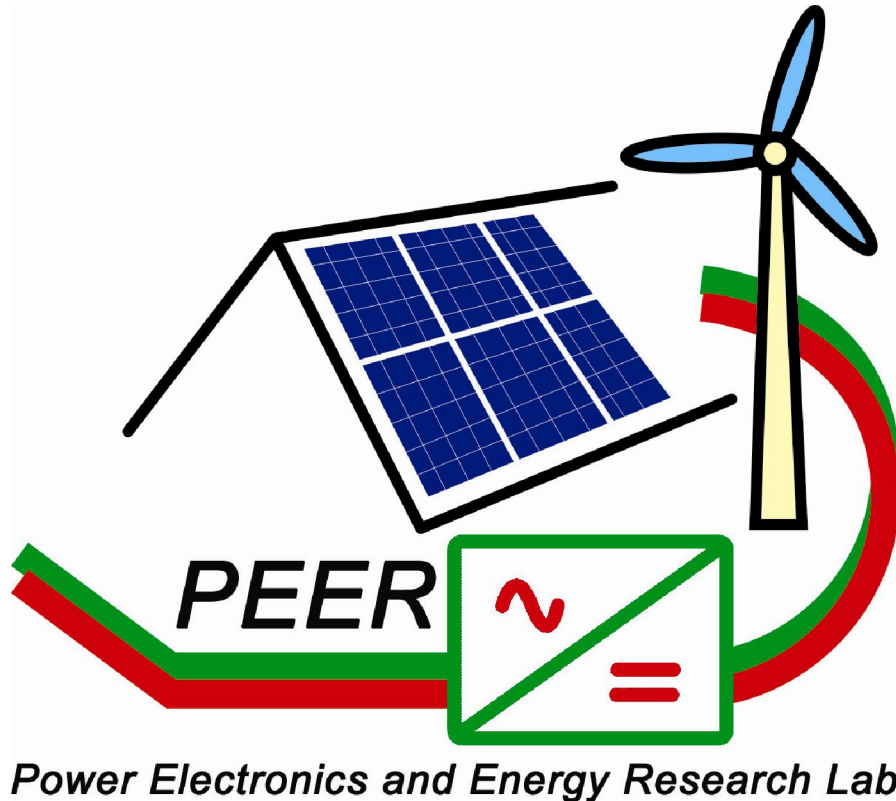


วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



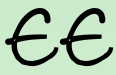
เรื่องเด่น $\pi\Omega$

เปิดตัวหน่วยงานวิจัย Power Electronics and Energy Research Lab (PEER) ที่วิจัยด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อประยุกต์ใช้งานกับพลังงานสะอาดเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมและเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาและควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับในบ้านพลังงานสะอาด

สาระช่างไฟฟ้า

- ผลงานโครงงานวิศวกรรมนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
- บทความวิชาการ
- เรื่อง อินเวอร์เตอร์แบบต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- สารนำรู้เรื่อง Type III Controller Design Using Matlab/Simulink
- เปิดโลกห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
- แฉดวงช่างไฟฟ้าราชมณฑลกรุงเทพ

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1



กล่าวทักทาย

วารสารช่างไฟฟ้าฉบับนี้เป็นเล่มที่ 2 ที่จัดทำขึ้นเพื่อประชาสัมพันธ์ข่าวสารกิจกรรมของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ รวมทั้งเผยแพร่ความรู้ เทคนิคเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้า ช่างไฟฟ้า ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวันโดยในฉบับนี้มีข่าวเด่นเกี่ยวกับการเดินทางไปนำเสนอผลงานวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศของอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความเห็นทางวิชาการดังกล่าวที่ว่า

“Conferences build Community and Community solves the problem”

และยังมีบทความวิชาการ สารความรู้ที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้าอีกมากมายสำหรับศิษย์เก่าและนักศึกษาปัจจุบันที่ต้องการประชาสัมพันธ์สามารถส่งข่าวสารและบทความได้ที่ chanrit.t@rmutk.ac.th วารสารช่างไฟฟ้าจะเผยแพร่ในแบบตีพิมพ์และแบบออนไลน์สามารถเข้าถึงได้ที่เว็บไซต์ www.ee.rmutk.ac.th

อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข

ฉบับที่ 1/2556

ที่ปรึกษา	ผศ.วีโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี รศ. ชัยณรงค์ วัชรศักดิ์วิชัย อาจารย์วิเชียร หทัยรัตนศิริ
บรรณาธิการ	อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข อาจารย์วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ อาจารย์บุญช่วย เจริญผล อาจารย์ชูศักดิ์ กมลขันติธ อาจารย์วินัย เมธาวีทิต อาจารย์สรรรถพล กุ่มทรัพย์ อาจารย์สายชล ชุกเจื้อจัน
ผู้ช่วย	นายวิศรุต สุวรรณงาม นางสาวสอาด ทองแยม

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

การนำเสนอผลงานวิชาการในการประชุมระดับชาติและนานาชาติ

อาจารย์และนักศึกษาศาखाวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าได้ไปเดินทางไปนำเสนอผลงานวิชาการในระดับชาติและนานาชาติเพื่อเป็นการนำเสนอผลงานวิจัย แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์วิจัยในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โดยการนำเสนอผลงานวิชาการมีประโยชน์ในด้านการวิจัย และการขอตำแหน่งวิชาการ การเดินทางไปนำเสนอผลงานวิชาการมีรายละเอียดดังนี้

1. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35 (EECON35) โดยมีมหาวิทยาลัยกรุงเทพและ NECTEC เป็นเจ้าภาพร่วม ณ. รอยัลฮิลล์ กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์สปา จังหวัดนครนายก มีบทความจำนวน 3 บทความ อาจารย์นำเสนอผลงานวิชาการ อ.เอกพล อนุสุเรนทร์, อ. สรรพพล คุ่มทรัพย์, อ. บุญช่วย เจริญผล และ อ. ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข
2. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 (EENET 2013) โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นเจ้าภาพ ณ. โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีบทความจำนวน 3 บทความ อาจารย์นำเสนอผลงานวิชาการ อ.เอกพล อนุสุเรนทร์, อ. สรรพพล คุ่มทรัพย์, อ. สายชล ชุตเจือจัน และ อ. ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข
3. The 10th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS2013) Kitakyushu, Japan on 22-25 April 2013 มีบทความจำนวน 3 บทความ อาจารย์นำเสนอผลงานวิชาการ อ. สายชล ชุตเจือจัน และ อ. ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข



วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

€€

R

M

U

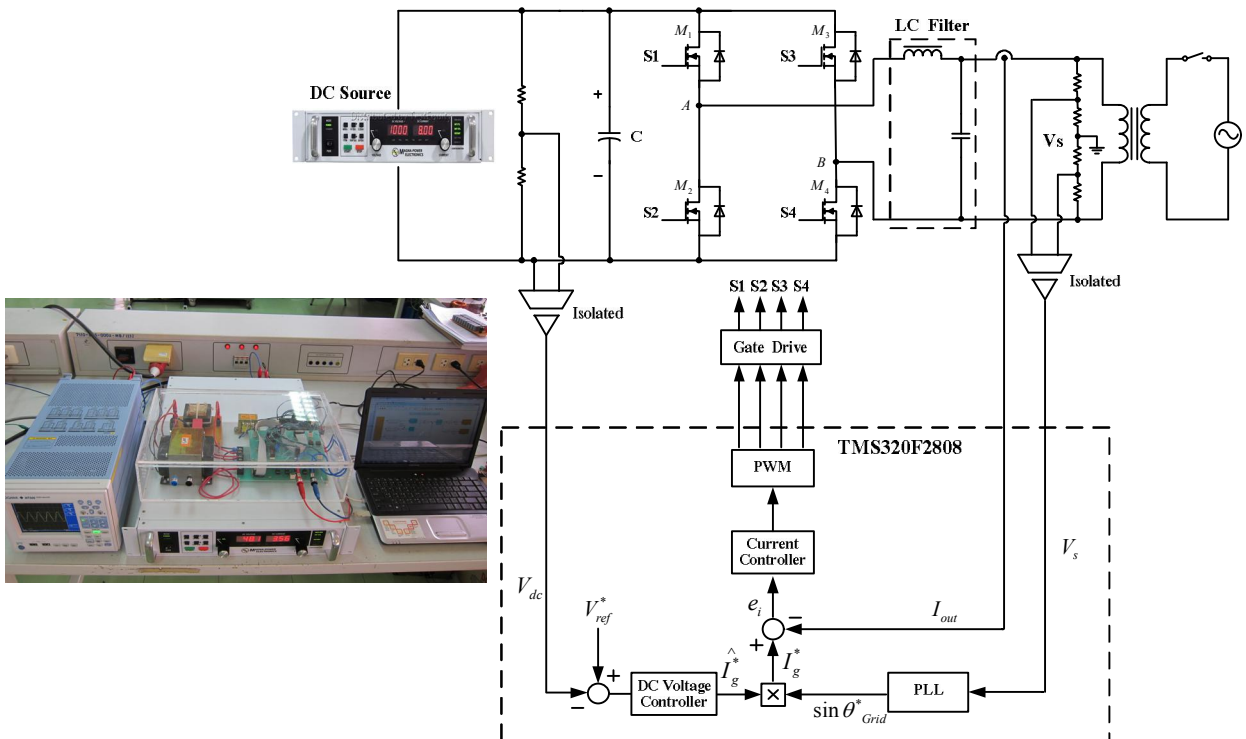
T

K

โครงการ อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F2808

นักศึกษา นายสุทนต์ คำมี และนายสันติ โพธิ์ทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์และอาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข



บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F2808

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนออินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบฟลูบริดจ์ต่อเข้ากับระบบจำหน่าย

จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงให้กับระบบโดยสร้างสัญญาณกระแสรูปคลื่นไซน์ที่มีมุมเฟสตรงกันกับแรงดันของระบบการไฟฟ้า ใช้หลักการควบคุมกระแสแบบฟีดแบ็ค (Proportional Plus Resonant Controller)

เพื่อสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิงรูปคลื่นไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงที่จ่ายเข้าระบบเพื่อไปควบคุมการทำงานของสวิตช์ในอินเวอร์เตอร์โดยสัญญาณกระแสอ้างอิงรูปคลื่นไซน์จะสร้างจากผลคูณของค่ากระแสที่จ่ายกำลังสูงสุดกับสัญญาณไซน์หนึ่งหน่วยที่ได้จากการหามุมของแรงดันการไฟฟ้าโดยวิธีเฟสล็อกกลูป

ซึ่งวงจรจะประกอบขึ้นด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรควบคุม วงจรกรองความถี่ต่ำและหม้อแปลงแรงดัน

โดยส่วนวงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F2808 การสร้างสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน

สวิตช์ซึ่งแบบยูนิโพลาร์ การแปลงสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นสัญญาณดิจิตอลและตัวควบคุม

เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ จะใช้การโปรแกรมด้วย SIMULINK จากโปรแกรม MATLAB

แรงดันด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีค่า 24 โวลต์ เพื่อความปลอดภัยของการทดลอง

ซึ่งจะต้องผ่านหม้อแปลงเพื่อยกระดับแรงดันเป็น 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

บทความวิชาการ

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

(From EENET2013 proceeding)

แบบจำลองและการออกแบบระบบควบคุมสำหรับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

Modeling and Controller Design of Buck DC to DC Converter

ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข และสรรพพล คุ่มทรัพย์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์แบบวงปิดด้วยตัวควบคุมแบบเฟสนำหน้า-ล่าหลังชนิดที่ 3 โดยใช้ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีป้อนสัญญาณขนาดเล็ก การออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองทางความถี่โดยกำหนดเฟสมาร์จิน 60° เพื่อให้สามารถรักษาระดับแรงดันที่ได้ออกได้ 12 โวลต์ จากผลการทดลองวงปิดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ด้วยไอซีเบอร์ UC3824 โดยออกแบบวงจรให้กระแสเหนี่ยวนำไหลต่อเนื่อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นผลตอบสนองสถานะสแตติกและไดนามิกของกระแสตัวเหนี่ยวนำและแรงดันเอาต์พุต

คำสำคัญ บัคคอนเวอร์เตอร์ ตัวควบคุมเฟสนำหน้า-ล่าหลัง
ผลตอบสนองทางความถี่ (Bode plot)

Abstract

This academic paper presents design and construction of buck dc to dc converter with phase lead-phase lag compensator type 3. The frequency response of buck converter can be archived from experimental results with small signal analysis method. The 60° degree phase-margin is designed to voltage regulation of 12 volt. The prototype buck converter controlled with IC UC3824, which is inductor current in continuous current mode (CCM). The experimental results shown that static and dynamic response of inductor current and output voltage.

