารามิเตอร์  $K_p$  และ  $K_i$  ที่เหมาะสมที่สุด และค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีดังนี้ population size = 300, operator probability : crossover = 0.6, mutation = 0.05, maximum generation = 35 เมื่อถึงรุ่นที่ 23 ค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถหาค่าตอบได้ดังแสดงในภาพ 39



ภาพ 39 ค่าฟิตเนสของคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ตั้งแต่รุ่นที่ 1 ถึง 35

เมื่อดำเนินการเชิงพันธุกรรมเสร็จสิ้น จะได้พารามิเตอร์  $p$  ที่ทำให้ตัวควบคุมเหมาะสมที่สุด และเป็นไปตามโครงสร้างที่กำหนดขึ้น  $K(p)$  คือ

$$K(p) = 21.84 + \frac{597.6}{s}$$

$$K = K(p)W_2$$

$$K = \left( 21.84 + \frac{597.6}{s} \right) \left( \frac{100000}{s+100000} \right) \quad (4.6)$$

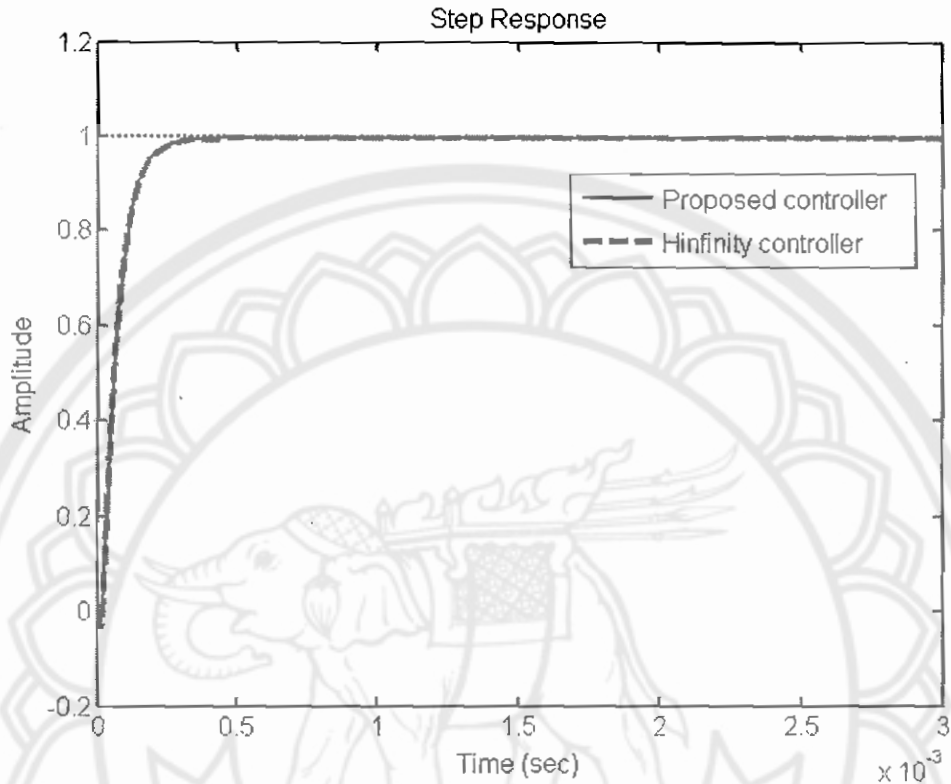
โดยมีค่าเผื่อเสถียรภาพ ( $\epsilon$ ) เท่ากับ 0.586

จากผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบตัวควบคุมจึงได้ทำการออกแบบตัวควบคุมจากวิธีการจัดสรรฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ในหัวข้อที่ 2.4 ซึ่งจะได้ตัวควบคุม  $K$  คือ

$$K = W_1 K_\infty W_2 \quad (4.7)$$

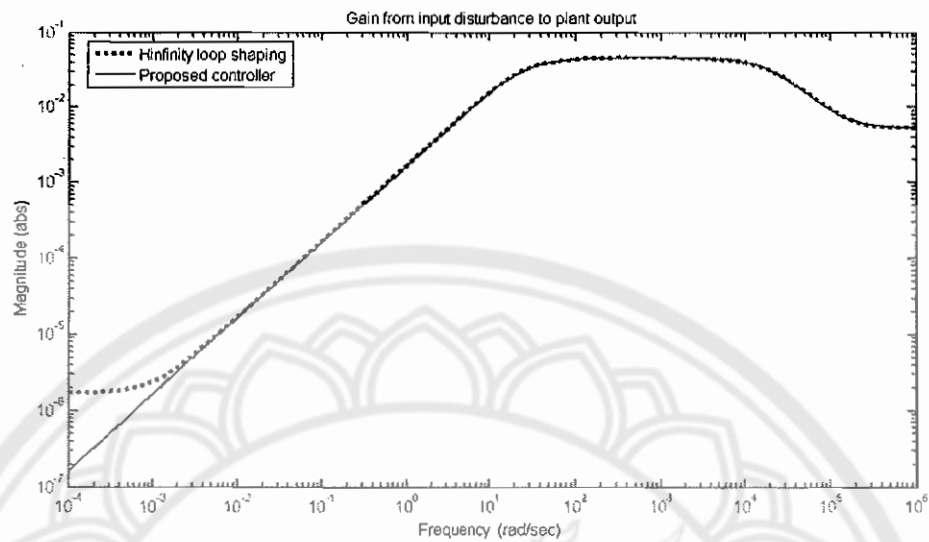
$$K(s) = W_1 K_\infty W_2 = \left( 30 \frac{(s+26.7)}{(s+0.001)} \right) \left( \frac{261841(s+1.002 \times 10^5)(s+26.9)}{(s^2 + 3.265 \times 10^5 s + 3.608 \times 10^{10})(s+26.7)} \right) \left( \frac{100000}{s+100000} \right) \quad (4.8)$$

โดยมีค่าเผื่อเสถียรภาพ ( $\epsilon$ ) เท่ากับ 0.590



ภาพ 40 ภาพการตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดของตัวควบคุมที่ได้จากการจัดสรรฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้ และตัวควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าส่วนเผื่อเสถียรภาพของตัวควบคุม จะพบว่าตัวควบคุมที่ผู้วิจัยนำเสนอจะค่าส่วนเผื่อเสถียรภาพน้อยกว่าชุดควบคุมที่ได้จากการจัดสรรฐานวงรอบเอชอินฟินิตี้เล็กน้อย ภาพ 40 แสดงผลการจำลองการทำงานของตัวควบคุมทั้งสองแบบ พบว่าทั้งสองแบบให้ค่าผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดไม่แตกต่างกันมาก ค่า Rise time ของระบบอยู่ที่ประมาณ 0.0005 วินาที ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่มีการตอบสนองไวมาก



ภาพ 41 ภาพอัตราการขยายจากตัวรบกวนไปยังเอาต์พุต



ภาพ 42 กราฟ multiplicative plant perturbation

ภาพ 42 จะเป็นอัตราการขยายจากตัวรบกวนไปยังเอาต์พุตของระบบ สมมติว่าพิจารณาที่ความถี่  $10^0$  rad/sec จะพบว่าอัตราการขยายตัวรบกวนที่เข้ามาในระบบไปยังเอาต์พุตของระบบเท่ากับ  $10^{-3}$  เท่า ซึ่งก็ถือว่าอัตราการขยายที่น้อยมาก และอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบที่นำเสนอมีค่าใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบเฮออินฟินิตี้ ส่วนภาพ 43 จะเป็นกราฟ multiplicative ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าสามารถรันดีในเชิง multiplicative ได้อีกด้วย

