



บทที่ 5

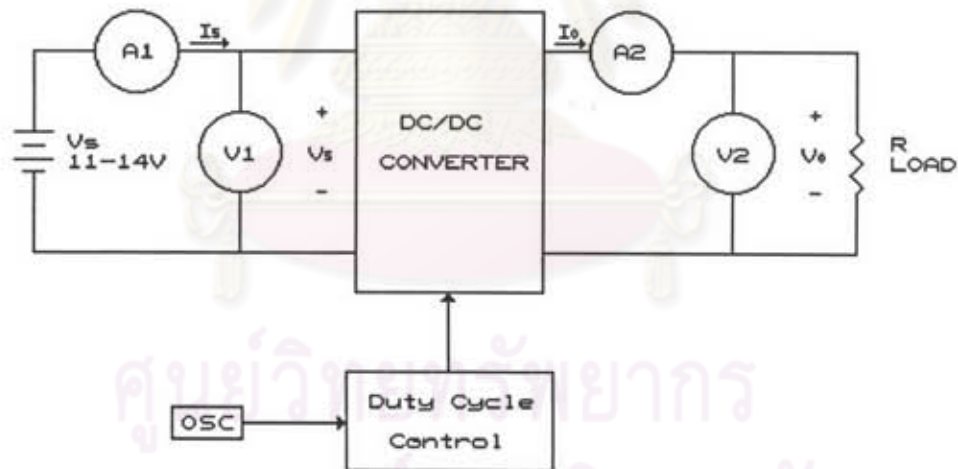
ทดสอบ สรूप และข้อเสนอนแนะ

การทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง
2. วงจรอินเวอร์เตอร์โดยรวม

1. ทดสอบส่วนวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง



รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ทดสอบ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

ทดสอบโดยการแปรผัน แรงดันด้านเข้า ($V_s = 11-14 \text{ V}$) จากแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเรียงกระแส (Rectified Power Supply), และวัฏจักรงาน (D) โดยใช้ตัวต้านทาน (600Ω) เป็นโหลด และใช้มาตรวัดกำลังแบบดิจิตอล ในการวัดทดสอบหาค่ากำลัง ด้านเข้า, กำลังด้านออก และประสิทธิภาพของวงจร วัด D , f_s โดยออสซิลโลสโคป

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง $D=0.827$

Vs (V)	Is (A)	D	fs (kHz)	Vo (V)	Io (A)	Pin (W)	Po (W)	100x Po/Pin
11	18.53	0.872	25.6	300	0.62	205	152	74.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง $D=0.769$

Vs (V)	Is (A)	D	fs (kHz)	Vo (V)	Io (A)	Pin (W)	Po (W)	100x Po/Pin
11	15.26	0.769	25.6	275	0.57	169	127	75.2
12	16.67	0.769	25.6	300	0.62	200	152	76

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง $D=0.667$

Vs (V)	Is (A)	D	fs (kHz)	Vo (V)	Io (A)	Pin (W)	Po (W)	100x Po/Pin
11	12.94	0.667	25.6	253.9	0.52	142	109	76.8
12	14.18	0.667	25.6	277.8	0.57	172	131	76.2
13	15.39	0.667	25.6	300	0.62	200	153	76.5

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง $D=0.590$

Vs (V)	Is (A)	D	fs (kHz)	Vo (V)	Io (A)	Pin (W)	Po (W)	100x Po/Pin
11	11.11	0.59	25.6	236.5	0.52	123	94	76.4
12	12.1	0.59	25.6	257	0.54	146	111	76.0
13	13.1	0.59	25.6	278.6	0.62	171	131	76.6
14	14.2	0.59	25.6	300	0.66	200	153	76.5

* ตัววงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า

การทดสอบโดยป้อนแรงดันเข้า 11,12,13,14 โวลต์ แล้วปรับวัฏจักรงานให้แรงดันออกเท่ากับ 300 โวลต์ที่แต่ละแรงดันเข้า แล้วลดแรงดันเข้าลงจนถึง 11 โวลต์ เช่น ตารางที่ 5.1 ป้อนแรงดันเข้า 11 โวลต์ ปรับ D ให้ได้แรงดันออกเท่ากับ 300 โวลต์ จะได้ค่าวัฏจักรงาน ($D=0.872$)

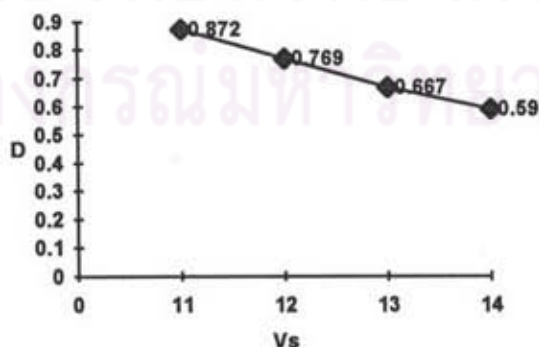
ที่แรงดันเข้า 11 โวลต์ และตารางที่ 5.4 ป้อนแรงดันเข้า 14 โวลต์ ปรับ D ให้ได้แรงดันออก 300 โวลต์ จะได้ค่า $D=0.590$ แล้วลดแรงดันเข้าลงโดยคงค่า D ไว้ ทำเช่นเดียวกันในตารางที่ 5.2, 5.3

จากผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง พบว่าวัฏจักรงาน ($D=0.872$ ที่แรงดันเข้า 11 โวลต์) ต่ำกว่าที่กำหนดในการ ออกแบบ (ออกแบบ $D=0.9$ ที่แรงดันเข้า 11 โวลต์) เนื่องจาก อัตราส่วนของหม้อแปลงที่เลือกเมื่อไว้ (ใช้ $N=35$) สูงกว่าอัตราส่วนที่คำนวณได้มาก (คำนวณได้ $N=30$) แสดงว่าวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง สามารถจ่ายกำลังแก่โหลดได้ไม่ต่ำกว่า 150 วัตต์ ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีประสิทธิภาพของส่วนวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ประมาณ 76 % และสรุปค่าแรงดันเข้า, วัฏจักรงาน, แรงดันออก และอัตราการแปลงผัน ดังแสดงในตารางที่ 5.5

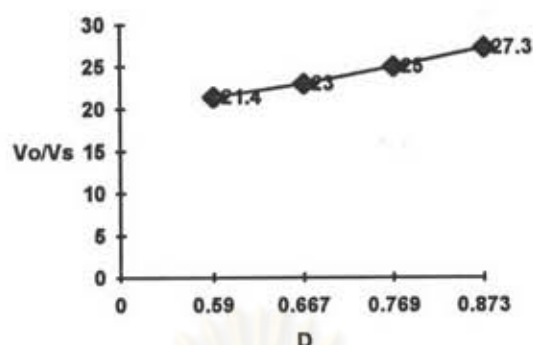
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าวัฏจักรงาน(D)เมื่อแปรค่า $V_s = 11-14$ V โดยให้แรงดันออก(V_o)คงที่

