

## การลดลำดับโครงสร้างวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

### Reduction of AC/DC Buck Converter Structure Order by Using Genetic Algorithm

นัฐพล ภูระหงษ์ สมคิด อุทธิเนติกุล วาสนา วงศ์ษา และ ปรียากร บัวทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

83 หมู่ 11 ถ.สระบุรี-หล่มสัก ต.สะเดียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1490 E-mail: nuttapon\_sam@hotmail.com

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการลดลำดับโครงสร้างของระบบที่มีลำดับสูงของวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งลักษณะโครงสร้างของระบบที่นำมาใช้ทำการสังเคราะห์ตัวควบคุมยกเป็นเรื่องยาก อีกทั้งชุดข้อมูลที่ให้มีลำดับของโครงสร้างที่สูง ทำให้เป็นเรื่องยากในการหาตัวควบคุมที่ได้ผลดี โดยผลที่ได้จากการทดลองแสดงถึงการเปรียบเทียบของวงจรแบบดั้งเดิม และแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอ ซึ่งการสังเคราะห์ตัวควบคุมยกที่มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

วงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ย ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม การลดลำดับโครงสร้าง

Abstract

This paper presents a technique for reduction of high order of AC/DC buck converter by using genetic algorithm. The structure of the robust controller which is synthesized from the buck converter is normally complicated with high order and difficult in the implementation, but this technique can overcome this problem. Simulation results show the comparison specification of the original system and the proposed technique system. Structure of the robust controller which is synthesized by the proposed technique is low order and can be applied to AC/DC buck converter.

Keywords: AC/DC buck converter, Genetic algorithm. Reduce order

คำนำ

วงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการทำงานที่ง่ายของวงจรทอนระดับแรงดันให้มีประสิทธิภาพที่ดีนั้นจำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพที่สูงด้วย ซึ่งในปัจจุบันได้มีวิธีการสังเคราะห์ตัว

ควบคุมยกที่มีประสิทธิภาพสูงหลายวิธี เช่น การสังเคราะห์ตัวควบคุมยกด้วยวิธี  $H_\infty$ , การสังเคราะห์ตัวควบคุมยกด้วยวิธี  $H_2/H_\infty$  [1-2] โดยชุดควบคุมที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวมักมีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อน มีลำดับสูง ยากแก่การนำไปใช้งานได้จริง เนื่องจากจำนวนลำดับและลักษณะของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับจำนวนลำดับของระบบและตัวควบคุมที่ซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งระบบมีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อน และมีลำดับสูง ตัวควบคุมยกก็จะมีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อน และลำดับสูงมากยิ่งขึ้น

ในการออกแบบลักษณะโครงสร้างของระบบที่ต้องการจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะโครงสร้างของชุดควบคุมยก และคุณสมบัติของระบบแบบดั้งเดิมด้วย เพื่อให้ชุดควบคุมยกที่ได้สามารถนำไปใช้ได้กับระบบแบบดั้งเดิม และสามารถนำไปใช้งานได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ได้กำหนดลักษณะโครงสร้างไว้เป็นเป็นเรื่องที่ยากมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้เทคนิคการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม [3-6] ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะโครงสร้างที่กำหนดไว้ และมีคุณสมบัติตามระบบแบบดั้งเดิม

ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ส่วนที่ 2 คือ ทฤษฎี หลักการ และผลการทดลองของงานวิจัย ส่วนที่ 3 คือ สรุปผลที่ได้จากการวิจัย

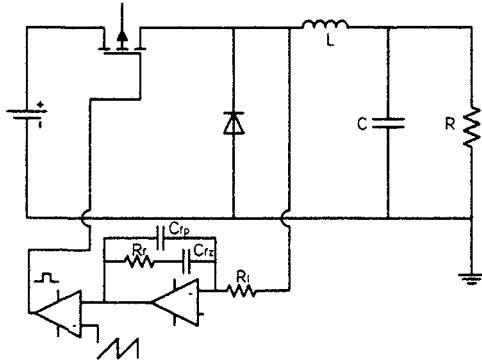
## 2. ทฤษฎี หลักการ และผลการทดลอง

### 2.1 แบบจำลองวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ย (AC/DC Buck Converter Model)

วงจรทอนระดับแรงดันสามารถแบ่งรูปแบบการควบคุมออกได้เป็น 2 แบบ คือ โหมคควบคุมกระแส (Current Mode Control : CMC) และโหมคควบคุมแรงดัน (Voltage Mode Control : VMC) โดยโหมคควบคุมกระแสมีข้อดีมากกว่าโหมคควบคุมแรงดันเนื่องจากมีผลการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตที่เร็วกว่า สามารถป้องกันกระแสไหลเกินได้ โดยในโหมคการควบคุมกระแสจะมีวงรอบการทำงาน 2 วงรอบ คือ วงรอบนอก (Outer Voltage Loop) ที่ควบคุมแรงดันเอาต์พุต และวงรอบใน (Inner Current Loop) ที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยลักษณะการทำงานของวงจรคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่า