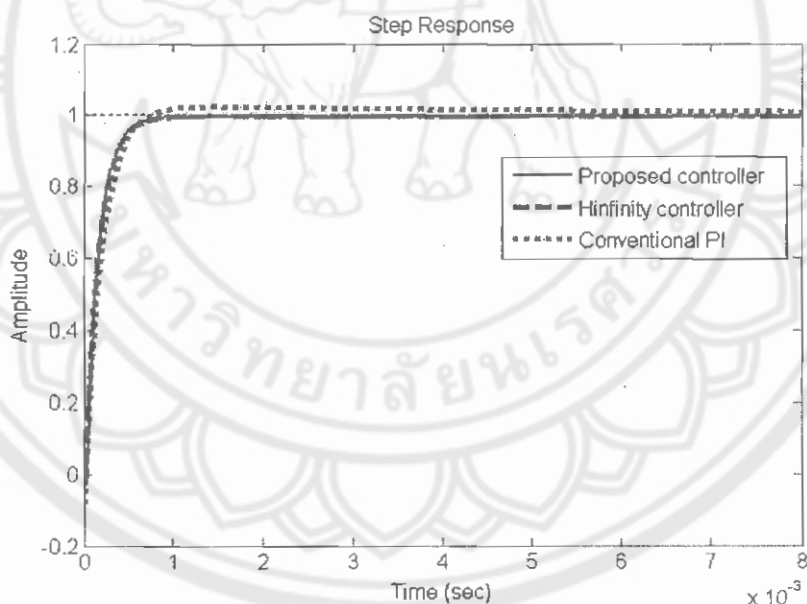
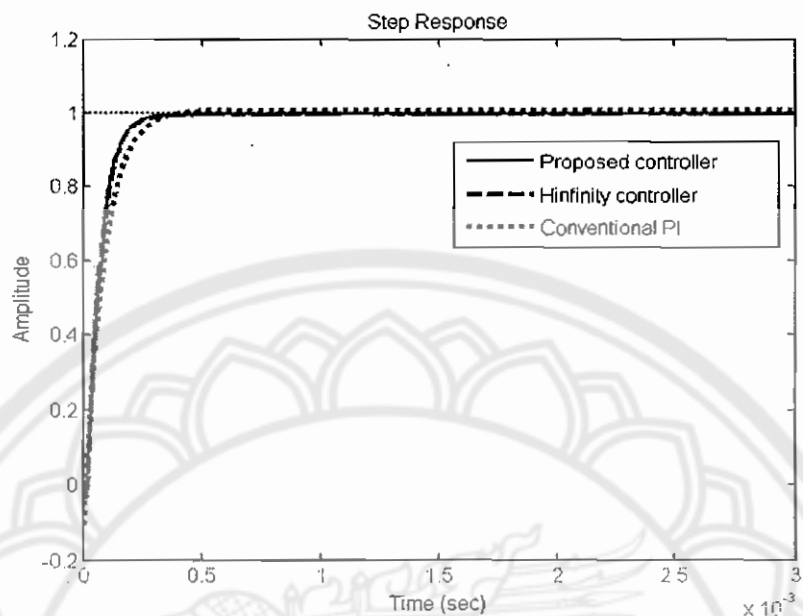
เพื่อทดสอบความคงทนต่อพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในระบบในวิทยานิพนธ์นี้จึงทดลองเปลี่ยนค่าโหลด ความจุของตัวเก็บประจุ และเปลี่ยนค่าความเหนียว ซึ่งส่งผลให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลง และเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (PI controller) ที่ปรับด้วยมือ โดยที่จะใช้วิธี trial and error ปรับค่าพารามิเตอร์ของชุดควบคุมแบบ (PI controller) ให้มีเวลาการตอบสนองใกล้เคียงกันกับผลการตอบสนองของชุดควบคุมที่นำเสนอเมื่อระบบยังไม่มีมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Normal Plant) โดยที่ชุดควบคุม (PI controller) ที่ปรับด้วยมือมีค่าพารามิเตอร์ดังสมการที่ (4.9)

