

การออกแบบและวิเคราะห์ของวงจรทบทระดับแรงดันแบบดวลสำหรับระบบพลังงานทดแทน Design and Analysis of Dual Boost Converter for Renewable Energy System

ศุภวัฒน์ คำพิชัย¹ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดิพิชญ²

¹ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: +66(2)-549-3571 โทรสาร: +66(2)-549-3422 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การออกแบบ และวิเคราะห์วงจรทบทระดับแรงดันแบบดวล สำหรับพลังงานทดแทน ใช้สำหรับทั้งหั่นลมและพลังงานแสงอาทิตย์ การควบคุมได้มีการประยุกต์ความถี่สูงและแปลงพลังงานกระแสตรงเป็น กระแสตรง วงจรทบทระดับแรงดันจะประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ จำนวน 2 ชุด ผลของการทดลองแสดงแรงดันด้านออก 600 โวลต์ ตัววงจร ทบทระดับแรงดันสามารถรับแรงดันต่ำจากการผลิตของกังหันลมและ พลังงานแสงอาทิตย์ ในภาค ปฏิบัติของวงจรทบทระดับแรงดันในการ ออกแบบและการวิเคราะห์ วงจรทบทระดับแรงดันขนาดพิกัดกำลัง 1000 วัตต์ได้มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: วงจรทบทระดับแรงดันแบบดวล, พลังงานทดแทน

Abstract

This a paper show design and Analysis of dual boost converter for Renewable energy system. Using for wind energy and Photo voltaic energy. This a paper application for height frequency and dc converter. Circuit consisting reactant 2 coils for generate 600 volt to system. In cause voltages lower than level circuit will be adjust voltage for the system automation. This is converter dual boost maximum power 1000 watt. so that at laboratory result very well.

Keywords: Dual Boost converter, Renewable Energy System.

1. คำนำ

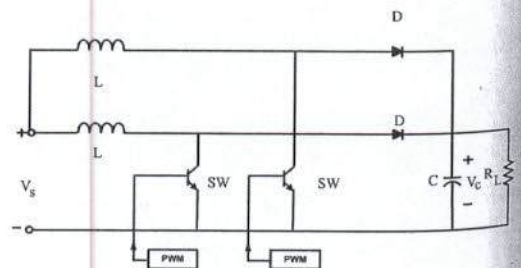
ในแต่ละปีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น การศึกษาการทำงานของวงจร ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการทำงานจริง ได้มีการใช้งานวงจรทบทระดับแรงดันแบบ 1 เฟสซึ่งในการทำงานยังไม่ครอบคลุมช่วงแรงดันขาออกของแหล่งจ่ายไม่คงที่ดังนั้นใน วิเคราะห์วงจรทบทระดับแรงดันแบบดวลสำหรับพลังงานทดแทนนี้ได้ นำ ข้อเสียนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้น ในปัจจุบันในการแก้ปัญหาการเกิด แรงดัน เกินชั่วคราว เพื่อส่งจ่ายให้กับระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยังไม่มีหลาย เทคนิคดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายพลังงาน

ไฟฟ้าให้กับระบบ มาช่วยในการจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเสริม ให้กับระบบได้

ส่วนประกอบของบทความของแต่ละส่วนจะประกอบด้วย 5 ส่วน ส่วนแรกกล่าวถึงบทนำจะกล่าวถึงภาพโดยรวมของบทความ ส่วน ที่ 2 จะอธิบายหลักการการทำงานของวงจร แต่ละสถานะของวงจรทบทระดับ แรงดันร่วมกล่าวถึงฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรทบทระดับแรงดันแบบดวล ส่วนที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบแต่ละส่วนของวงจร ซึ่งค่าที่ได้จากการ ออกแบบเป็นตัวกำหนดค่าต่างๆของวงจร ส่วนที่ 4 เป็นผลที่ได้จากการ วัดค่าสัญญาณแต่ละส่วนของวงจร ส่วนที่ 5 เป็นการสรุปผลที่ได้จากการ ทำงานของวงจร