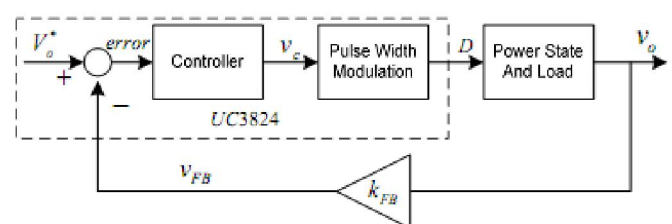
Keyword: Buck dc to dc converter, Phase-lead Phase-lag and Bode plot

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมาประยุกต์ใช้งานกับระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้าที่

รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และอัลตราคาปาซิเตอร์ ซึ่งวงจรแปลงผันจำเป็นต้องมีการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุตให้คงที่ การชดเชยทางความถี่ด้วยตัวควบคุมแบบเฟสนำหน้า-ล่าหลังชนิดที่สามที่นำเสนอ [3] สามารถเพิ่มเฟสเพื่อชดเชย (phase boost) ให้กับระบบได้มากขึ้นผลทำให้ผลตอบสนองสถานะทรานเซียนของระบบดีขึ้นซึ่งสามารถกำหนดได้จากเฟสมาร์จิน (phase margin) ของระบบ รวมถึงความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวเป็นศูนย์ การใช้งานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (buck dc to dc converter) เพื่อเป็นวงจรทดลองในวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Matlab/Simulink เพื่อออกแบบตัวควบคุมเพื่อรักษาระดับแรงดันที่ได้ออก

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 แสดงระบบควบคุมของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบัคด้วยไอซีเบอร์ UC3824 [1], [3] ประกอบด้วยส่วนวงจรบวกสัญญาณ (summing) ที่รับแรงดันอ้างอิง (V_o^*) จากการคำนวณหาตัวไซเกิล (D) ของวงจรแปลงผันเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้ออกจากการป้อนกลับ (V_{FB}) เป็นสัญญาณความผิดพลาด เมื่อผ่านวงจรควบคุมแบบชดเชยทางความถี่ที่ออกแบบ นำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณแรมป์ความถี่สูงเพื่อจะได้เป็นสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชัน (pulse width modulation) ไปขับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายด้านอินพุตและรักษาระดับแรงดันคงที่ บทความนี้นำเสนอ 3 ส่วนหลักคือ การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ การหาแบบจำลองของวงจรด้วยการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็ก (small signal analysis) และการนำแบบจำลองที่ได้มาออกแบบด้วยวิธีทางความถี่



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

2. วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์สามารถหาอัตราแปลงผันแรงดัน

ไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตได้จากสมการที่ (1)

$$V_o = D V_{in} \quad (1)$$

วงจรแปลงผันจะออกแบบให้ทำงานในโหมดกระแสตัวเหนี่ยวนำไหล

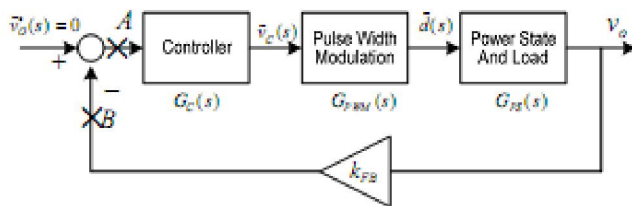
ต่อเนื่องจากสูตรคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f_s} \quad (2)$$

เมื่อออกแบบและสร้างวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์โดยใช้ไอซี UC3824 ที่เป็น

ไอซีสำเร็จรูปสร้างสัญญาณพัลส์สวิตมอดูเลชันและสามารถควบคุม

โหมตแรงดันคงที่ได้ง่าย และมีราคาถูก



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็ก

3. ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุม

เมื่อพิจารณาจากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2 ที่ใช้การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็ก โดยค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมดแทนด้วยสัญลักษณ์ $(-)$ ที่ได้จากสัญญาณสภาวะอยู่ตัวบวกกับสัญญาณรบกวนขนาดเล็กสัญญาณ $(-)$ สัญญาณทั้งหมดสามารถแสดงได้ในสมการที่ (3) - (5)

$$\bar{v}_o(t) = V_o + \hat{v}_o(t) \quad (3)$$

$$d(t) = D + \tilde{d}(t) \quad (4)$$

$$v_c(t) = V_c + \hat{v}_c(t) \quad (5)$$

เมื่อพิจารณาจากทรานเฟอร์ฟังก์ชันวงเปิด $G_L(s)$ จากจุด $A \rightarrow B$ ของระบบจะได้สมการที่ (6)

$$G_L(s) = G_c(s)G_{PWM}(s)G_{PS}(s)k_{FB} \quad (6)$$

โดยที่

$G_c(s)$ คือทรานเฟอร์ฟังก์ชันของตัวควบคุม

$G_{PWM}(s)$ คือทรานเฟอร์ฟังก์ชันของพัลส์สวิตมอดูเลชัน

$G_{PS}(s)$ คือทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรคอนเวอร์เตอร์

k_{FB} คืออัตราลดทอนของสัญญาณป้อนกลับ

ในการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการชดเชยทางความถี่ จะต้องเลือกความถี่คัทออฟ (f_c) ของทรานเฟอร์ฟังก์ชันวงเปิดซึ่งจะมีผลต่อ