$$K = 18 + \frac{3300}{s} \quad (4.9)$$

ตาราง 16 แสดงค่าพารามิเตอร์ของระบบก่อนและหลังเปลี่ยนพารามิเตอร์

ระบบก่อนเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Normal Plant)	ระบบหลังเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Vary Plant)
$R = 40 \ \Omega$	$R = 20 \ \Omega$
$L = 100 \ \mu H$	$L = 130 \ \mu H$
$C = 470 \ \mu F$	$C = 1000 \ \mu F$

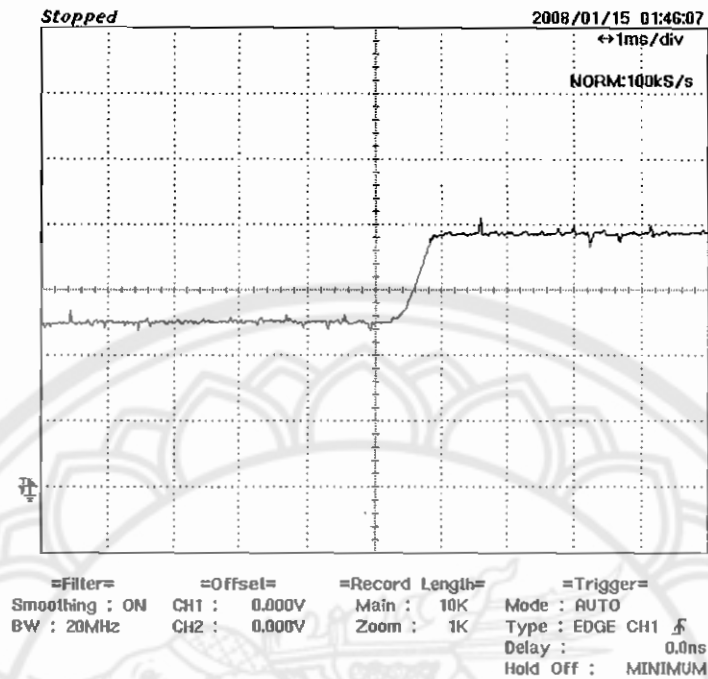




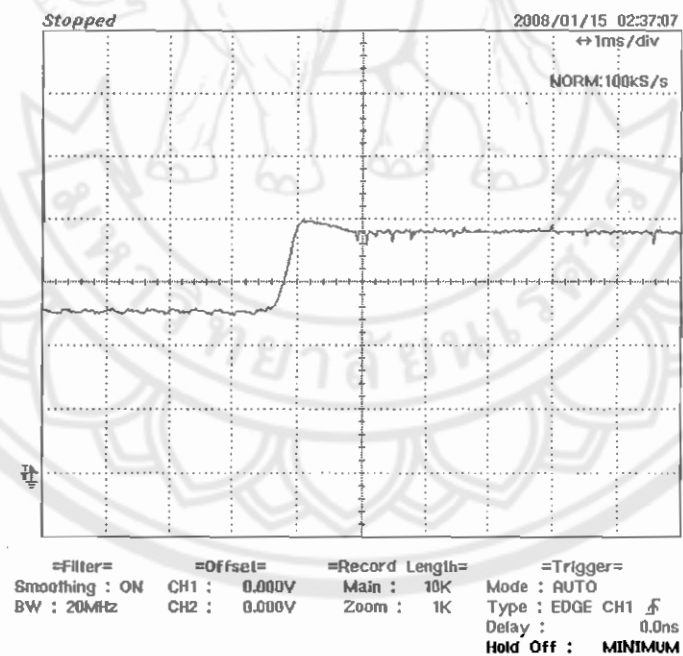
(ข)