V_s (V)	D	V_o (V)	V_o/V_s
11	0.872	300	27.27
12	0.769	300	25
13	0.667	300	23.08
14	0.590	300	21.43

จากตารางที่ 5.5 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรงาน(D)กับแรงดันเข้า (V_s) ได้ดังรูปที่ 5.2 แสดงว่าเมื่อแรงดันเข้าเพิ่มขึ้นภายในพิกัด 11-14 โวลต์ วัฏจักรงานของสวิตช์ ลดลงอย่างเชิงเส้น เพื่อคงค่าแรงดันออกให้คงที่ และรูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา การแปลงผัน (V_o/V_s) กับวัฏจักรงาน (D) จะเห็นว่าเมื่อค่าวัฏจักรงานของสวิตช์เพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการแปลงผันเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น

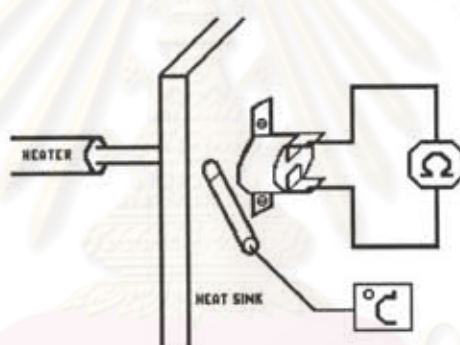


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรงาน(D)กับแรงดันเข้า(V_s)



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแปลงผัน(V_o/V_s)กับวัฏจักรงาน(D)

1.1 ทดสอบสวิตช์ที่ทำงานตามอุณหภูมิของวงจรป้องกันอุณหภูมิเกิน



รูปที่ 5.4 รูปการทดสอบอุณหภูมิ

สวิตช์อุณหภูมิ ปกติที่อุณหภูมิห้อง สวิตช์จะต่อวงจร (ON) เมื่อนำมาใช้งานติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อนอะลูมิเนียมของสวิตช์กำลัง (MOSFET) ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ถ้า MOSFET ทำงานผิดปกติมีความร้อนสะสมมากขึ้น จนทำให้อุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนสูงถึงจุดทำงานของสวิตช์อุณหภูมิ ตัวสวิตช์อุณหภูมิจะตัดวงจร (OFF) ทำให้ไม่มีไฟเลี้ยงรีเลย์ เป็นการตัดกระแสไฟที่เข้าวงจรทั้งหมด ดูรูปที่ 2.56 ประกอบ

การทดสอบเพื่อหาจุดทำงานของสวิตช์อุณหภูมิโดยใช้หลอดความร้อน (Heater) เป็นแหล่งความร้อนแทน MOSFET ใช้โอห์มมิเตอร์วัดการทำงานของสวิตช์ต่อวงจร (ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณศูนย์โอห์ม) และใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัสกับผิวชิ้นงาน วัดอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนบริเวณที่ติดกับสวิตช์อุณหภูมิ เมื่อป้อนไฟเข้าหลอดความร้อน อุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้น อ่านค่าอุณหภูมิที่ทำให้สวิตช์เริ่มทำงานตัดวงจร (สังเกตจากโอห์มมิเตอร์) แล้วแยกหลอด

ความร้อน ออกจากแผ่นระบายความร้อน เริ่มจับเวลาจนกระทั่งสวิตช์ต่อวงจร บันทึกราค่า แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งหาค่าเฉลี่ย ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

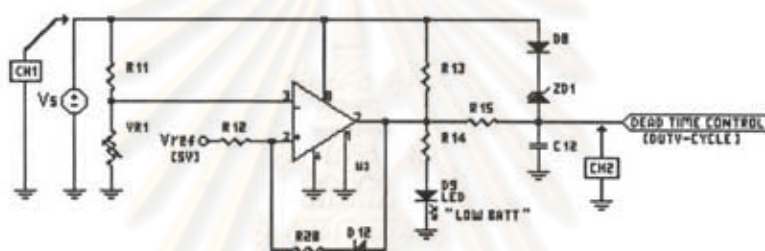
อุณหภูมิทำงานของสวิตช์ = 84 , 77 , 78 °C เฉลี่ยเท่ากับ 79.67 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาที่ใช้ในการคืนตัว = 100 , 90 , 93 s. เฉลี่ยเท่ากับ 94.33 วินาที

ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง = 31 , 30 , 30 °C เฉลี่ยเท่ากับ 30.33 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบแสดงว่า วงจรป้องกันอุณหภูมิเกิน ทำงานที่อุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนสูงประมาณ 80 องศาเซลเซียส (ข้อกำหนดที่พิมพ์บนตัวสวิตช์ทำงานที่ 80 °C)

1.2 ทดสอบวงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า

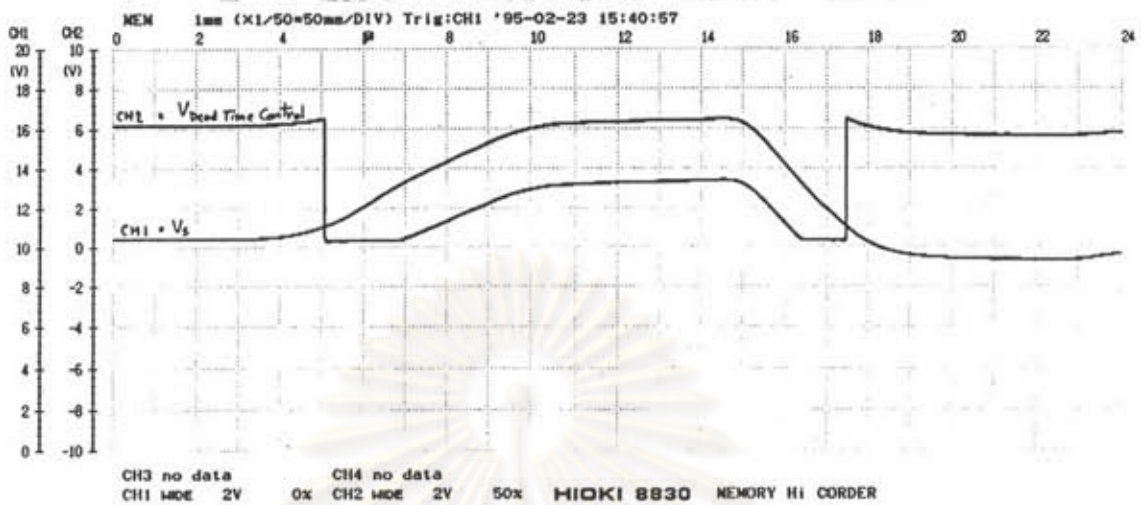


รูปที่ 5.5 รูปการทดสอบวงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า

วงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้าทำหน้าที่ส่งระดับแรงดันไปที่ขา 4(ขาDead Time Control) ของ U_2 (TL494) เพื่อควบคุมวัฏจักรงานสวิตช์ ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ให้เริ่มทำงานที่แรงดันเข้าตั้งแต่ 11 โวลต์(ตั้งค่าโดยปรับVR₁) รูปที่ 5.5 ประกอบ เมื่อแรงดันเข้าเพิ่มขึ้น แรงดันควบคุมช่วงเวลาตายจะคงที่ จนกระทั่งแรงดันเข้าเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 14 โวลต์ ช่วงเวลาตายจะเพิ่มขึ้นจนไม่มีสัญญาณ ไปขับนำสวิตช์(D=0) ที่แรงดันควบคุมช่วงเวลาตายประมาณ 1 โวลต์

