ศึกษาวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีการเพิ่มแรงดันสูงสำหรับการประยุกต์ใช้กับชุดขับมอเตอร์

Study High Step-Up DC – DC Converter for Inverter Motor Drive Application

ประโยชน์ พูลฉนวน บัญชา อินชื่น ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และ โสภาพรรณ สุวรรณสว่าง

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
thawatchait@npru.ac.th and sopapun@npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาวงจรเพิ่มระดับแรงดัน (High step-up DC-DC Converter) ซึ่งนำหลักการทำงานของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ มาออกแบบให้มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก วงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่ขยายแรงดันแบตเตอรี่เท่ากับ 24 V ให้มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 310 V กระแสเอาต์พุตเท่ากับ 6 A จากการคำนวณกระแสอินพุตของหม้อแปลงมีค่าเท่ากับ 93 A ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ใช้หม้อแปลงแบบสวิตชิง 3 ตัว ต่อลักษณะขนานกันที่อินพุตและต่ออนุกรมที่เอาต์พุต งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรสนับเบอร์แบบ RC Diode เพื่อลดระดับแรงดันสวิตช์ ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้โปรแกรม Multisim ทำการทดลองหม้อแปลงแต่ละตัว และทำการทดลองวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ แบบไม่ได้ต่อป้อนกลับ ผลการทดลองแสดงค่าแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ 115 V แรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงตัวที่ 2 มีค่าเท่ากับ 131 V และแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงตัวที่ 3 มีค่าเท่ากับ 164 V ผลการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 333 V จากการศึกษาผลการทำงานของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ พบว่าแรงดันเค้นที่ตัวสวิตช์ของวงจรจะมีค่าสูงมากกว่า 1,000 W ซึ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์การสวิตช์ได้เลือกใช้มอสเฟต แล้วพบว่ามอสเฟตไม่สามารถทนกำลังงานที่สะสมในตัวได้ แล้วจำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นไอจีบีทีเพื่อให้สามารถทนกำลังงานที่ตัวไอจีบีที

คำสำคัญ: วงจรเพิ่มระดับแรงดัน วงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ และ วงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC

Abstract

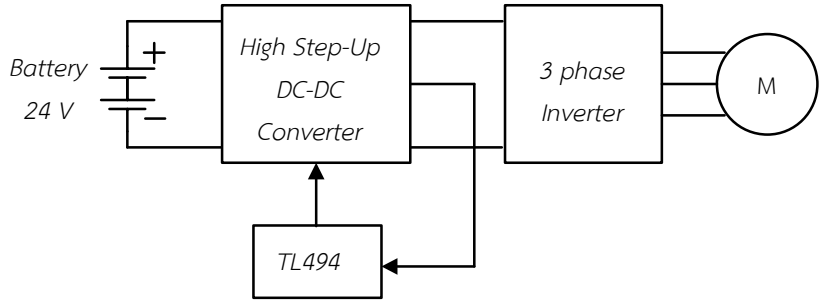
This paper is presented study high step-up dc-dc converter for inverter motor drive application. The flyback dc-dc converter technique was designed to boost high voltage gain. The flyback converter is booster circuit with input voltage equal to 24 V to output voltage equal to 310 V. The input current and the output current are 93 A and 6 A, respectively. The transformer in this research equal to 3 units, which are connected in series input and parallel output. The RC diode circuit can be used to reduce peaking voltage. The multisim used to verify in our design. The experimental results shows output voltage of the transformers T_{R1}, T_{R2}, and T_{R3} are 115 V, 131 V, and 164 V, respectively. The input current is 199 A, and the output voltage is 333 V. Finally, the result of power dissipation at MOSFET, which is 1000 W, is a much higher than specification of device. The MOSFET switch can't operation on high power dissipations. To solve this problem, the switch electronic was changed from MOSFET to IGBT.