ภาพ 43 ภาพเปรียบเทียบการตอบสนองของชุดควบคุมที่นำเสนอ ชุดควบคุมที่ใช้วิธีเอชอินฟินิตี้ และชุดควบคุมที่ปรับด้วยมือที่การจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ (ก) ผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบก่อนเปลี่ยนพารามิเตอร์ และ (ข) ตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบหลังเปลี่ยนพารามิเตอร์





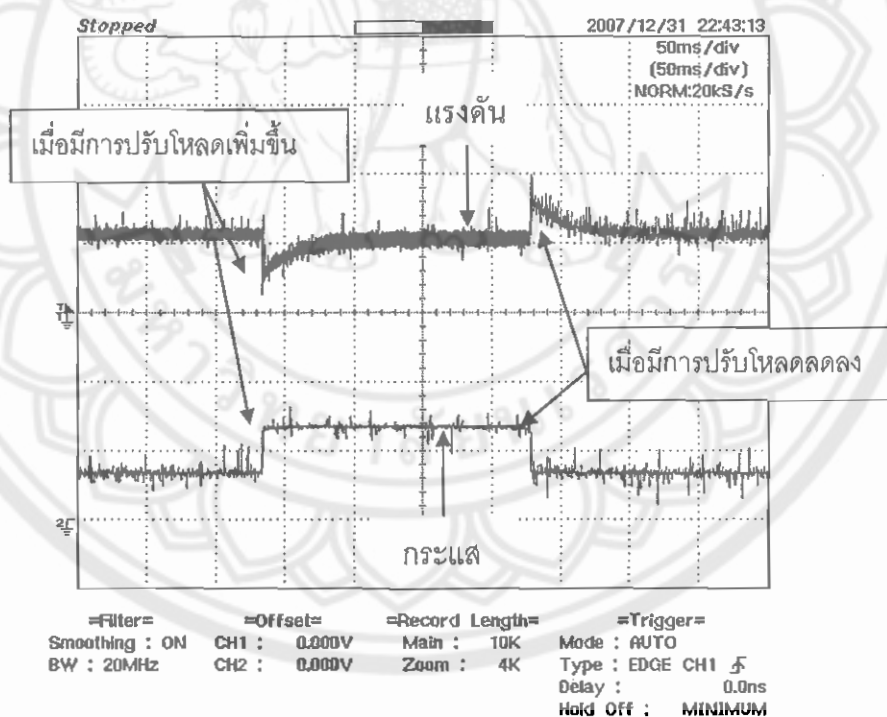
(ก)



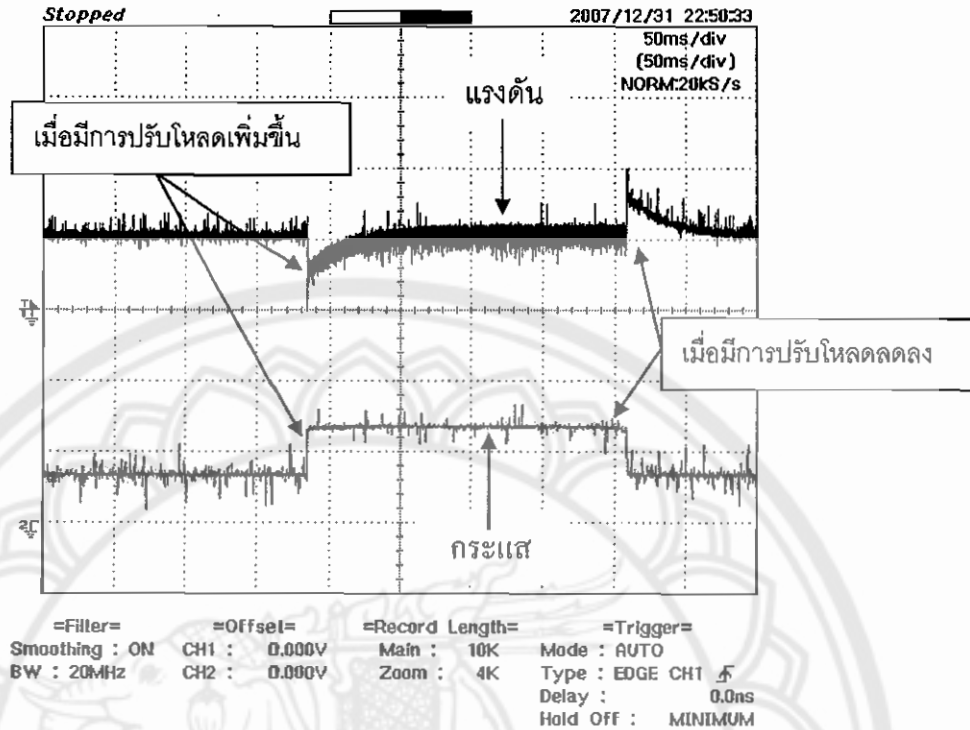
(ข)