สำหรับไอซี TL494 ช่วงเวลาตาย (Dead Time) จะแปรผันตามแรงดันควบคุมช่วงเวลาตาย ($V_{deadtime}$) ซึ่งช่วงเวลาตายก็คือช่วงที่สัญญาณขับนำสวิตช์เป็นศูนย์ หรือคือช่วงที่สวิตช์หยุดนำกระแส (t_{OFF}) ใน 1 คาบการทำงาน ($T = t_{ON} + t_{OFF}$) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัฏจักรงานสวิตช์ ($D = t_{ON}/T$) จะเห็นว่าถ้า $V_{deadtime}$ เพิ่มขึ้น D จะลดลง หรือถ้า $V_{deadtime}$ ลดลง D จะเพิ่มขึ้น นั่นคือ วัฏจักรงานสวิตช์จะแปรผกผันกับแรงดันควบคุมช่วงเวลาตาย

การทดสอบการทำงานของวงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่แปรค่าแรงดันด้านเข้า ตั้งแต่ต่ำกว่า 11 โวลต์จนสูงกว่า 14 โวลต์ ใช้เครื่องบันทึกรูปคลื่น เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โดยช่องวัดที่ 1 (CH1) วัดแรงดันด้านเข้า ช่องวัดที่ 2 (CH2) วัดแรงดันควบคุมช่วงเวลาตาย ได้ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบวงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า

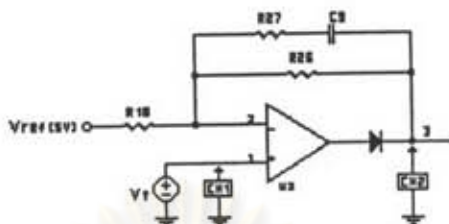
จากผลการทดสอบ รูปที่ 5.6 ในช่วงแรก(ด้านซ้าย) แรงดันเข้าต่ำกว่า 11 โวลต์ วัตต์แรงดันควบคุมช่วงเวลาตายได้ประมาณ 6 โวลต์ (นั่นคือ $D=0$) เมื่อแรงดันเข้าเท่ากับ 11 โวลต์ วงจรทำงานทำให้วัตต์แรงดันควบคุมช่วงเวลาตายได้ประมาณ 0.4 โวลต์ ณ จุดนี้สวิทช์เริ่มทำงาน ($D \neq 0$) เมื่อเพิ่มแรงดันเข้าต่อไป สวิทช์ยังคงทำงาน จนแรงดันเข้าประมาณ 13 โวลต์ (ZD1) แรงดันควบคุมช่วงเวลาตายเพิ่มขึ้น ทำให้ช่วงเวลาตายเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่แรงดันเข้า เพิ่มถึง 14 โวลต์ วัตต์แรงดันควบคุมช่วงเวลาตายได้ประมาณ 1 โวลต์ ซึ่งทำให้สวิทช์ไม่ทำงาน ($D=0$) จากการทดสอบสรุปได้ว่า แรงดันควบคุมช่วงเวลาตาย (Dead Time Control) ของสัญญาณขับนำสวิทช์ จะสั่งให้สวิทช์ทำงานที่แรงดันเข้าอยู่ระหว่าง 11-14 โวลต์

1.3 ทดสอบวงจรป้อนกลับแรงดันออก

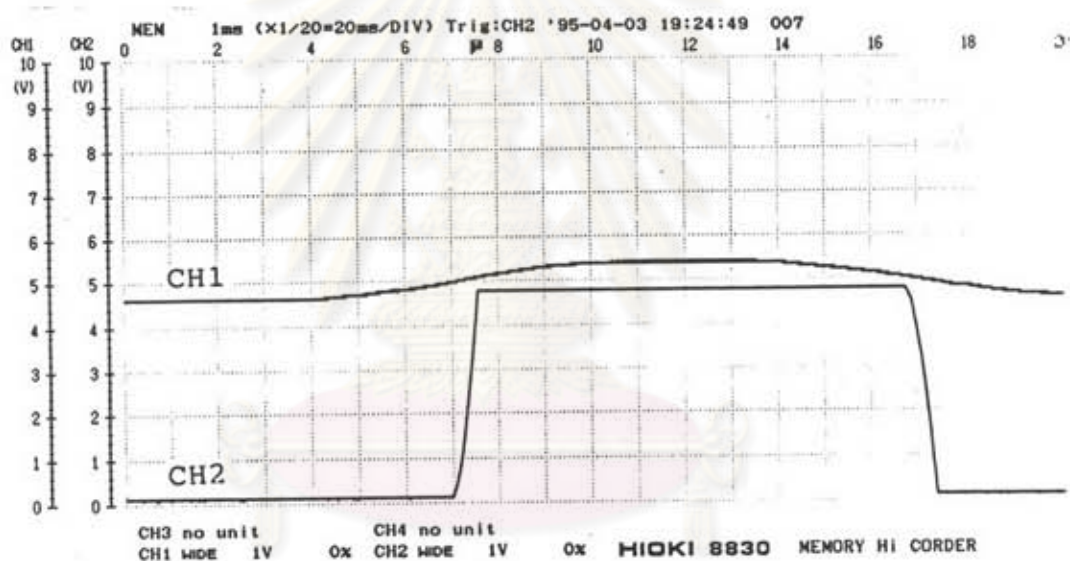
วงจรป้อนกลับแรงดันออก ทำงานโดยจำกัดค่าสูงสุดของแรงดันออก ที่ตั้งค่า โดยการปรับ VR_2 รูปที่ 2.46 ประกอบ ซึ่งป้อนกลับมาเข้าวงจรควบคุม เพื่อควบคุม วัฏจักรงานสวิทช์ให้ลดลง ถ้าแรงดันออกมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ทำให้แรงดันออกมีค่าไม่เกินค่าที่ตั้งไว้

การทดสอบเฉพาะวงจรป้อนกลับแรงดัน แสดงในรูปที่ 5.7 โดยใช้ แหล่งจ่ายไฟ ที่แปรค่าได้ (4.5-5.5 โวลต์) แทนแรงดันที่แบ่งมาจากแรงดันออก ป้อนเข้าที่ ขา 1 ของ U_2 ใช้ MEMORY Hi CORDER (HIOKI 8830) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โดยช่องวัดที่ 1

(CH1) วัดแรงดันที่แปรค่า(หรือคือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออก) ช่องวัดที่ 2 (CH2) วัดแรงดัน
ผลที่เกิดขึ้นที่ขา 3 ของ U_2 ได้ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.7 รูปวงจรทดสอบวงจรป้อนกลับแรงดันออก