Keywords: High step-up dc-dc converter, Flyback dc-dc converter,dc-dc converter.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน รถไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิง เช่น รถไฟฟ้า รถกอล์ฟไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้า และรถยนต์ที่มีการผสมผสานพลังงานไฟฟ้ากำลังเป็นที่นิยมมาก มีการออกแบบวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีการเพิ่มแรงดันสูง [1-6] เพื่อทำการขยายแรงดัน 24 - 48 โวลต์ ให้เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 300 – 400 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่ขับมอเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงในรถยนต์

การนำวิธีการของเทคโนโลยีแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งมาออกแบบและสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถลดขนาดของวงจรและอุปกรณ์ลงได้อย่างมาก ส่งผลให้อุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟมีขนาดเล็กลง [1] ซึ่งจะทำให้แหล่งจ่ายไฟมีน้ำหนักเบาลง เนื่องจากแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งอาศัยข้อดีของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอสเฟต ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์มอสเฟตมีความน่าเชื่อถือสูง ราคาถูก และอายุการใช้งานยาวนาน และมีการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำให้อุปกรณ์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งได้แก่ แหล่งจ่ายไฟคอมพิวเตอร์พกพา, แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่ขับมอเตอร์และแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงในรถยนต์ การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟให้มีเหมาะสมกับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าขับมอเตอร์จึงมีความน่าสนใจอย่างมาก



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมวงจรขับมอเตอร์ด้วยพลังจากแบตเตอรี่

รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบขับมอเตอร์โดยใช้พลังงานแบตเตอรี่ ซึ่งโครงงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีการเพิ่มแรงดันสูงสำหรับการประยุกต์ใช้กับชุดขับมอเตอร์ แหล่งจ่ายไฟแบตเตอรี่ 24 V เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจร โดยที่ IC TL494 จะควบคุมวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีอัตราขยายแรงดันสูงให้ทำงานและยังเป็นตัวควบคุมแรงดันของวงจรทั้งหมดให้ตรงตามที่ออกแบบไว้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีการเพิ่มแรงดันสูงสำหรับการประยุกต์ใช้กับชุดขับมอเตอร์ ซึ่งได้นำหลักการพื้นฐานของวงจรฟรายแบค คอนเวอร์เตอร์ มาออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้เป็นวงจร High power high step-up converter ซึ่งทำหน้าที่ขยายแรงดันอินพุตจากแบตเตอรี่ 24 V ให้มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 310 V เพื่อจ่าให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

2. วงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีอัตราขยายแรงดันสูง

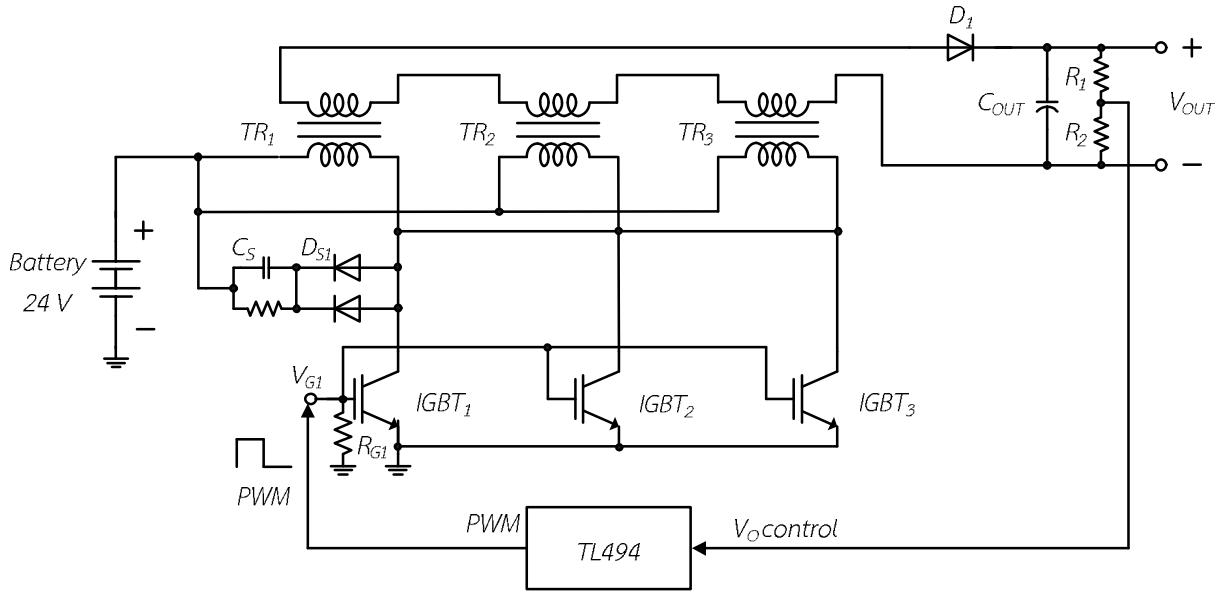
2.1 การออกแบบวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์