CT07

น้อยกว่าแรงดันที่ดั่งไว้ วงรอบในจะเพิ่มปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เพื่อคงค่าแรงดันตามที่ดั่งไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ย (Average Current Mode Control : ACMC) โดยมีแบบจำลองการทำงานดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ย

จากรูปที่ 1 และ [7-8] สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างกระแสอ้างอิง ( $V_c$ ) และแรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ ) ได้ดังสมการที่ 1

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = \frac{K_m (G_{CA}(s) + 1) G_A(s)}{1 + T_c(s)} \quad (1)$$

## 2.2 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ของกระบวนการ ซึ่งสามารถนำไปแก้ไขปัญหาก็ไม่เป็นเชิงเส้นได้ โดยอาศัยหลักการการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมของโครโมโซม และการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ โดยมีกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม 3 แบบ คือ การถอดแบบจากต้นแบบ (Reproduction) การกลายพันธุ์ (Mutation) และการข้ามสายพันธุ์ (Crossover) โดยกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะสร้างจำนวนประชากร (Population) ของแต่ละรุ่น (Generation) โดยการสุ่มค่าออกมาตามจำนวนประชากร จากนั้นทำการหาคำตอบของแต่ละประชากรตามเงื่อนไขของฟังก์ชันฟิตเนส (Fitness Function) เพื่อคัดเลือกประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันฟิตเนสที่มีค่ามากที่สุด จากนั้นทำการสร้างประชากรรุ่นถัดไป และคัดเลือกประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันฟิตเนสที่มากที่สุด ซึ่งจะเป็กระบวนการทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนได้คำตอบที่ดีที่สุด

## 2.3 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

ขั้นตอนวิธีลดลำดับโครงสร้างวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอสามารถสรุป

เป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดลักษณะโครงสร้างของวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยดังสมการที่ 2

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = \frac{as + b}{cs^2 + ds + e}$$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขอบเขตทางความถี่ของระบบและเงื่อนไขในการหาคำตอบ และกำหนดขอบเขตทางเวลาโดยใช้วิธีหาคำตอบกลับของดัชนีวัดค่า ISE (Integral of Square Error) เป็นฟังก์ชันฟิตเนส

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เช่น จำนวนประชากร จำนวนรุ่น ขอบเขตของตัวแปร และค่าเริ่มต้นในการกลายพันธุ์ และข้ามสายพันธุ์ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการสร้างจำนวนประชากรในรุ่นที่ 1 เพื่อหาประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันฟิตเนสมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการสร้างประชากรรุ่นใหม่ และสังเคราะห์หาประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันฟิตเนสที่ดีที่สุดจนครบจำนวนรุ่นของประชากรที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 6 ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของระบบที่ได้หาลำดับโครงสร้าง ถ้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ให้กลับไปขั้นตอนที่ 3 เพื่อปรับเปลี่ยนขอบเขตของตัวแปร

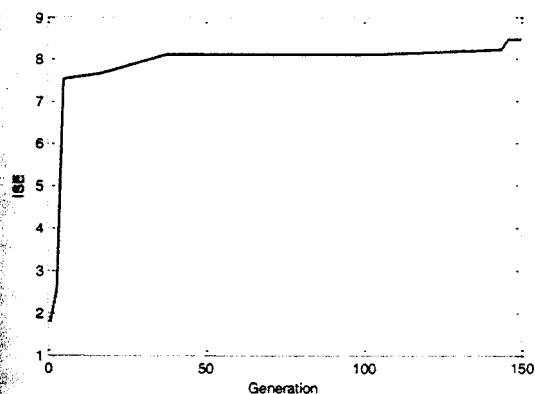
## 2.4 ผลที่ได้จากการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยดังนี้  $R_i = 1.5\Omega$ ,  $V_o = 10$ ,  $V_i = 24$ ,  $L = 100\mu H$ ,  $C = 220\mu F$ ,  $f_{sw} = 100kHz$ ,  $R_f = 1k\Omega$ ,  $R_j = 10k\Omega$ ,  $C_f = 27nF$  และ  $C_{fp} = 2.2nF$  เพื่อให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างกระแสอ้างอิง และแรงดันเอาต์พุต ได้ดังสมการที่ 3