2. วงจรทบทระดับแรงดันแบบดวล

วงจรทบทระดับแรงดันแบบดวลเป็นวงจรควบคุมระดับแรงดัน ให้สูงกว่าระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายด้านเข้า โดยมีความสามารถมากกว่า วงจรทบทระดับขั้นเดียวซึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับอัตราการเพิ่มระดับแรงดันได้ สูงจากแรงดันด้านเข้าประมาณ 2-3 เท่า เท่านั้นที่จะทำให้แรงดันด้าน ออกมีเสถียรภาพ ดังนั้นการออกแบบวิธีควบคุมแรงดันจึงมีความสำคัญ และจำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียด ระบบที่ผ่านมามีการควบคุม หลากหลายวิธี ในบทความนี้จะเสนอการควบคุมที่มีการวิเคราะห์ สัญญาณขนาดเล็กเพื่อหาอัตราขยายของการควบคุมแบบ PI ที่มีความ ถูกต้องที่สุด ทำให้การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกให้คงที่ และลดกระแสไหลวนในระบบแหล่งจ่ายเนื่องจากแรงดันด้านออกของ แต่ละแหล่งจ่ายนั้นมีค่าระลอกของแรงดันน้อยทำให้ระบบเกิดการ สูญเสียต่ำ



รูปที่ 1 ความต้านทานในวงจรทบทระดับแรงดัน

รูปที่ 1 แสดงวงจรทบทระดับแบบคูลซึ่งใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2 ตัวทำงานที่ความถี่ 20 KHz องค์ประกอบและพารามิเตอร์ของวงจรถูกออกแบบบนพื้นฐานรับพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน การวิเคราะห์เพื่อหาแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กของวงจรทบทระดับแรงดันแบบคูล จำเป็นต้องมีรู้สถานะ การทำงานของวงจรในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$G = K_1 G_{ON} + K_2 G_{OFF} \quad (1)$$

เมื่อ K_1 และ K_2 คือ โหมดการทำงานของวงจรทบทระดับแบบคูล

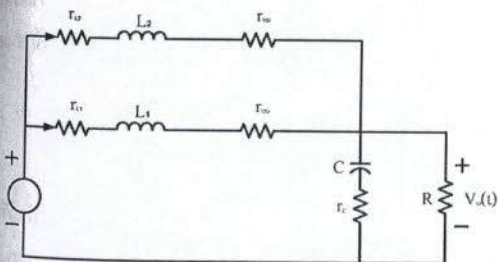
$$K_1 = \begin{cases} 1, & 0 < t < t_{on}, \\ 0 & t_{on} < t \leq T, \end{cases} \quad (2)$$

$$K_2 = \begin{cases} 0, & 0 < t < t_{on}, \\ 1 & t_{on} < t \leq T, \end{cases} \quad (3)$$

สามารถอธิบายและวิเคราะห์วงจรสมมูลในสถานะ ON และ OFF ได้ดังต่อไปนี้

2.1 สภาวะสวิตช์เปิดวงจร

รูปที่ 2 แสดงแบบจำลอง สัญญาณขนาดเล็กของวงจรทบทระดับแบบคูลในสถานะสวิตช์เปิดวงจร จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสองตัวจะไหลไปที่โหลด สามารถแสดงสมการสภาวะนี้ได้ดังสมการที่ (3) ถึง (5)



รูปที่ 2 สภาวะสวิตช์เปิดวงจรของวงจรทบทระดับแรงดัน

$$L \frac{d}{dt} i_L(t) = v_s(t) - 2 \left(r_L + r_{wD} + \frac{R r_c}{R + r_c} \right) i_L(t) - \frac{R}{R + r_c} v_c(t)$$

$$(3) \frac{d}{dt} v_c(t) = \frac{1}{C(R + r_c)} (R i_L(t) - v_c(t))$$

$$(4) v_o(t) = \frac{R}{R + r_c} (v_c(t) + 2 r_c i_L(t)) \quad (5)$$

2.2 สภาวะสวิตช์ปิดวงจร (On state operation)