งานวิจัยนี้นำหลักการของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อออกแบบวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีอัตราขยายแรงดันสูง และกำหนดค่าความถี่ในการสวิตช์ไอจีบีทีเท่ากับ 50 kHz และข้อกำหนดของงานวิจัยคือ V_{IN} = 24 V V_{OUT} = 310 V I_{OUT} = 6 A Duty ratio = 0.5 และ η = 100% ดังนั้น คาบเวลาของการสวิตช์มีค่าเท่ากับ 20×10^{6} และกำลังงานอินพุตเท่ากับเอาต์พุต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,860 W และเราสามารถคำนวณค่ากระแสอินพุตสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$I_{in,\max} = \frac{P_{OUT}}{V_{in,\min}} \quad (1)$$

$$= 93 \text{ A} \quad (2)$$

เนื่องจากกระแสอินพุตของวงจรเท่ากับ 93 A ซึ่งไม่หาลวดเส้นใหญ่เพื่อพันหม้อแปลงได้ และไม่สามารถหาหม้อแปลงขนาดใหญ่มากได้ ดังนั้น นักวิจัยได้ทำการออกแบบให้ใช้หม้อแปลง 3 ตัว อินพุตต่อลักษณะขนาน ขณะที่เอาต์พุตต่อลักษณะอนุกรม ทำการออกแบบให้ใช้ หม้อแปลง 3 ตัว หม้อแปลงแต่ละตัวมีกระแสอินพุตสูงสุดเท่ากับ 31 A และมีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 103.33 V ดังนั้น ต้องใช้ไอจีบีทีโมดูลทำหน้าที่สวิตช์ 3 ตัว วงจร TL494 กำเนิดสัญญาณ PWM วงจรภาคเอาต์พุตเร็กติไฟร์ และวงจรสนับเบอร์



รูปที่ 2 วงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ ที่มีอัตราขยายแรงดันสูง

ค่าเหนี่ยวนำ LP มีค่าเท่ากับ

$$L_m \geq \frac{D_{\max}^2 \times V_{IN,\min}}{2I_{IN,\max} f_{s,\min}} = 0.774 \times 10^{-6} \qquad (3)$$