ความเร็วของผลตอบสนองไดนามิก เฟสแมจิ้นของระบบสามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$\phi_{PM} = \angle G_L(s)|_{f_c} - (-180^\circ) = \angle G_L(s)|_{f_c} + 180^\circ \quad (7)$$

มุม $\angle G_L(s)|_{f_c}$ มีค่าเป็นลบ แต่เฟสแมจิ้นในสมการที่ (7) จะต้องมีค่าเป็นบวก โดยในระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะนิยมใช้ค่าเฟสแมจิ้นประมาณ 60° ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ตัวควบคุม $G_c(s)$ เพื่อชดเชยให้ได้เฟสแมจิ้นตามที่ต้องการ

3.1 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของบล็อกพัลส์สวิตมอดูเลชัน

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของบล็อกพัลส์สวิตมอดูเลชันสามารถหาได้จากสมการที่ (9) โดยค่าสูงสุดของสัญญาณแรมป์ ($\hat{V}_r$) สำหรับการมอดูเลชันของไอซีเบอร์ UC2824 คือ 1.8 โวลต์ [3]

$$d(t) = \frac{V_c(t)}{\hat{V}_r} + \frac{\hat{v}_c(t)}{\hat{V}_r} \quad (8)$$

$$d(t) = \frac{\tilde{d}(s)}{\hat{v}_c(s)} = \frac{1}{\hat{V}_r} = \frac{1}{1.8} = 0.556 \quad (9)$$

3.2 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์เมื่อถูกออกแบบให้ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง (CCM) เมื่อต้องการออกแบบตัวควบคุมจำเป็นต้องทำให้เป็นเชิงเส้นโดยพิจารณาบริเวณรอบๆจุดทำงาน ให้มีสัญญาณรบกวนขนาดเล็ก (small-signal disturbance) เนื่องจากพอร์ตกำลัง (power pole) สามารถเขียนแทนด้วยห้อยแปลงอุดมคติที่สามารถส่งผ่านสัญญาณทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ [3] และเมื่อพิจารณาสัญญาณขนาดเล็กทั้งของห้อยแปลงอุดมคติ

$$d(t) = D + \tilde{d}(t)$$

$$\bar{v}_{cp}(t) = V_{cp} + \hat{v}_{cp}(t)$$

$$\bar{v}_{cp}(t) = V_{cp} + \hat{v}_{cp}(t) \quad (10)$$

$$\bar{i}_{cp}(t) = I_{cp} + \hat{i}_{cp}(t)$$

$$\bar{i}_{cp}(t) = I_{cp} + \hat{i}_{cp}(t)$$

โดยที่ cp หมายถึง พอร์ตกะแส และ wp หมายถึง พอร์ตแรงดัน เมื่อแทนสัญญาณขนาดเล็กทั้งหมดจะความสัมพันธ์ระหว่างสองพอร์ตได้จากสมการ

$$V_{cp} + \hat{v}_{cp} = (D + \tilde{d})(V_{wp} + \hat{v}_{wp}) \quad (11)$$

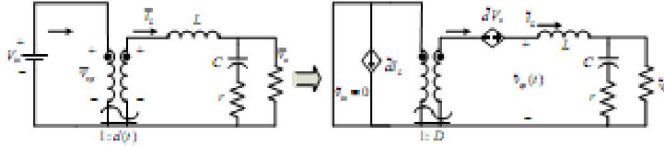
$$I_{wp} + \hat{i}_{wp} = (D + \tilde{d})(I_{cp} + \hat{i}_{cp}) \quad (12)$$

เมื่อละเลยสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงและสัญญาณขนาดเล็กมากจะได้สมการที่ (13)-(14) และสามารถเขียนวงจรมูลของสัญญาณขนาดเล็กได้

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

$$\tilde{v}_{cp}(t) = V_{cp}\tilde{d} + D\tilde{v}_{sp} \quad (13)$$

$$\tilde{i}_{sp} = D\tilde{i}_p + I_{cp}\tilde{d} \quad (14)$$



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของบัคคอนเวอร์เตอร์เมื่อทำเป็นเชิงเส้น

ในรูปที่ 3 แสดงวงจรสมมูลของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เมื่อทำเป็นเชิงเส้น เมื่อเฉลี่ยค่าแรงดันค่านินพุต (v_{eq}) รวมวงจรกรองด้านเอาต์พุต จะสามารถหาอิมพีแดนซ์ขนานด้านเอาต์พุตได้ตามสมการที่ (15)-(16) และอิมพีแดนซ์รวมของได้ดังสมการที่ (17)

$$Z_{os}(s) = \frac{R(r + \frac{1}{sC})}{R + (r + \frac{1}{sC})} = R \frac{1 + srC}{1 + s(R+r)C} \quad (15)$$

$$Z_{os}(s) = R \frac{1 + srC}{1 + sRC} \quad (16)$$

$$Z_{eff}(s) = sL + Z_{os} = \frac{1 + srC}{LC \left[s^2 + s \left(\frac{1}{RC} + \frac{r}{L} \right) + \frac{1}{LC} \right]} \quad (17)$$

เมื่อแบ่งแรงดันเพื่อหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ตามสมการที่ (18) เพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป

$$\frac{\tilde{v}_o}{\tilde{d}} = V_{in} \cdot \frac{Z_{os}}{Z_{eff}} = \frac{V_{in}}{LC} \frac{1 + srC}{s^2 + s \left(\frac{1}{RC} + \frac{r}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \quad (18)$$

3.3 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรชดเชยเฟสนำหน้า-ล่าหลัง

วงจรชดเชยจะใช้ออปแอมป์ภายในไอซีสำเร็จรูปเบอร์ UC3824 มีทรานเฟอร์ฟังก์ชันตามสมการที่ (19) เป็นการชดเชยแบบเฟสนำหน้า-ล่าหลังร่วมกับตัวควบคุมแบบอินทิเกรเตอร์หรือเรียกว่าแบบที่ 3 [3]

$$G_c(s) = \frac{k_c}{s} \underbrace{\frac{(1 + s/\omega_z)^2}{(1 + s/\omega_p)^2}}_{\text{phase-boost}} \quad (19)$$