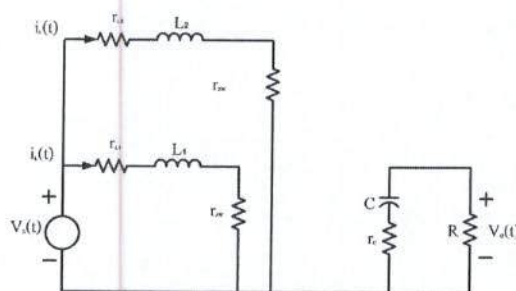
รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กของวงจรทบทระดับแบบคูลในสถานะสวิตช์ปิดวงจร จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสองตัวจะไหลผ่านสวิตช์ทำให้ไม่มีกระแสจากแหล่งจ่ายไหลไปที่โหลด สามารถแสดงสมการสภาวะนี้ได้ดังสมการที่ (6) ถึง (8)

$$L \frac{d}{dt} i_L(t) = v_s(t) - 2(r_L + r_{sw}) i_L(t) \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} v_c(t) = -\frac{1}{C(R + r_c)} v_c(t) \quad (7)$$

$$v_o(t) = \frac{R}{R + r_c} v_c(t) \quad (8)$$

เมื่อสวิตช์ปิดวงจรจะมีกระแสไหลผ่าน L_1 และ L_2 และผ่านความต้านทานภายใน และ L_1, L_2 เก็บพลังงานเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3 สภาวะสวิตช์เปิดวงจรของวงจรทบทระดับแรงดัน

3. การออกแบบวงจร

เนื่องจากแหล่งจ่ายแต่ละตัวมีระดับแรงดันที่ต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาส่งผลให้แรงดันออกมีการเปลี่ยนแปลง จึงต้องมีการใช้วงจรทบทระดับแรงดันเพื่อขยับระดับแรงดันด้านออก เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ ดังนั้นการควบคุมระดับแรงดันด้านออกให้คงที่จึงต้องมีความจำเป็น ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของวงจรทบทระดับแรงดันเพื่อหาสมการคณิตศาสตร์

วงจรทบทระดับแรงดันแบบคูลอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์หลักของวงจรทบทระดับแรงดันมี ตัวเหนี่ยวนำ ไดโอด อุปกรณ์การสวิตช์ คาปาซิเตอร์ และ โหลดทางด้านไฟฟ้า ดังนั้นเราสามารถแสดงเป็นสมการพลวัตในระหว่างที่อุปกรณ์การสวิตช์ T_{on} และ T_{off} ได้ดังนี้

$$\dot{X}_1 = A x_1 + b_1 \quad (9)$$

เมื่อ
$$A_1 = \begin{bmatrix} -R_L / L & 0 \\ 0 & -1 / RC \end{bmatrix} \quad b_1 = \begin{bmatrix} V_g / L \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -R_L/L & -1/L \\ 1/C & -1/RC \end{bmatrix} b_2 = \begin{bmatrix} V_g/L \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

และ

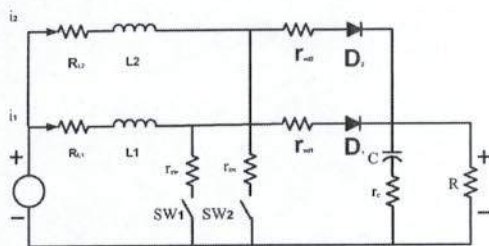
$$x_1 = \begin{bmatrix} i_1 \\ v_1 \end{bmatrix}$$

จากสมการจัดรูปแบบสมการใหม่ เมื่อ $u=1$ อยู่ในช่วง T_{on} และ $u=0$ อยู่ในช่วง T_{off} ได้ดังนี้

$$\dot{x}_1 = (A_1 x_1 + b_1)u + (A_2 x_1 + b_2)(1-u) \quad (12)$$

$$\dot{x}_1 = A_2 x_1 + b_2 + (A_1 - A_2)X_1 u + (b_1 - b_2)u \quad (13)$$

จากรูปที่ 4 จำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยสัญญาณขนาดเล็กเพื่อหาค่าเฉลี่ยของสมการใกล้เคียงกับภาคปฏิบัติมากที่สุด โดยจะหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นด้วย