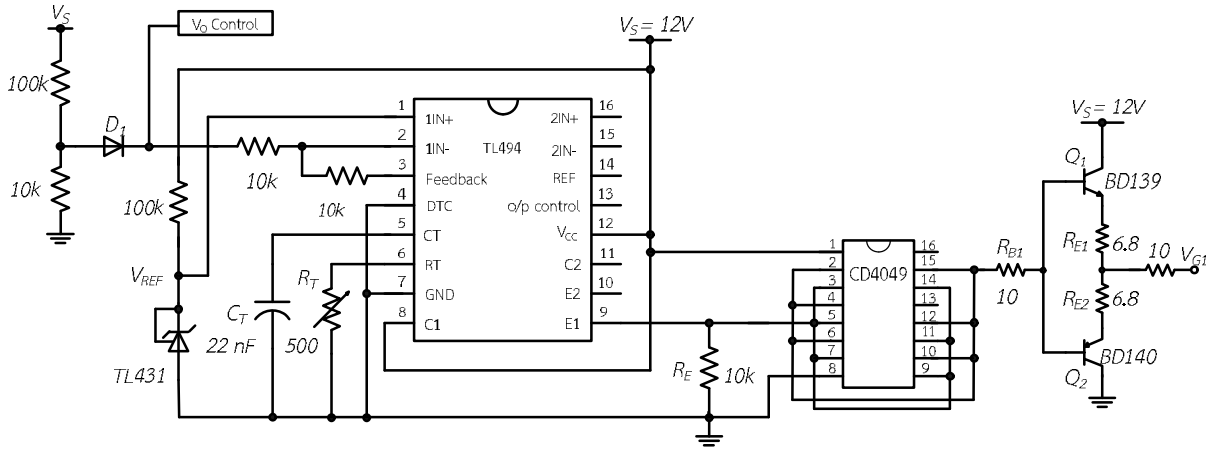
คำนวณหาค่า N = N_2/N_1 มีค่าเท่ากับ

$$N = \sqrt{\frac{L}{AL - Value}} = 0.211 \qquad (4)$$

เลือก N_1 = *12* รอบ และ N_2 = *32* รอบ

2.2 วงจรควบคุมวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์

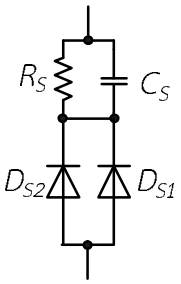
รูปที่ 3 แสดงวงจรควบคุมวงจรวงจรแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงได้ใช้ IC TL494 ทำหน้าที่ที่ผลิตแรงดัน PWM เพื่อป้อนให้กับวงจรขับนำสวิตช์ไอจีบีทีในวงจรแปลงแรงดัน กระแสตรงเป็นกระแสตรง วงจรได้ถูกออกแบบให้กำเนิดสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 50 kHz การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรได้กำหนดให้แรงดันอ้างอิงที่ V_{REF} = 2.5 V เพื่อเปรียบเทียบแรงดันป้อนกลับที่ถูกแบ่งแรงดันเอาต์พุต (*Vo Control*) ของวงจรแปลงแรงดัน กระแสตรงเป็นกระแสตรง ถ้าแรงดันป้อนกลับน้อยกว่า 2.5 V IC TL494 จะทำการจ่ายสัญญาณ PWM ให้มีค่าดิวตีไซเคิลสูงขึ้น และถ้าแรงดันป้อนกลับมากกว่า 2.5 V IC TL494 จะทำการจ่ายสัญญาณ PWM ให้มีค่าดิวตีไซเคิลลดลง



รูปที่ 3 วงจรควบคุมวงจรแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงด้วย IC TL494

2.3 วงจรสนับเบอร์แบบ RC Diode [7]

เนื่องจากแรงดันสวิตช์ของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ มีแรงดันขณะสวิตช์สูงมาก งานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรสนับเบอร์เพื่อสดแรงดันสวิตช์ของวงจรให้มีระดับแรงดันลดลง รูปที่ 5 วงจรสนับเบอร์แบบ RC Diode ซึ่งได้ออกแบบไว้คือ ค่า I_{DSN} = *206.66 A* R_S = *46.45* Ω C_S = *52 pF และ* D_{S1} และ D_{S2} *เลือกใช้ MUR1560 ต่อขนาน*