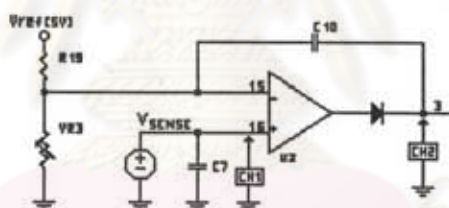
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบวงจรป้อนกลับแรงดันออก

จากผลการทดสอบรูปที่ 5.8 ในช่วงแรก(ด้านซ้าย) แรงดันออก(ถูกแบ่งแรงดัน)ต่ำกว่า 5 โวลต์หรือคือแรงดันออกมีค่าต่ำกว่าที่ตั้งไว้ แรงดันที่ขา 3 มีค่าประมาณศูนย์โวลต์ เมื่อแรงดันออกมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 5 โวลต์เท่ากับแรงดันอ้างอิง นั่นคือถ้าแรงดันออกมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ แรงดันที่ขา 3 ของ U_2 (TL494) จะให้สัญญาณ "1" (ประมาณ 5 โวลต์) ส่งออกไปเพื่อควบคุม วงจรงานของสวิทช์ ให้ลดลงเพื่อคงค่าแรงดันออกไว้ไม่ให้เกินค่าที่ตั้งไว้ และสัญญาณนี้จะยังคงเป็น "1" จนกว่าแรงดันออกจะลดลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ (ด้านขวาของรูปที่ 5.8)

ในวงจรใช้งานจริง ตั้งค่าของแรงดันออกสูงสุดโดยต่ออินเวอร์เตอร์กรณี NOLOAD เพื่อตัดผลการทำงาน ของวงจรป้องกันกระแสเกิน ป้อนแรงดันเข้าที่ 12 โวลต์ ปรับ VR_2 ให้แรงดันออกเท่ากับ 240 โวลต์ (พิสัยแรงดันออกสูงสุดเท่ากับ 242 โวลต์) แล้วแปรค่าแรงดันเข้าระหว่าง 11-14 โวลต์ สังเกตแรงดันออก จะเห็นว่าแรงดันออกเปลี่ยนแปลง ไม่เกินค่าแรงดันออกที่ตั้งไว้ ดังแสดงในตารางที่ 5.6

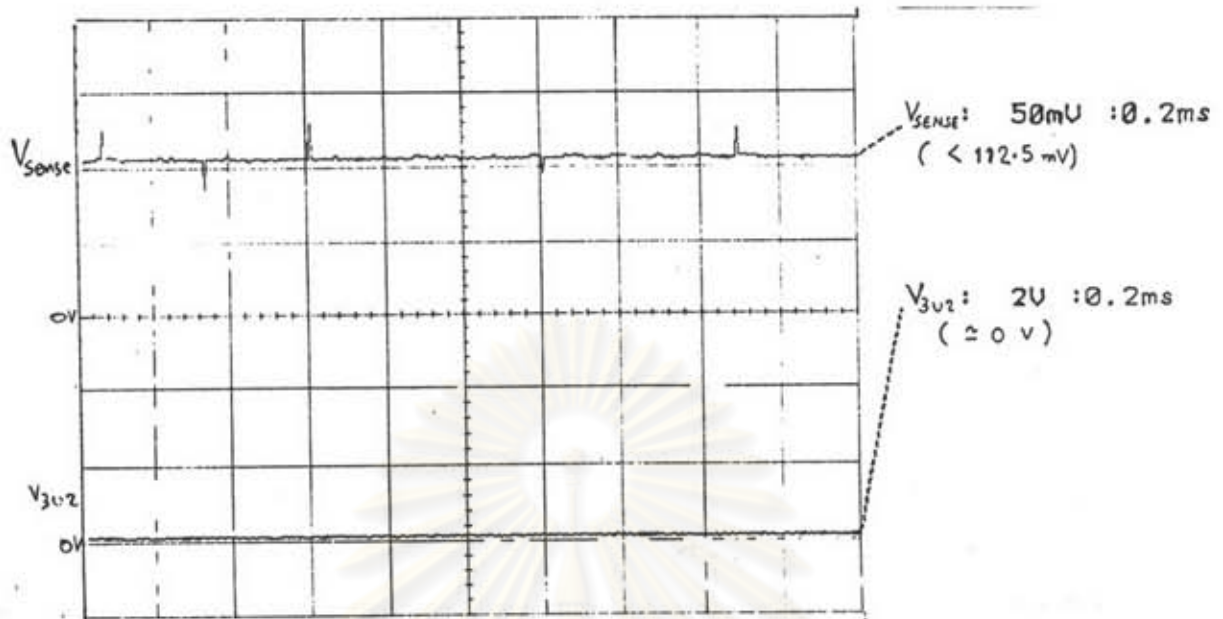
1.4 ทดสอบวงจรป้องกันกระแสเกิน

วงจรป้องกันกระแสเกิน ทำงานคล้ายกับวงจรป้อนกลับแรงดันออก แต่เป็นการ ตรวจวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดและสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ โดยให้ไหลผ่านตัวต้านทานค่าต่ำ ($R_9=0.25\Omega$) รูปที่ 3.2 ประกอบ แล้ววัดแรงดันที่ตกคร่อม R_9 ป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ตั้งค่าจุดทำงานของการเปรียบเทียบโดย VR_3 รูปที่ 2.48 ประกอบ เพื่อควบคุมวัฏจักรงานของสวิตช์ให้หยุดทำงาน ($D = 0$) ถ้ากระแสไหลมากกว่าค่าที่ตั้งไว้