รูปที่ 4 วงจรทอร์คแบบมีการสูญเสีย

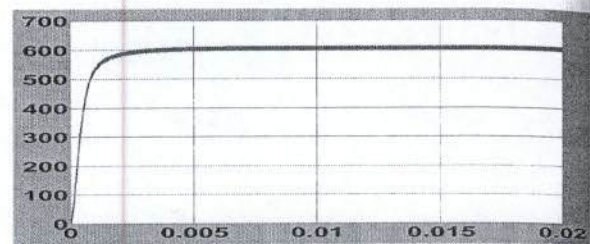
4. ผลการทดลอง

ผลการทำงานของระบบจะใช้พารามิเตอร์ดังแสดงตามตารางที่ 1 โดยกำหนดแรงดันด้านออกมีค่าเท่ากับ 600 V เพื่อเตรียมจ่ายให้กับระบบ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการทำงาน

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
แรงดันด้านเข้า	210-230 V
แรงดันด้านออก	600 V
กำลังด้านออก	1,000 W
ความถี่ในการสวิตช์	20 kHz
ค่าระลอกของแรงดัน	5% ของแรงดันด้านออก
ค่าระลอกของกระแส	10% ของกระแสตัวเหนี่ยวนำ
ค่าตัวเหนี่ยวนำ	2835 μ H
ค่าตัวเก็บประจุ	8.33 μ F

แสดงแรงดันด้านออกของวงจรทอร์คระดับแรงดันที่สามารถควบคุมให้มีค่าระดับแรงดันเท่ากับ 600 V อย่างรวดเร็ว โดยใช้หลักการควบคุมแรงดัน จะเห็นได้ว่าเมื่อเรากำหนดให้แรงดันด้านเข้าคงที่ ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ออกจากแหล่งจ่ายมีค่าคงที่ที่ระบบสามารถควบคุมแรงดันด้านออกให้เท่ากับ 600 V ได้ จากผลดังกล่าวทำให้ตัวไดโอดในการขับนำสวิตช์ไม่เปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของวงจรมีค่าคงที่ รูปที่แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่าตัวไดโอดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือไม่เกิน 10 %



รูปที่ 5 สัญญาณด้านออกที่โหลดของวงจร

5. สรุป

บทความนี้เสนอผลการทดลองและการออกแบบและวิเคราะห์ของวงจรทอร์คระดับแรงดันแบบคูลล์สำหรับระบบพลังงานทดแทน สามารถควบคุมแรงดันด้านออกให้คงที่ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้นและสามารถที่จะส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการทดลองโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าแรงดันด้านออกที่ได้เป็นสัญญาณแรงดันที่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ที่ประมาณ 600 V แต่จะมีการแกว่งและสูญเสียพลังงานไปภายในระบบเล็กน้อย ซึ่งความสูญเสียนั้นก็ยังสามารถที่จะปรับปรุงให้มีค่าเล็กน้อย โดยสามารถที่จะส่งจ่ายให้กับระบบได้ สามารถที่จะพัฒนาและประยุกต์ได้จริงในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้ถ้าขาดทุนทรัพย์และกำลัง ดังนั้นผู้แต่งจึงขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ใช้ทุนอุดหนุนงานวิจัย งบประมาณประจำปี 2552 และคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้อสถานที่ทำงานและสถานที่ทำวิจัยตลอดมาหลายปี

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. โคทม อารียา. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2. กรุงเทพฯ : ชี้อิเล็กทรอนิกส์.
- [2] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, และวุฒิพล ธาราริธีเศรษฐ์. 2547. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 2. วิ.เจ. พรินติ้ง.
- [3] Energy for the Future: Renewable Energy Sources of Energy Paper for a Community Start and Action Plan., P599, Nov 26, 2007

- [4] Trishna Das and Dionysios C. Aliprantis Electrical and Computer Engineering, Iowa State University, Ames, IA 50011 IEEE Energy2030 Atlanta, GA USA 17-18 November, 2008
- [5] *Renewables global status report 2009*, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, France,
- [6] *International Energy Outlook 2009*, Energy Information Administration, Official Energy statistics from the U.S. Government, 2009. Report Number DOE/EIA-0484(2009).
- [7] F. Blaabjerg, Z. Chen, and S. B. Kjaer, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 5, pp. 1184-1194, Sept. 2004