รูปที่ 4 วงจรสนับเบอร์แบบ RC Diode

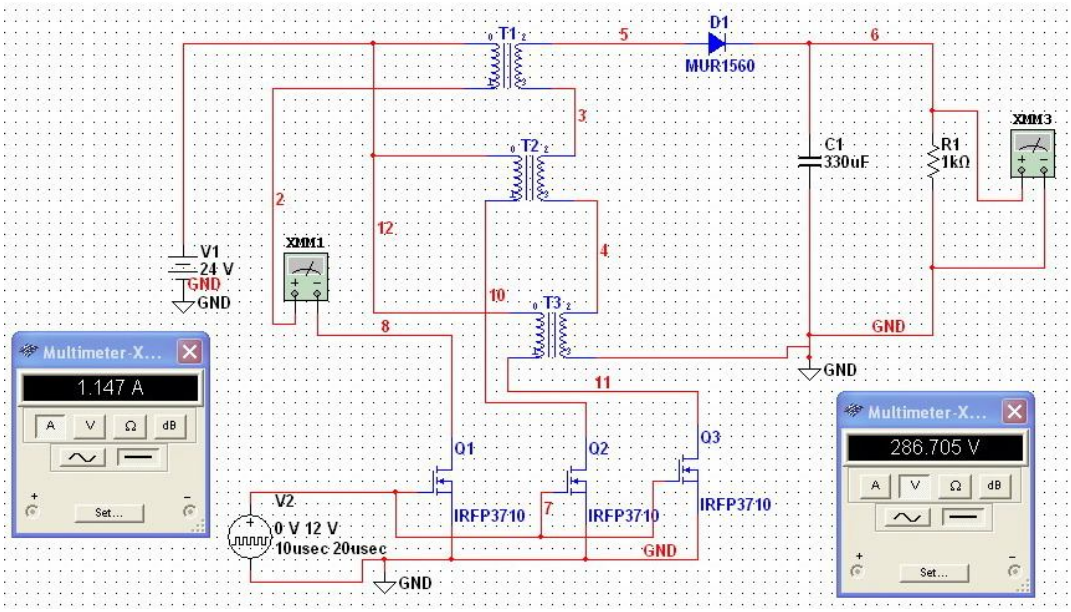
5. การจำลองการทำงานของวงจรที่นำเสนอ

รูปที่ 5 แสดงผลการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม Multisim แล้วทดสอบโดยการ simulation เมื่อผลที่ได้ตามที่เราออกแบบไว้ทำการออกแบบลายทองแดงโดยใช้โปรแกรม Multisim แล้วทำการลงอุปกรณ์จากนั้นทำการทดลองวงจรแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรงที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้โหลดที่มีขนาดเดียวกัน ผลการจำลองแสดงค่ากระแสอินพุตช่วงเริ่มต้นเท่ากับ 199 A และแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงเท่ากับ 286.7 V