ภาพ 45 ภาพเปรียบเทียบผลการทดลองจริงของการตอบสนองของชุดควบคุมที่ปรับด้วยมือ (ก) ผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบก่อนเปลี่ยนพารามิเตอร์ และ (ข) ตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบหลังเปลี่ยนพารามิเตอร์

จากภาพ 43 (ก) 44 (ก) และ 45 (ก) แสดงผลตอบสนองของระบบก่อนเปลี่ยนพารามิเตอร์ จะพบว่า การตอบสนองต่อเวลาของระบบที่ควบคุมด้วยชุดควบคุมที่นำเสนอละชุดควบคุมที่ปรับด้วยมือจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน เมื่อมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของระบบ จากภาพ 44 (ข) จะพบว่าระบบที่ควบคุมด้วยชุดควบคุมที่นำเสนอมีการตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดใกล้เคียงกับการตอบสนองของระบบก่อนมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ ส่วนชุดควบคุมที่ปรับด้วยมือเมื่อมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของระบบจะทำการให้เกิดโอเวอร์ชhoot (overshoot) ขึ้นดังภาพ 45 (ข) และส่วนภาพ 46 และ 47 จะแสดงการตอบสนองของระบบเมื่อมีเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างทันทีทันใดของชุดควบคุมแบบที่นำเสนอละชุดควบคุมแบบจูนมือ ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุมทั้งสองแบบก็สามารถปรับระดับแรงดันให้คงที่ได้ จากตรงนี้จะพบว่าชุดควบคุมทั้งสองแบบจะตอบสนองแบบ load changing ได้ดีทั้งคู่ แต่จะตอบสนองแบบ parameter changing จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน



ภาพ 46 ภาพการตอบสนองของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดของชุดควบคุมแบบที่นำเสนอละชุดควบคุมแบบจูนมือ



ภาพ 47 ภาพการตอบสนองของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนโหลดของชุดควบคุมแบบจูนมือ

#### สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้ได้นำเสนอการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรถอบ-ทระดับแรงดันแบบโหมดกระแสสูงสุด เมื่อได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแล้วจึงนำไปตั้งเครื่องหาชุดควบคุมและมีการเปรียบเทียบการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์จะพบว่าชุดควบคุมโดยวิธีที่นำเสนอและวิธีเอชอินฟินิตี้ จะพบว่าชุดควบคุมทั้งสองมีผลต่อการตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดใกล้เคียงกัน และทดสอบการทำงานจริงของวงจรถอบ-ทระดับแรงดันที่ถูกควบคุมโดยชุดควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้และชุดควบคุมที่ปรับด้วยมือ เมื่อมีพารามิเตอร์ภายในระบบเปลี่ยนแปลง ก็พบว่าวงจรถอบ-ทระดับแรงดันก็ยังมีเสถียรภาพอยู่และมีการตอบสนองที่ไวได้