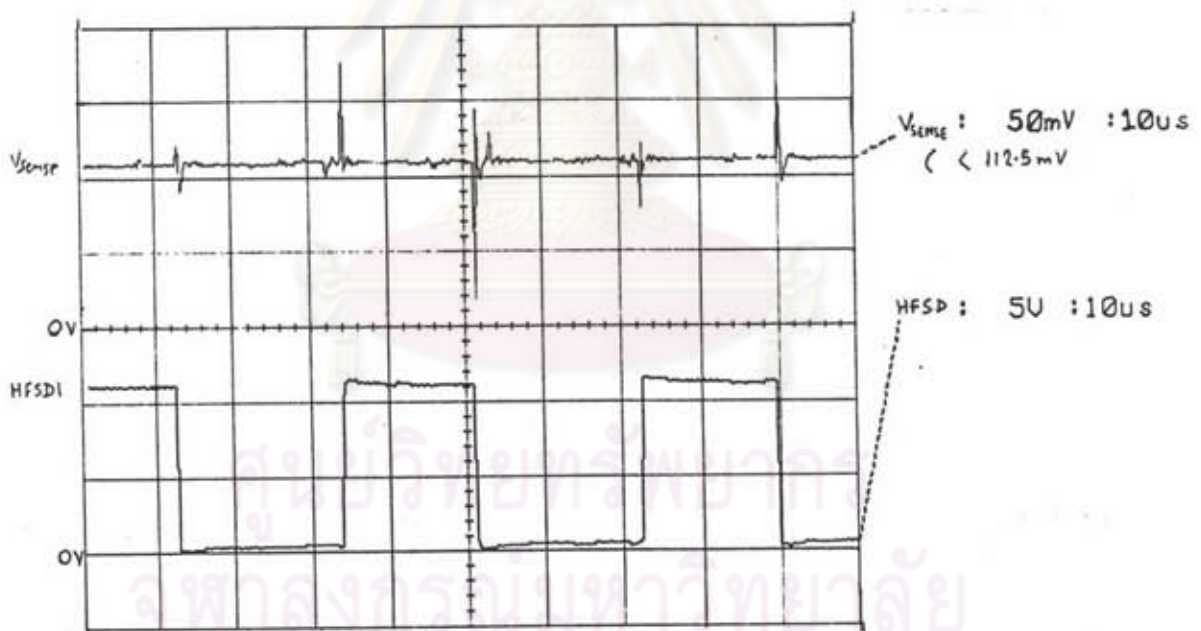


รูปที่ 5.9 แสดงการทดสอบวงจรป้องกันกระแสเกิน

การทดสอบจะจำลองสภาพการใช้งานจริงที่โหลด 100 วัตต์ จะมีแรงดันตกคร่อม R_9 (หรือ V_{sense}) ตามที่ออกแบบไว้คือ 112.5mV จึงใช้แหล่งจ่ายไฟตรง ปรับค่าได้ 0-150 mV ต่อแทนที่ R_9 ดังรูปที่ 5.9 ปรับ VR_3 ให้แรงดันที่ขา 15 ของ U_2 ประมาณ 115 mV (ตั้งไว้มากกว่า 112.5 mV เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ยังคงทำงานที่โหลด 100 วัตต์) แล้วสมมติว่าอินเวอร์เตอร์จ่ายโหลดที่ไม่เกิน 100 วัตต์ ดังนั้นแรงดัน $V_{sense} \leq 112.5$ mV ปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟทดสอบ จากศูนย์ถึงประมาณ 112.5 mV (รูปที่ 5.10 บน) วัดแรงดันที่ ขา 3 ของ U_2 ได้ประมาณ ศูนย์โวลต์ (รูปที่ 5.10 ล่าง) ซึ่งส่งผลให้มีสัญญาณไปขับนำสวิตช์ (รูปที่ 5.11 ล่าง)