4. การออกแบบวงจรชดเชยทางความถี่

4.1 เลือกความถี่คัทออฟ (f_c) โดยพิจารณาจาก $1/(2\pi\sqrt{LC}) \approx 610\text{Hz}$ ในที่นี้เลือก 1kHz

4.2 คำนวณค่าเฟสที่ชดเชยให้กับระบบ โดยกำหนดเฟสมาร์จิน $\phi_{PM} = 60^\circ$ และมุมเฟสของ $G_{PWM}, k_{FB} = 0$ พิจารณาสมการที่ (20) จะได้ค่ามุมเฟสคือ

$$\angle G_L(s)|_{f_c} = \angle G_{PS}(s)|_{f_c} + \angle G_c(s)|_{f_c} \quad (20)$$

และจากสมการที่ (7) ข่ายข้างสมการจะได้ค่า $\angle G_L(s)|_{f_c}$

$$\angle G_L(s)|_{f_c} = -180^\circ + \phi_{PM} \quad (21)$$

จากสมการที่ (19) เมื่อนำมาพล็อตผลตอบสนองทางความถี่มุมเฟสจะเริ่มที่ 90° ทำให้ได้สมการที่ (22)

$$\angle G_c(s)|_{f_c} = -90^\circ + \phi_{PM} \quad (22)$$

แทนสมการที่ (21) ลงในสมการที่ (22) จะได้ค่า ϕ_{boost} ดังนี้

$$\phi_{boost} = -90^\circ + \phi_{PM} - \angle G_{PS}(s)|_{f_c} \quad (23)$$

ซึ่งจากรูป มุม $\angle G_{PS}(s)|_{f_c} = 140^\circ$ แทนในสมการที่ (23) จะได้ค่ามุมเฟสบูส (phase boost) $\phi_{boost} = 106^\circ$

4.3 คำนวณหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมที่ความถี่คัทออฟ

(f_c) จากสมการที่ (24)

$$|G_L(s)|_{f_c} = |G_c(s)|_{f_c} \cdot |G_{PWM}(s)|_{f_c} \cdot |G_{PS}(s)|_{f_c} \cdot K_{FB} = 1 \quad (24)$$

ในรูปที่ 7 $|G_{PS}(s)|_{f_c=1\text{kHz}} = 24.66\text{ dB} = 17.1$

จะได้ค่า $|G_c(s)|_{f_c} \cdot \frac{0.556}{|G_{PWM}(s)|_p} \cdot \frac{17.1}{|G_{PS}(s)|_p} \cdot \frac{0.2}{k_{FB}} = 1$

$$|G_c(s)|_{f_c} = 0.5263$$

จากสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันของตัวชดเชยทางความถี่สมการที่ (19) ที่ความถี่กึ่งกลางของ phase boost คือ $\sqrt{f_z f_p}$ โดยสามารถหาค่าแฟกเตอร์ของสัดส่วนความถี่ชดเชย (K_{boost}) จาก

$$K_{boost} = \sqrt{\frac{\omega_p}{\omega_z}} \quad (25)$$

สามารถหาค่าแฟกเตอร์ในเทอมของ ϕ_{boost} ได้จาก

$$K_{boost} = \tan \left(45^\circ + \frac{\phi_{boost}}{4} \right) \quad (26)$$

จากสมการที่ (25) และ (26) จะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสมการชดเชยที่ (19) ดังนี้

$$f_z = \frac{f_c}{K_{boost}} \quad (27)$$

$$f_p = K_{boost} f_c \quad (28)$$

$$k_c = |G_c(s)|_{f_c} \frac{\omega_z}{K_{boost}} \quad (29)$$

จากวงจรชดเชยทางความถี่ จะสามารถหาค่าตัวต้านทานและค่าตัวเก็บประจุได้จากสมการดังนี้

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

$$C_2 = \omega_2 / (k_c \omega_p R_1) \quad (30)$$

$$C_1 = C_2 (\omega_p / \omega_2 - 1) \quad (31)$$

$$R_2 = 1 / (\omega_2 C_1) \quad (32)$$

$$R_3 = R_1 / (\omega_p / \omega_2 - 1) \quad (33)$$

$$C_3 = 1 / (\omega_p R_3) \quad (34)$$

จากการคำนวณจะได้ค่าดังต่อไปนี้ $f_c = 1 \text{ kHz}$, $\phi_{boost} = 108^\circ$

$$|G_c(s)|_{f_c} = 0.5263, K_{boost} = 3.078, f_z = 324.9 \text{ Hz}, f_p = 3.078 \text{ kHz}$$

$k_c = 349.1$ และเมื่อเลือกค่า $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ จะได้ค่า $C_2 = 3 \text{ nF}$

$C_1 = 25.6 \text{ nF}$, $C_3 = 4.4 \text{ nF}$, $R_2 = 19.1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 11.8 \text{ k}\Omega$ โดย

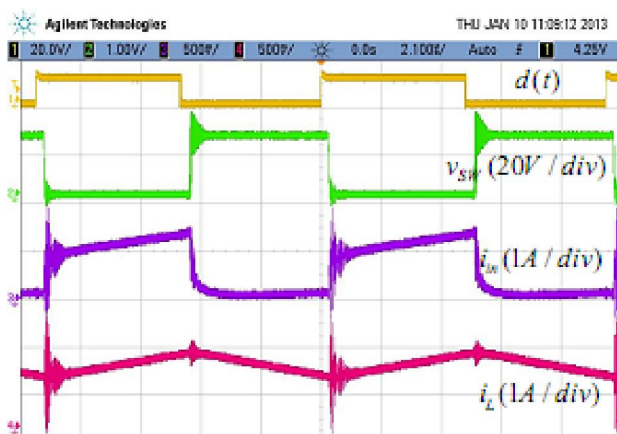
ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจะต่อเข้ากับวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ (differential amplifier) ที่อยู่ในไอซีเบอร์ UC3824