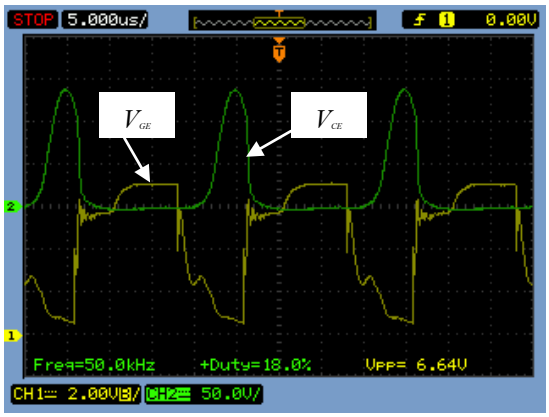
6. การทดลองและผลการทดลอง

6.1 การทดลองและผลการทดลองการสร้างสัญญาณ PWM IC TL494

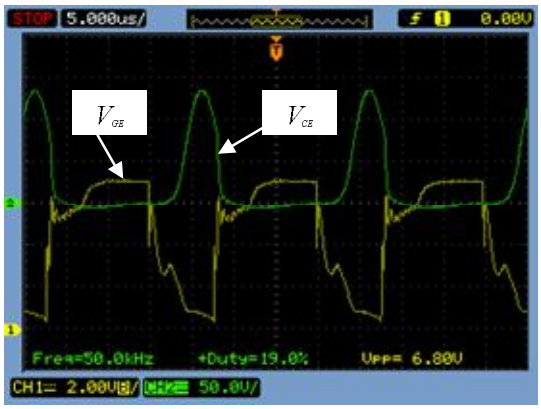
นักวิจัยได้ทำการทดลอง IC TL494 สร้างสัญญาณ PWM เพื่อที่จะส่งสัญญาณไปยังขาเกตของ IGBT ที่ทำงานลักษณะสวิตช์ของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ รูปที่ 6 (ก) แสดงสัญญาณขับขาเกทและขาเดรนของไอจีบีทีตัวที่ 1 รูปที่ 6 (ข) แสดงสัญญาณขับขาเกทและขาเดรนของไอจีบีทีตัวที่ 2 และ รูปที่ 6 (ค) แสดงสัญญาณขับขาเกทและขาเดรนของไอจีบีทีตัวที่ 3 ซึ่งจากผลการทดลองเราจะเห็นว่าค่าดิวตีไซเคิลนั้นเท่ากับ 45 % ที่ความถี่ 50 kHz ภาพสัญญาณที่ได้จากการทำลองแสดงผลการทดลองวัดแรงดันที่ขาเกตและขาคอลเล็กเตอร์ของไอจีบีทีมีแรงดัน V_{GE} = 6.6 V และแรงดัน V_{CE} = 165 V ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า IC TL494 สามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้ตรงตามที่กำหนดไว้ และทำให้วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ขยายแรงดันเท่ากับ



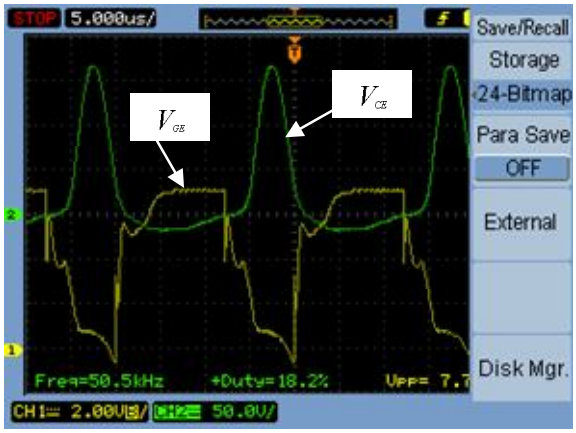
รูปที่ 5 ผลการจำลองการทำงานเพื่อวัดกระแสอินพุต และแรงดันเอาต์พุตวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ แบบสวิตช์แยก



(ก)



(ข)



(ค)

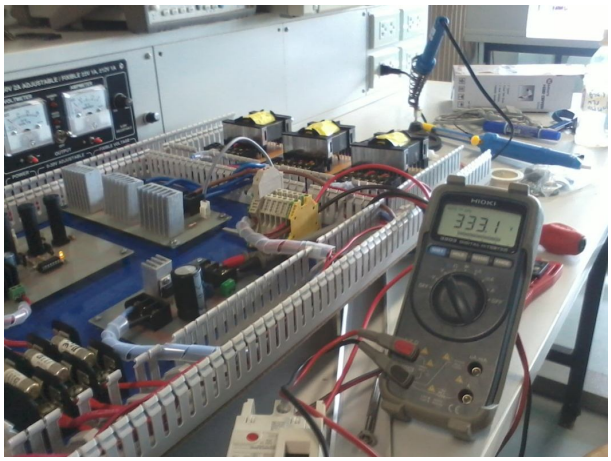
รูปที่ 6 (ก) แรงดัน V_{GE} และ V_{CE} ของไอจีบีที ตัวที่ 1 (ข) แรงดัน V_{GE} และ V_{CE} ของไอจีบีที ตัวที่ 2 และ (ค) แรงดัน V_{GE} และ V_{CE} ของไอจีบีที ตัวที่ 3