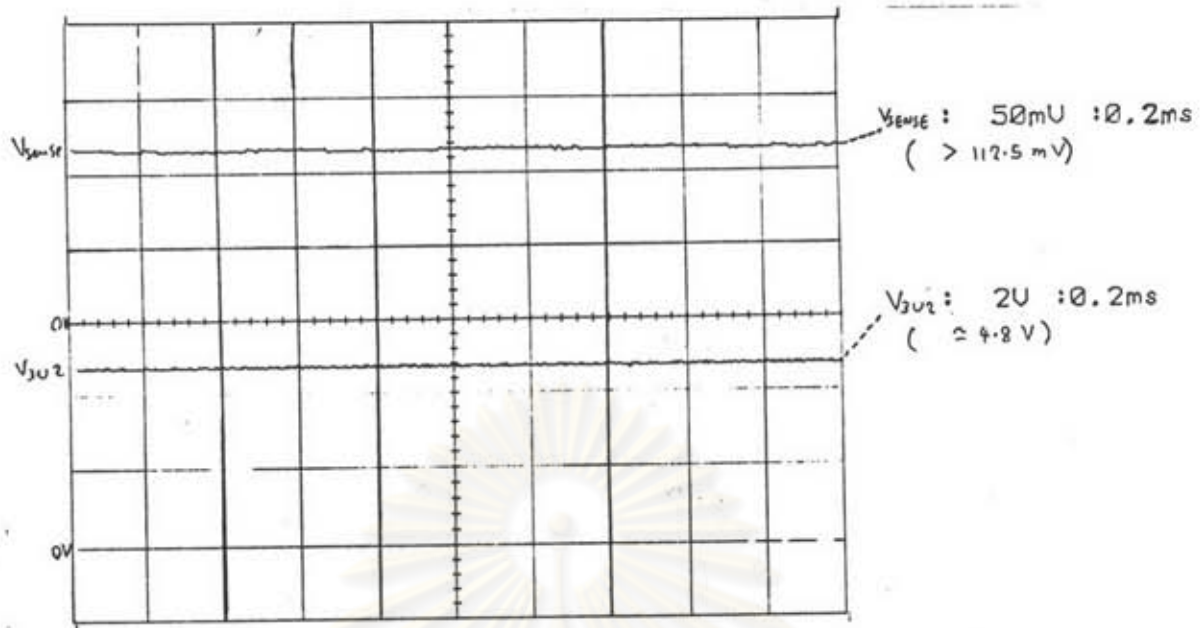


รูปที่ 5.10 รูปคลื่นแรงดันออกของวงจรป้องกันกระแสเกินกรณีโหลดไม่เกิน 100 วัตต์

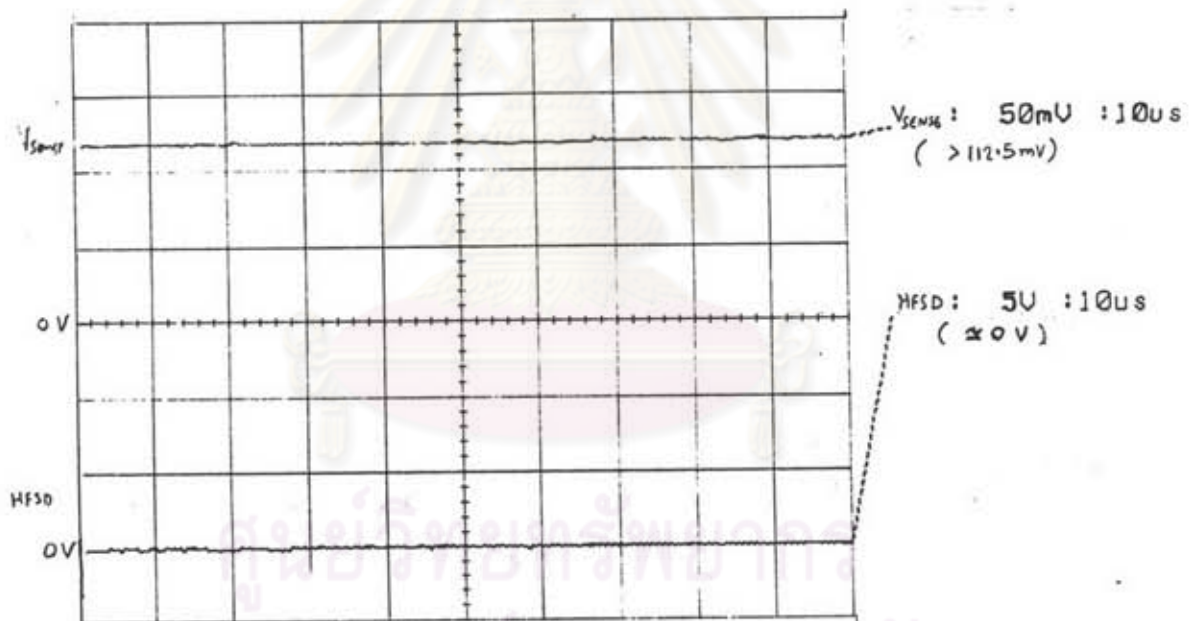


รูปที่ 5.11 รูปคลื่นสัญญาณขั้วนำกรณีโหลดไม่เกิน 100 วัตต์

เมื่ออินเวอร์เตอร์จ่ายโหลดมากกว่า 100 วัตต์ ทำให้แรงดัน V_{sense} มากกว่า 112.5 mV ดังนั้นปรับแรงดันแหล่งจ่ายไฟทดสอบ ให้มากกว่า 112.5 mV (รูปที่ 5.10 บน) วัตต์แรงดันที่ ขา 3 ของ U_2 ได้ประมาณ 4.8 โวลต์ (รูปที่ 5.10 ล่าง) ซึ่งส่งผลให้ไม่มีสัญญาณไปขั้วนำสวิตช์ (รูปที่ 5.11 ล่าง)



รูปที่ 5.12 รูปคลื่นแรงดันออกของวงจรป้องกันกระแสเกินกรณีโหลดเกิน 100 วัตต์

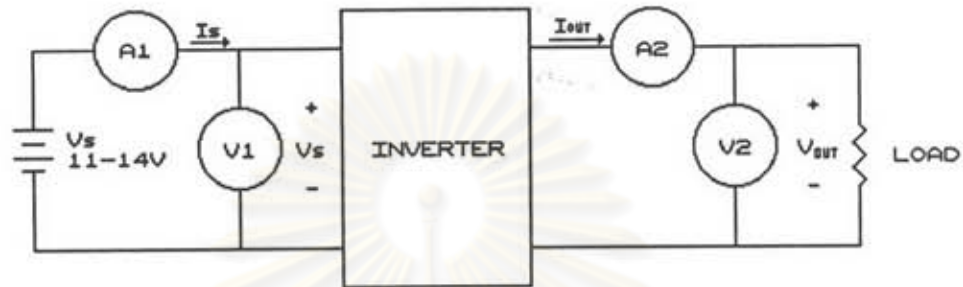


รูปที่ 5.13 รูปคลื่นสัญญาณขั้วนำกรณีโหลดเกิน 100 วัตต์

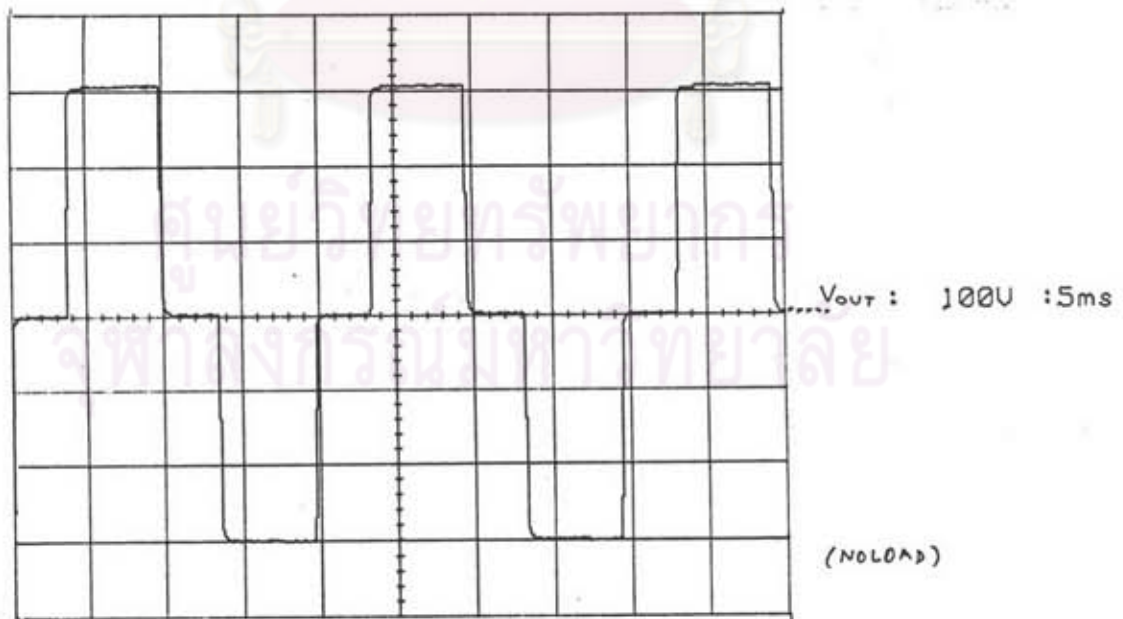
การทดสอบใช้งานจริงโดยให้อินเวอร์เตอร์จ่ายโหลด รูปที่ 5.9 ตั้งค่าแรงดันออกไว้ที่ 220 โวลต์ แล้วจ่ายไฟให้แก่โหลด (หลอดไฟ) 100 วัตต์ ค้างไว้ 30 นาที อ่านค่ากำลังที่อินเวอร์เตอร์จ่ายออกที่ 100 วัตต์ ปรับ VR3 ลดลงจนอินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน แล้วปรับ VR3 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ให้อินเวอร์เตอร์ยังคงทำงานอยู่ ที่โหลด 100 วัตต์ แล้วทดลอง จ่ายไฟให้แก่โหลดมากกว่า 100 วัตต์ (หลอดไฟ 100+40 วัตต์) ปรากฏว่าอินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน

2. วงจรอินเวอร์เตอร์โดยรวม

ทดสอบโดยใช้หลอดไฟ(40 W,100 W) ตัวต้านทาน($600\Omega, 2k\Omega$) และขดลวดความร้อน (หัวแรง 20W,130W)เป็นโหลด และกรณีไม่มีโหลด ต้องวงจรทดสอบดังรูปที่ 5.14 วัดค่าต่างๆ โดยใช้มาตรวัดกำลังแบบดิจิตอล



รูปที่ 5.14 รูปวงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.15 รูปคลื่นของแรงดันออกกรณีไม่มีโหลด

2.1. การทดสอบกรณีไม่มีโหลด

แสดงรูปคลื่นของแรงดันออกในรูปแบบที่ 5.15 และผลการทดสอบ แสดงในตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าเฉพาะอินเวอร์เตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 6.5 วัตต์ เพื่อจ่ายให้ส่วนประกอบต่างๆของวงจร แรงดันออกและความถี่อยู่ในพิสัย (198-242 V, 49-51 Hz)