4. ผลการทดลอง

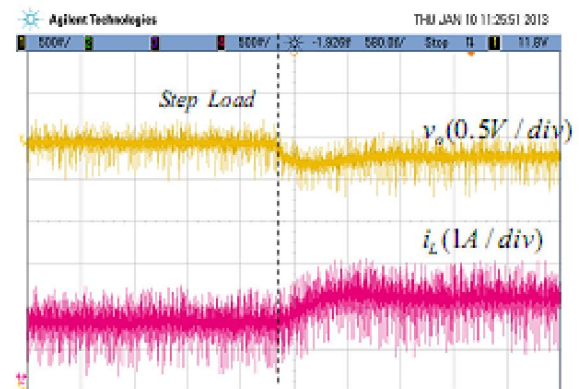
ผลการทดลองวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สภาวะอยู่ตัวในรูปแบบที่ 4 กระแสเหนี่ยวนำในรูปแบบแสดงให้เห็นถึงกระแสไหลต่อเนื่อง เมื่อป้อนแรงดันขายนํ้าจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ขนาด 500 mV บวกกับแรงดันอ้างอิงเพื่อปรับคิ่วไซด์เคลของวงจรคอนเวอร์เตอร์ และทำการวัดแรงดันเอาต์พุตโดยตั้งคิ่วถึงแบบเมซี (AC coupling) ตามวงจรการวัด จากนั้นทำการปรับค่าความถี่ของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ตั้งแต่

$0.5 \text{ Hz} - 100 \text{ kHz}$ จะได้แรงดันทั้งสองเมื่อคำนวณอัตราขยาย (dB) และมุมเฟส (θ) ของผลตอบสนองทางความถี่

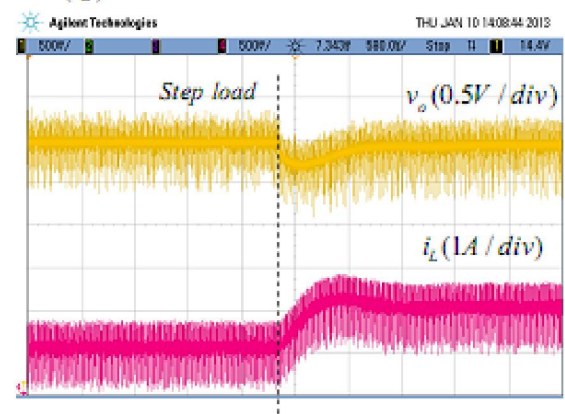
ผลตอบสนองวงเปิดในรูปแบบที่ 5 แสดงค่ากระแสตัวเหนี่ยวนำและแรงดันเอาต์พุต โดยแรงดันเอาต์พุตไม่สามารถรักษาระดับแรงดันได้คงที่ได้ที่ 12 โวลต์เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได (step load) แรงดันลดลงประมาณ 0.25 โวลต์ ในขณะที่ผลตอบสนองวงเปิดในรูปแบบที่ 6 แสดงให้เห็นว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์สามารถรักษาระดับแรงดันได้คงที่ 12 โวลต์ แม้มีการเปลี่ยนโหลดแบบขั้นบันได



รูปที่ 4 แรงดันและกระแสของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 5 ผลตอบสนองวงเปิดสภาวะทรานเซียนขณะสเต็ปโหลด $10\Omega \rightarrow 6.667\Omega$ CH.I แรงดันเอาต์พุต (V_o) CH.II กระแสตัวเหนี่ยวนำ (i_L)



รูปที่ 6 ผลตอบสนองวงเปิดสภาวะทรานเซียนขณะสเต็ปโหลด $10\Omega \rightarrow 6.667\Omega$ CH.I แรงดันเอาต์พุต (V_o) CH.II กระแสตัวเหนี่ยวนำ (i_L)

5. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอการขั้นตอนการหาแบบจำลองจากสมการคณิตศาสตร์ด้วยวิธีสัญญาณขนาดเล็กลงและผลการทดลองจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้มาออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางความถี่ชนิดที่ 3 ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบพีอีเอ็นเอ-อีเอชและอินทิเกรเตอร์ ที่สามารถชดเชยเพื่อให้ได้เฟสตามที่ต้องการ และความคิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวเป็นศูนย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Unitrode, UC3824 High Speed Controller PWM IC
- [2] H. Dean Venable, "The K-factor: A New Mathematical Tool for Stability Analysis and Synthesis," Proceeding of Powercon 10 (<http://www.venable.biz>)
- [3] N. Mohan "First Course on Power Electronics and Drives," MNPERE, 2003