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = \frac{3.168 \times 10^{-17} s^5 + 1.936 \times 10^{-11} s^4 + 9.979 \times 10^{-7} s^3 + 0.00643 s^2 + 50.86 s + 1.233 \times 10^5}{4.356 \times 10^{-25} s^7 + 5.143 \times 10^{-20} s^6 + 4.606 \times 10^{-15} s^5 + 1.854 \times 10^{-10} s^4 + 1.682 \times 10^{-6} s^3 + 0.012 s^2 + 48.02 s + 6.164 \times 10^4} \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 จะเห็นว่าวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยมีลำดับของโครงสร้างสูงถึง 7 ลำดับ (7<sup>th</sup> order) และมีลักษณะโครงสร้างที่ยุ่งยากซับซ้อน ทำให้ตัวควบคุมคงทนที่

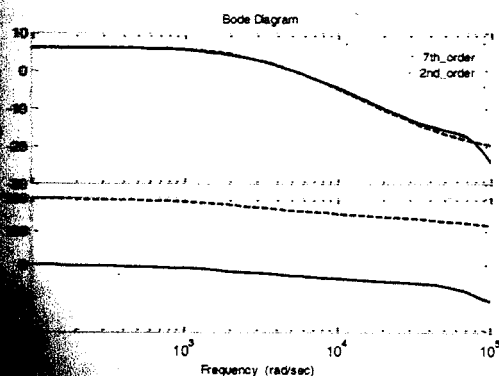
วิเคราะห์ด้วยวิธี  $H_\infty$  หรือ  $H_2/H_\infty$  มีลำดับของโครงสร้างสูงถึง 9 ลำดับ (9<sup>th</sup> order) ทำให้เป็นเรื่องยากในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง



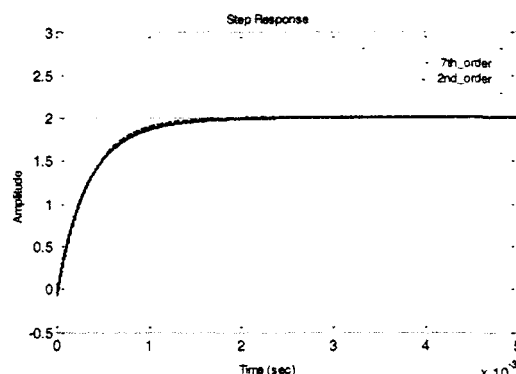
รูปที่ 2 ค่าส่วนกลับของดัชนีวัดค่า ISE ของประชากรในแต่ละรุ่น

รูปที่ 2 แสดงถึงการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันฟิตเนตมากที่สุดของแต่ละรุ่น โดยทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังนี้ ขอบเขตประชากร = [10,000 25,000; 75,000 85,000; 100; 0.01 100] ความน่าจะเป็นการกลายพันธุ์ = 0.2 ความน่าจะเป็นการย้ายพันธุ์ = 0.7 จำนวนประชากรในแต่ละรุ่น = 150 จำนวนรุ่นประชากร = 150 โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าฟังก์ชันฟิตเนตมากที่สุดในรุ่นที่ 46 ซึ่งมีค่าส่วนกลับของดัชนีวัดค่า ISE อยู่ที่ 8.454 โดยมีพารามิเตอร์ของฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างกระแสอ้างอิง ( $V_c$ ) และพารามิเตอร์ ( $V_o$ ) ดังสมการที่ 4

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = \frac{-2.502 \times 10^4 s + 1.742 \times 10^9}{0.1561 s^2 + 2.962 \times 10^5 s + 8.713 \times 10^8} \quad (4)$$



รูปที่ 3 เปรียบเทียบแผนภาพโบดของวงจรแบบดั้งเดิมและแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอ

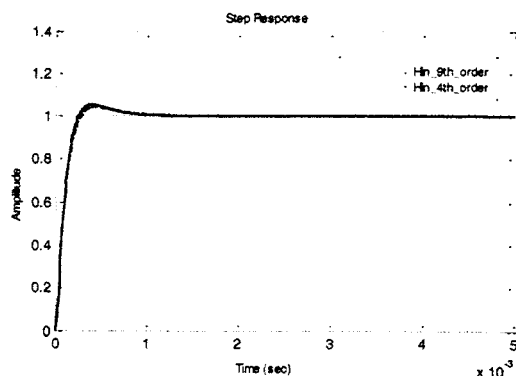


รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแบบเปิดของวงจรแบบดั้งเดิมและแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอ

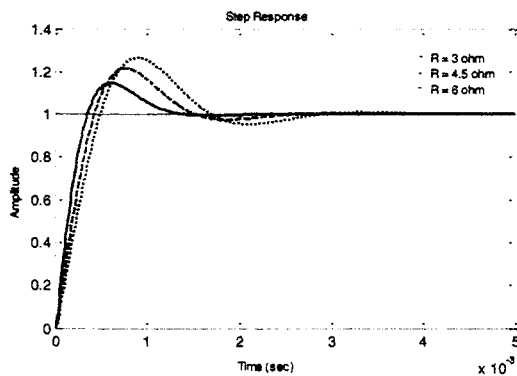
รูปที่ 3-4 แสดงถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางขอบเขตทางความถี่และขอบเขตทางเวลาของวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยแบบดั้งเดิมและแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอ ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าคุณสมบัติทางขอบเขตทางความถี่และขอบเขตทางเวลาของระบบทั้งสองมีผลที่ใกล้เคียงกัน แต่แบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอมีลำดับของโครงสร้างเพียง 2 ลำดับ (2<sup>nd</sup> order) เท่านั้น