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบกรณีไม่มีโหลด

Load	Vs (V)	Is (A)	Pin (W)	Vo (V _{DC})	Vout (V _{RMS})	Iout (A)	Pout (W)	PF (out)	fo (Hz)	η (%)
-	11	0.413	4.3	284.0	223.2	-	-	-	50.05	-
-	12	0.420	4.9	284.0	223.2	-	-	-	50.06	-
-	13	0.440	5.5	284.0	223.2	-	-	-	50.05	-
-	14	0.450	6.1	284.0	223.2	-	-	-	50.05	-

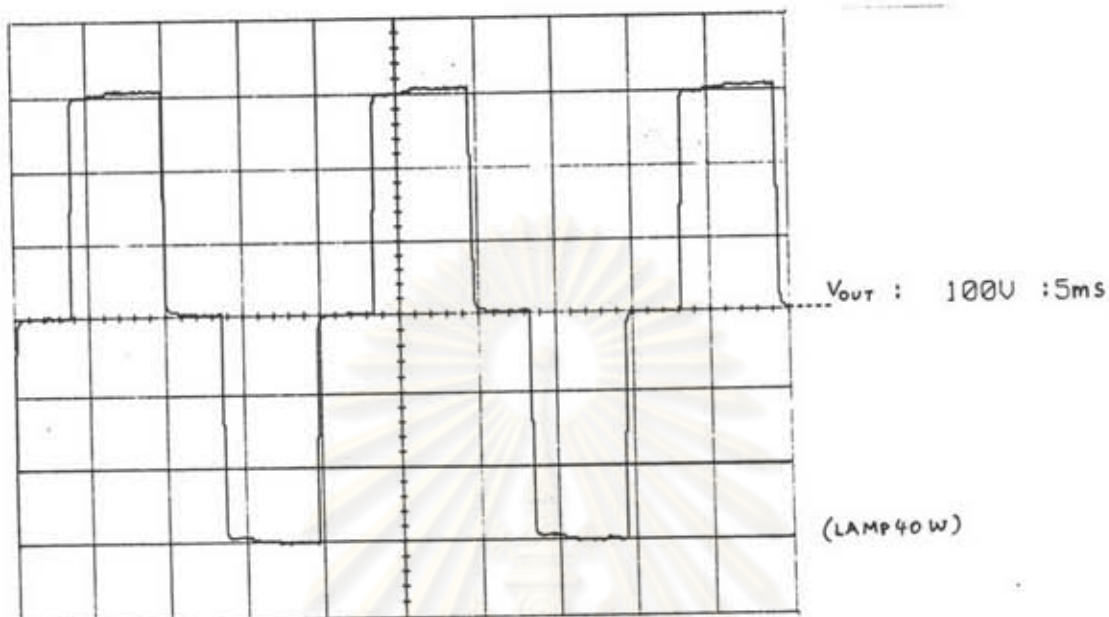
หมายเหตุ Vo คือ แรงดันออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

Vout คือ แรงดันออกของอินเวอร์เตอร์

2.2. การทดสอบโดยใช้โหลดไฟฟ้าเป็นโหลด

โหลดไฟฟ้าที่ใช้เป็นโหลด คือโหลดไฟฟ้าแบบมีไส้หลอด แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 40 วัตต์ และ 100 วัตต์ ที่ใช้ในโคมไฟทั่วไป แต่เนื่องจากความต้านทานของไส้หลอดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ คือถ้าเริ่มใช้งานขณะหลอดเย็น ความต้านทานของไส้หลอด (จากการวัด) เท่ากับ 90Ω สำหรับหลอด 40 วัตต์ และ 36Ω สำหรับหลอด 100 วัตต์ แต่หลังจากใช้งานเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความต้านทานทันทีได้เท่ากับ 122Ω (40W) และ 65Ω (100W) และหลังจากใช้งาน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้ววัดความต้านทานทันทีได้เท่ากับ 123Ω (40W) และ 59Ω (100W) ในการทดสอบนี้จึงมีการใช้งานหลอดไฟฟ้าก่อนเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วสลับสายเป็น โหลดของอินเวอร์เตอร์โดยทันที

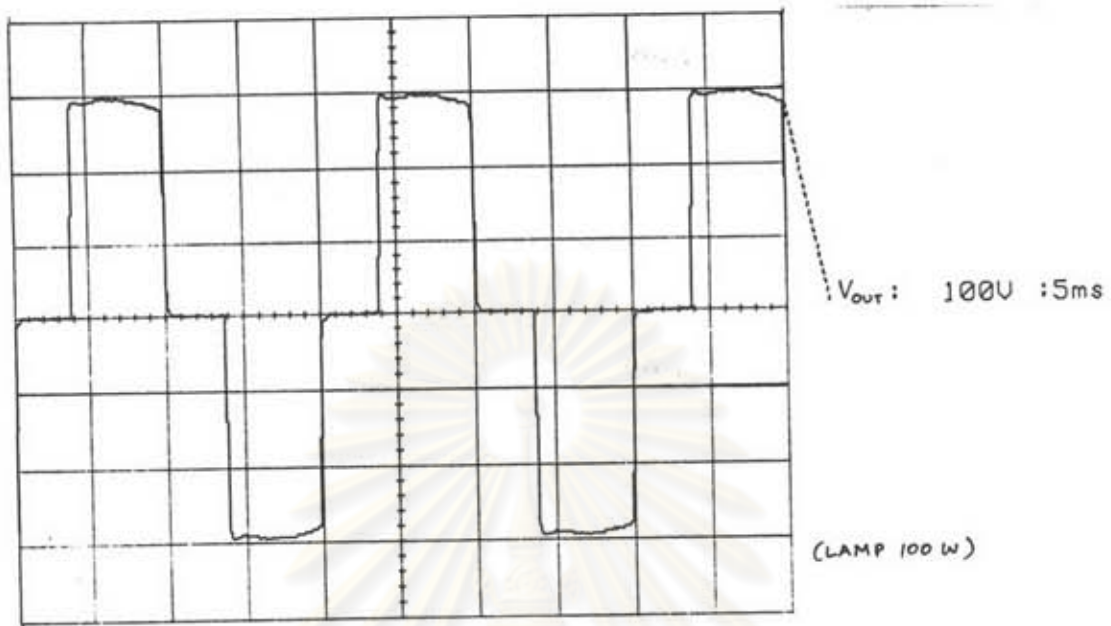
รูปคลื่นของแรงดันออก แสดงในรูปแบบที่ 5.16 สำหรับโหลด 40 วัตต์ และรูปที่ 5.17 สำหรับโหลด 100 วัตต์ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.7 และ ตารางที่ 5.8 ตามลำดับ



รูปที่ 5.16 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 40 W

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบโดยใช้ หลอดไฟฟ้า 40W เป็นโหลด

Load	Vs (V)	Is (A)	Pin (W)	Vo (V _{DC})	Vout (V _{RMS})	Iout (A)	Pout (W)	PF (out)	fo (Hz)	η (%)
40W	11	6.38	52	282.7	221.1	0.16	39	1	49.97	75.0
	12	5.78	52	282.8	221.5	0.16	39	1	50.04	75.0
	13	5.33	52	282.9	221.5	0.18	39	1	50.15	75.0
	14	4.94	53	282.9	221.6	0.18	39	1	50.17	73.6