6.2 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลง

ตารางที่ 1 แสดงตารางสรุปผลการทดลองของหม้อแปลง ซึ่งโครงงานนี้ได้ออกแบบให้ใช้หม้อแปลงแบบสวิตชิง 3 ตัว ทำการออกแบบและเลือกเบอร์ ไอจีบีที และไดโอดด้านเอาต์พุต จากการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงตัวที่หนึ่งมีค่าเท่ากับ 115 V หม้อแปลงตัวที่สองมีค่าเท่ากับ 131 V หม้อแปลงตัวที่สองมีค่าเท่ากับ 164 V รูปที่ 7 แสดงผลการทดลองแรงดันเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ 333 V

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองของหม้อแปลง

หม้อแปลง	แรงดันอินพุต (V)	แรงดันเอาต์พุต (V)
TR1	23.64	115
TR2	23.64	131
TR3	23.64	164



รูปที่ 7 แรงดันเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ เท่ากับ 333 V

7. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาวงจรเพิ่มระดับแรงดัน (High step up DC-DC Converter) จากแรงดันแบตเตอรี่ 24 V เป็นแรงดัน 310 V เพื่อจ่ายให้กับชุดอินเวอร์เตอร์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อออกแบบให้เป็นวงจรแปลงแรงดัน DC เป็น DC ที่มีอัตราขยายแรงดันสูง ซึ่งเริ่มจากการกำหนดแรงดันอินพุตเท่ากับ 20-24 V แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 310 V กระแสเอาต์พุตเท่ากับ 6 A และ กำหนดความถี่ในการสวิตช์ของวงจรเท่ากับ 50 kHz แล้วทำการออกแบบเบอร์ลวดของหม้อแปลงด้านอินพุตและเอาต์พุต เนื่องจากกระแสอินพุตของหม้อแปลงมีค่าเท่ากับ 48 A ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ใช้หม้อแปลงแบบสวิตชิง 3 ตัว ต่อลักษณะขนานกันที่อินพุต และต่ออนุกรมที่เอาต์พุต งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรสนับเบอร์แบบ RC Diode เพื่อลดระดับแรงดันสวิตช์ ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้โปรแกรม Multisim ทำการจำลองการทำงานของวงจรเพื่อพิสูจน์การทำงานของวงจร งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงแต่ละตัว และแรงดันเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงตัวที่หนึ่งมีค่าเท่ากับ 115 V หม้อแปลงตัวที่สองมีค่าเท่ากับ 131 V หม้อแปลงตัวที่สองมีค่าเท่ากับ 164 V แรงดันเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ มีค่าเท่ากับ 333 V

8. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Tomaszuk, and A. Krupa, : "**High-Efficiency High Step-up DC/DC Converter – a Review**". Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, vol. 59, No. 4, February 2011, pp. 354 - 364.

[2] ธวัชชัย ทองเหลี่ยม, วิโรจน์ บัวงาม และ หฤทัย ดิ้นสกุล, "เครื่องกังหันน้ำเติมอากาศด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การตรวจวัดคุณภาพน้ำควบคุมกังหันน้ำ", มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภททุนวิจัยนวมินทร์ ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ดิน น้ำ ป่าไม้) ประจำปี ๒๕๕๓ จากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

[3] ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ ; เทคโนโลยี IGBT ; http://electronics.se-ed.com/contents/134s129/134s129_p01.asp ไอจีบีที (IGBT) ; http://www.nawattakam.com/talk/index.php?topic=604.0

[4] วีระเชษฐ์ ขันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์ **"อิเล็กทรอนิกส์กำลัง"** พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง, 2550

[5] สุวัฒน์ ดั่น **"เทคนิคและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย"** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร: เอนเทลไทย, 2538

[6] Application note AN4-8025: "**Design Guideline of Single-Stage Flyback AC-DC Converter Using FAN7530 for LED Lighting**". www.fairchildsemi.com.