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

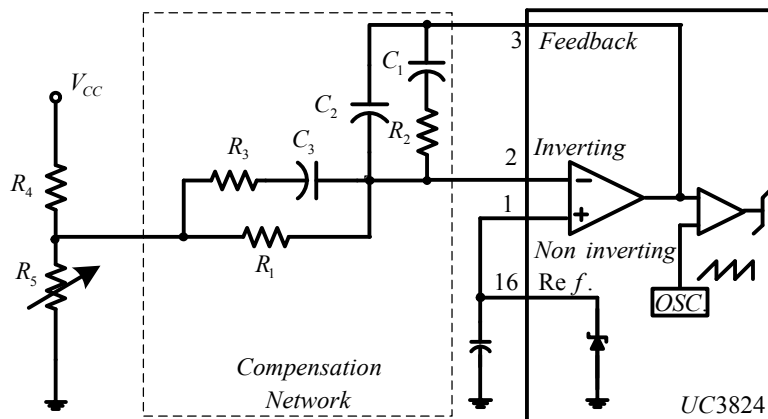
สารบัญ

Type III Controller Design Using Matlab/Simulink

ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120



วงจรควบคุม Type III สร้างด้วยวงจรออปแอมป์

วงจรออปแอมป์ในรูปแบบที่นี้เป็นตัวควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันแบบบักในบทความวิชาการ ซึ่งสามารถสร้างด้วยไอซีเบอร์ UC3824 โดยมีข้อดีคือสร้างได้ง่าย มีราคาถูก และสามารถใช้งานได้หลากหลายทั้งในวงจรสวิตชิ่งซัพพลายและวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรง ในทางปฏิบัติการออกแบบตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในส่วนวงจรชดเชย (Compensation Network) จะต้องใช้แบบจำลองของวงจรแปลงผันมาออกแบบด้วยการชดเชยทางความถี่ ซึ่งข้อดีของตัวควบคุมแบบนี้คือสามารถเพิ่มเฟสได้มาก (phase boost) ซึ่งทำให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพ และผลตอบสนองในภาวะทรานเซียนท์เร็ว

```
% Program for calculating feedback controller at FULL LOAD of 2A%
fc=1e3; % Desired crossover frequency %
phi_PM=60; % Desired Phase Margin in degrees %
G_PS_phase_at_fc=-140; %Phase Margin for power stage transfer function %
phi_boost=-90+phi_PM-G_PS_phase_at_fc; % Required phase boost see eqn. 4-22 %
G_PWM_gain_at_fc=0.556; %Gain at fc for PWM block %
G_PS_gain_at_fc=14.12; %Gain at fc for power stage transfer function %
k_FB=0.2; %Gain in the voltage feedback path %
G_C_gain_at_fc=1/(G_PWM_gain_at_fc*G_PS_gain_at_fc*k_FB); % Controller gain at fc
eqn. 4-24 %
K_boost=tand(45+(phi_boost/4)); % K_boost as in eqn. 4-27 %
f_z=fc/K_boost; % Zero location for Controller eqn. 4-28 in Hz %
f_p=K_boost*fc; % Pole location for Controller eqn. 4-29 in Hz %
w_z=2*pi*f_z;
w_p=2*pi*f_p;
kc=G_C_gain_at_fc*w_z/K_boost; % Controller gain as in eqn. 4-30;

% Calculation of controller parameters for op-amp implementation
R1=100e3 % choose R1=100kohm %
C2=w_z/(kc*w_p*R1)
C1=C2*((w_p/w_z)-1)
R2=1/(w_z*C1)
R3=R1/((w_p/w_z)-1)
```

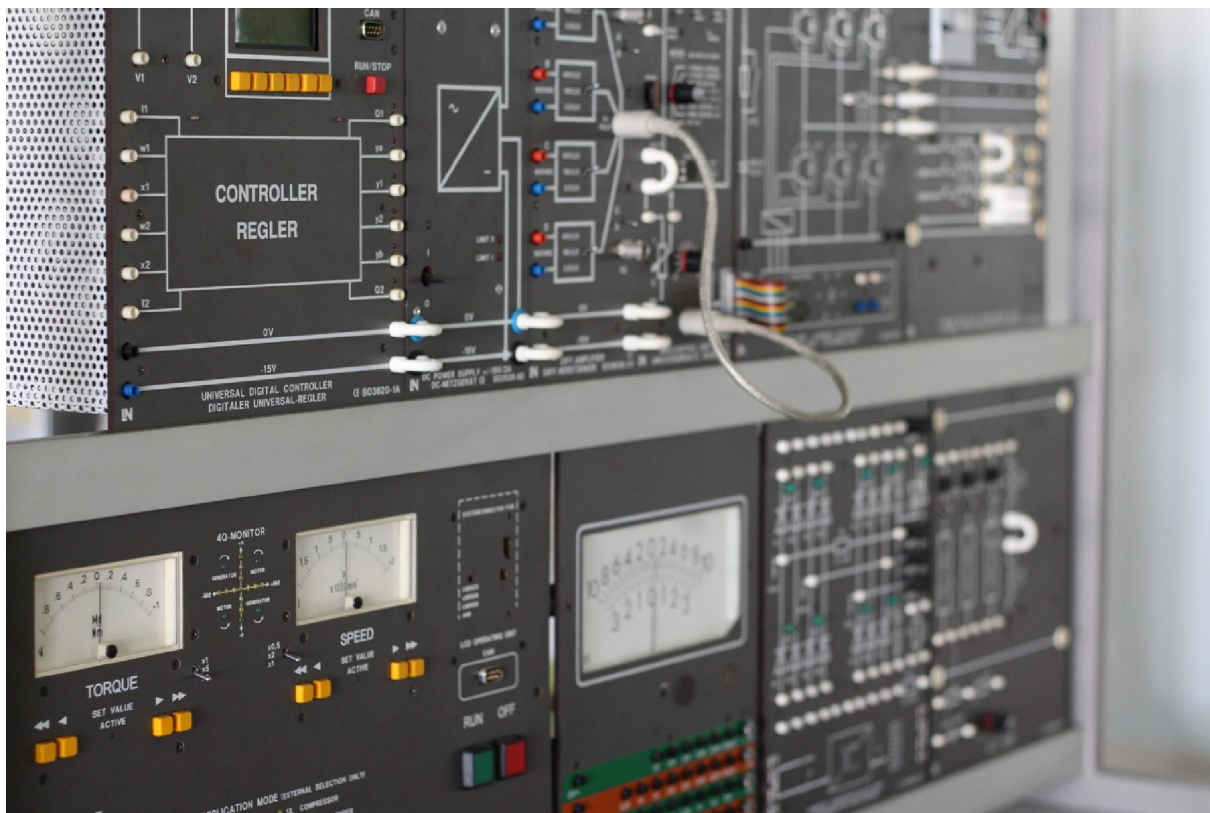
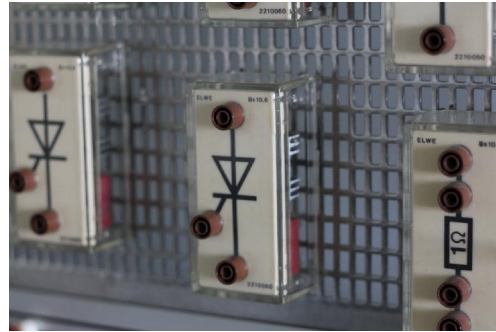
วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

เปิดโลกห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(Power Electronics Laboratory)

ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(Power Electronics Laboratory) ของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าตั้งอยู่ที่ห้อง 504 อาคาร 48 คณะวิศวกรรมศาสตร์ รองรับการสอนวิชาปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังในหลักสูตรระดับปริญญาตรี ครุภัณฑ์ชุดฝึกอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะประกอบด้วยชุดฝึกที่จัดซื้อจากต่างประเทศดังนี้

1. โปรแกรมจำลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Orcad/Pspice)
2. ชุดฝึกวงจรทรานซิสเตอร์แบบหนึ่งเฟส
3. ชุดฝึกวงจรทรานซิสเตอร์แบบสามเฟส
4. ชุดฝึกวงจรทรานซิสเตอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. ชุดฝึกวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบบัค
6. ชุดฝึกวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบบูส
7. ชุดฝึกวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบบัค-บูส
8. ชุดฝึกวงจรอินเวอร์เตอร์



EE

R

M

U

T

K

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

€€

แฉวงช่างไฟฟ้าราชมณฑลกรุงเทพร

อาจารย์วิเชียร หทัยรัตนศิริ หัวหน้าสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า นำทีมอาจารย์และนักศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จัดอาสาร่วมจัดโครงการ “ค่ายวิศวกรรมไฟฟ้าพัฒนา ครั้งที่ ๒” ณ โรงเรียนบ้านโคกสะอาด ตำบลตาลเดี่ยว

อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ระหว่างวันที่ ๑๗ - ๑๙ สิงหาคม ๒๕๕๕

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำนุบำรุงอาคารและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบริเวณโรงเรียน และศึกษาดูงานที่โรงไฟฟ้าฝ่ายผลิตแก่งคอย

จังหวัดสระบุรี เพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ให้กับนักศึกษาชั้นปีที่ ๑ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม

มีนักศึกษาเข้าร่วมโครงการกว่า ๑๐๐ คน



R

M

U

T

K

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

แวดวงช่างไฟฟ้ราชมงคลกรุงเทพ

อาจารย์สรยุทธ คุ้มทรัพย์ อาจารย์หน่วยวิจัย Power Electronics and Energy Research Lab (PEER) จัดอบรมเรื่อง “DC motor control with FiO board” เพื่อเป็นการให้บริการวิชาการแก่อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพและธัญบุรี ณ ห้องคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งได้รับความร่วมมือกับบริษัท เอ็มเมจัน จำกัด ในความร่วมมือสนับสนุนชุดฝึก และวิทยากรให้ความรู้



สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าจัดพิธีทำบุญสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ ห้องประชุมสาทร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์เพื่อเป็นการส่งเสริมกิจกรรมนักศึกษาและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมไทย



วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

€€

แวดวงช่างไฟฟ้าราชมงคลกรุงเทพ

อาจารย์วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ และอาจารย์สายชล ชุตเจื้อจิ้นได้รับเชิญเป็นประธานกลุ่มในการนำเสนอผลงานวิชาการ การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 (EENET 2013)

โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นเจ้าภาพ ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



R

M

U

T

K

อาจารย์สายชล ชุตเจื้อจิ้น นำเสนอผลงานวิชาการ The 10th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS2013) Kitakyushu, Japan



วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

€€

แวดวงช่างไฟฟ้าราชมงคลกรุงเทพ

หน่วยวิจัย Power Electronics and Energy Research Lab (PEER) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จัดอบรมเรื่อง

“การออกแบบแผ่นลายวงจรด้วยโปรแกรม Altium Designer” ในลักษณะของ Project Based Learning

เพื่อเป็นการให้บริการวิชาการแก่นักศึกษาของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ ห้องคอมพิวเตอร์

โดยวิทยากรที่ให้ความรู้คือนายทองอินทร์ สุธะทา ศิษย์เก่าของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ซึ่งความรู้ที่ได้จากการอบรมนักศึกษาสามารถนำไปใช้งานออกแบบลายวงจรในวิชาโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าได้

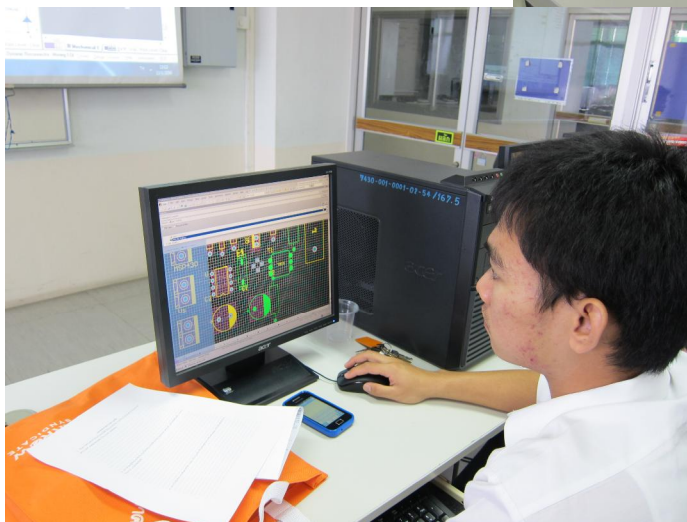
R

M

U

T

K



วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

€€

แวดวงช่างไฟฟ้าราชมงคลกรุงเทพ

อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข หน่วยวิจัย Power Electronics and Energy Research Lab (PEER)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้รับเชิญบรรยายให้ความรู้เรื่อง Grid synchronization for power converters

ในการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับอุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้าและแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือก

สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยี ไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2556

เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับอุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้าและ
แหล่งจ่ายพลังงานทางเลือก

Grid synchronization for power converters

Chanrit Tarasantisuk and Kritchai Witheepanich

¹Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering RMUTK²Department of of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, SWU

วารสารช่างไฟฟ้า 2556 ฉบับที่ 1

EE

แวดวงช่างไฟฟ้าราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย ได้รับเชิญเป็นวิทยากรบรรยายให้ความรู้จากประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับการจัดทำเอกสารประกอบการสอนเพื่อขอตำแหน่งวิชาการ ให้กับคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าในวันที่ 10 พฤษภาคม 2556