$$K = \frac{1.136 \times 10^5 s^3 + 2.192 \times 10^{11} s^2 + 2.325 \times 10^{15} s + 5.96 \times 10^{18}}{s^4 + 2.004 \times 10^6 s^3 + 1.688 \times 10^{11} s^2 + 9.575 \times 10^{14} s + 9.575 \times 10^{11}} \quad (5)$$

สมการที่ 5 แสดงตัวควบคุมทอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี  $H_\infty$  ซึ่งมีลำดับเพียง 4 ลำดับ (4<sup>th</sup> order) เท่านั้น ควบคุมวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยแบบดั้งเดิม (7<sup>th</sup> order) จะเห็นว่าผลการตอบสนองทางเวลาที่ใกล้เคียงกับตัวควบคุมทอนที่มีลำดับโครงสร้างสูงถึง 9 ลำดับ (9<sup>th</sup> order) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลการตอบสนองทางเวลาของตัวควบคุมทอนทั้งสองระบบ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลการตอบสนองทางเวลา  
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางเวลาของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์เป็น  $R = 3\Omega$ ,  $R = 4.5\Omega$  และ  $R = 6\Omega$  เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะและความคงทนของตัวควบคุม (4<sup>th</sup> order) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าชุดควบคุมทรงพลาที่ได้จากการสังเคราะห์จากวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอ ทำให้ระบบเกิดค่าโอเวอร์ชูตสูงขึ้น แต่ยังคงรักษาสมรรถนะและความคงทนของระบบไว้ได้ อีกทั้งมีลำดับที่ต่ำ เหมาะกับการนำไปใช้งานจริง

### 3. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีในการลดลำดับโครงสร้างวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน และมีลำดับสูง ส่งผลให้ตัวควบคุมทรงพลาที่มีลำดับสูง และยากแก่การนำไปใช้งาน โดยการกำหนดลักษณะโครงสร้างของวงจรขึ้นมาใหม่ และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จากการทดสอบคุณสมบัติของวงจรทอนระดับแรงดันโหมคควบคุมกระแสเฉลี่ยแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอ พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรแบบดั้งเดิม แต่มีลำดับโครงสร้างที่ต่ำกว่ามาก มีเพียง 2 ลำดับ (2<sup>nd</sup> order) เท่านั้น โดยการทดสอบสังเคราะห์ชุดควบคุมทรงพลาโดยใช้วิธี  $H_\infty$  พบว่าโครงสร้างของชุดควบคุมทรงพลาของวงจรแบบดั้งเดิมสูงถึง 9 ลำดับ (9<sup>th</sup> order) แต่วงจรแบบลดลำดับโครงสร้างที่นำเสนอมีเพียง 4 ลำดับ (4<sup>th</sup> order) เท่านั้น อีกทั้งยังมีสมรรถนะและความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานจริงได้ง่ายกว่า

### เอกสารอ้างอิง

[1] S. Skogestad and I. Postlethwaite., " Multivariable Feedback Control Analysis and Design", John Wiley & Sons, Second Edition, 2005

[2] McFarlane D. and Glover K., " A Loop Shaping Design Procedure Using  $H_\infty$  Synthesis", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 37, pp. 759-769, 1992

[3] C. Houck, J. Joines and M. Key, "A Genetic Algorithm for Function Optimization : A MATLAB Implementation", by NCSU, IE TR 95-09, 1995

[4] Nuttapon Phurahong, Somyot Kaitwanidvilai and Authasit Ngaopitakkul, "Fixed Structure Robust 2DOF H-infinity Loop Shaping Control for AC/DC Buck Converter using Genetic Algorithm", *Proceedings of the International Multi Conference on Engineers and Computer Scientists 2012*, Vol. 2, 2012.

[5] S. Kaitwanidvilai and P. Srithongchai, "Robust Fixed-Structure Cascade Controller for a Quadratic Boost Converter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2010, March 17-19, 2010.

[6] S. Kaitwanidvilai, P. Olanthichachai and Manukid Parnichan, "Fixed Structure Robust Loop Shaping Controller for a Boost Converter using Genetic Algorithm", *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1944-1949, 2009

[7] W. Tang, F.C. Lee, and R.B. Ridley, "Small-signal modeling of average current-mode control", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 8, No. 2, pp. 112-119, 1993.

[8] Jian Sun and Richard M. Bass, "Modeling and Practical Design Issues for Average Current Control", *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Vol. 2, 1999