รูปที่ 5.17 รูปคลื่นแรงดันออก กรณีโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 100 W

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบโดยใช้ หลอดไฟฟ้า 100W เป็นโหลด

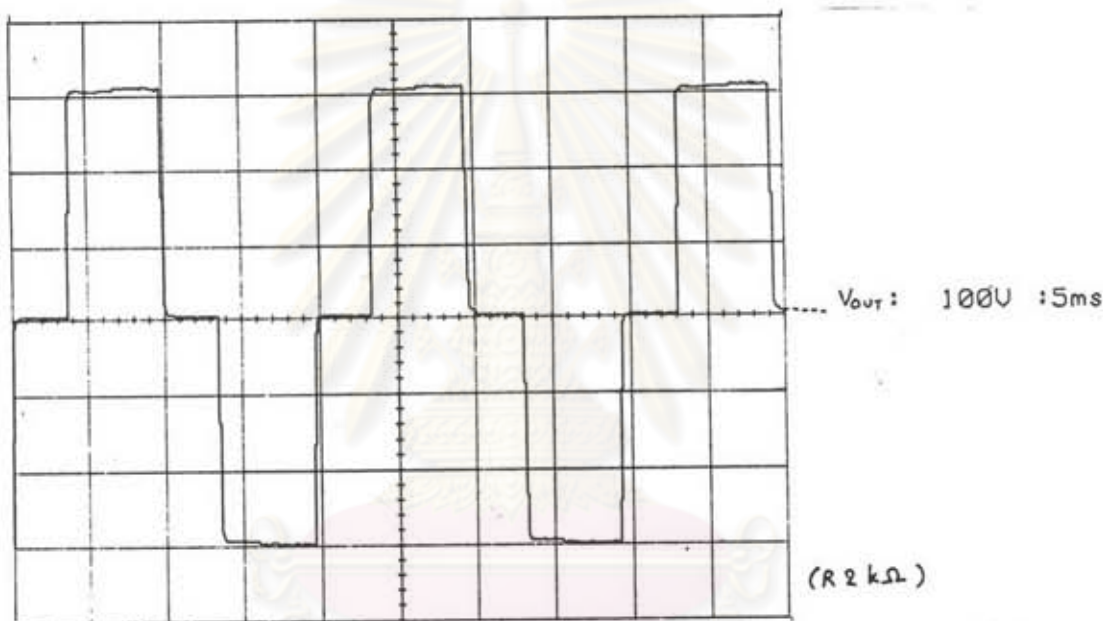
Load	Vs (V)	Is (A)	Pin (W)	Vo (V _{DC})	Vout (V _{RMS})	Iout (A)	Pout (W)	PF (out)	fo (Hz)	η (%)
100W	11	15.78	131	280.7	218.3	0.43	98	1	50.18	74.8
	12	15.59	138	283.7	220.4	0.43	100	1	50.18	72.0
	13	14.50	138	284.0	220.8	0.43	101	1	50.17	73.2
	14	13.35	137	284.0	220.9	0.43	101	1	50.17	73.7

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 จะสังเกตว่าที่แรงดัน 11 โวลต์ วงจรมีประสิทธิภาพสูงสุด มีการสูญเสียต่ำสุด และค่าแรงดันออกและความถี่ที่วัดได้ยังอยู่ในพิสัยประสิทธิภาพเฉลี่ยเมื่อโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์เท่ากับ 74.7% และ 73.4% สำหรับโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 100 วัตต์

2.3. ทดสอบโดยใช้ตัวต้านทานเป็นโหลด

ตัวต้านทานที่ใช้เป็นโหลด เป็นตัวต้านทานแบบ Aluminium housed power wirewound resistors มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ ชีตติคบนแผ่นระบายความร้อน

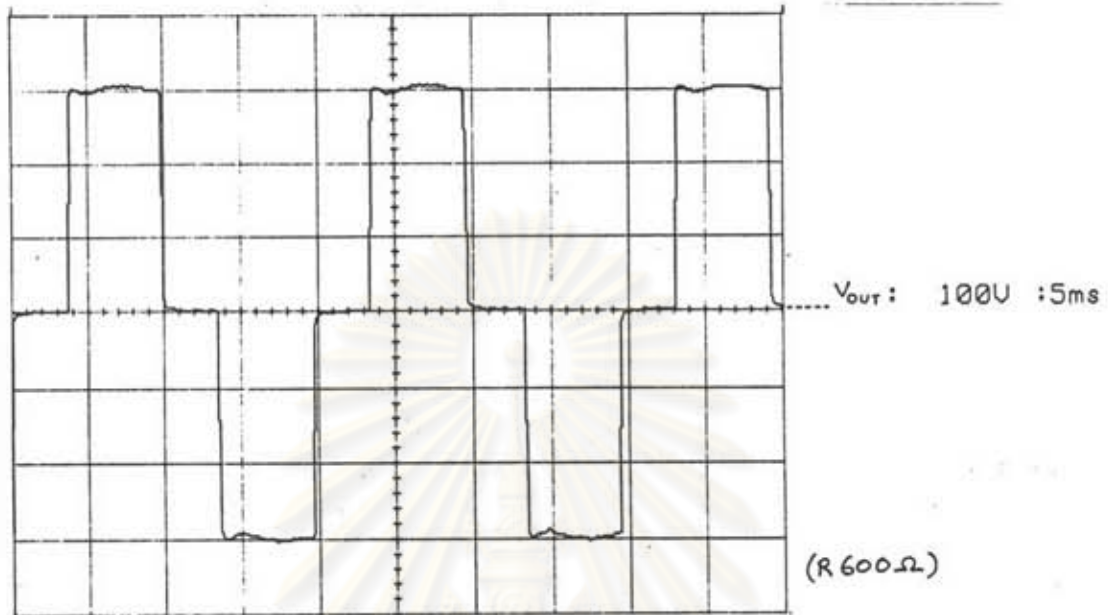
ตารางที่ 5.9และตารางที่5.10 แสดงผลการทดสอบโดยใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ 2 กิโลโอห์ม และ 600 โอห์มเป็นโหลดตามลำดับ รูปคลื่นของแรงดันออกแสดงในรูปที่ 5.18 และรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.18 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นตัวต้านทาน 2 kΩ

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบโดยใช้ตัวต้านทาน 2 กิโลโอห์ม เป็นโหลด

Load	Vs (V)	Is (A)	Pin (W)	Vout (V _{RMS})	Iout (A)	Pout (W)	PF (out)	fo (Hz)	η (%)
2kΩ	11	3.86	34	222	0.109	25	1	49.98	73.5
	12	3.53	34	222	0.109	25	1	50.00	73.5
	13	3.40	35	222	0.109	25	1	50.01	71.4
	14	3.18	36	222	0.109	25	1	50.00	69.4



รูปที่ 5.19 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นตัวต้านทาน 600 Ω

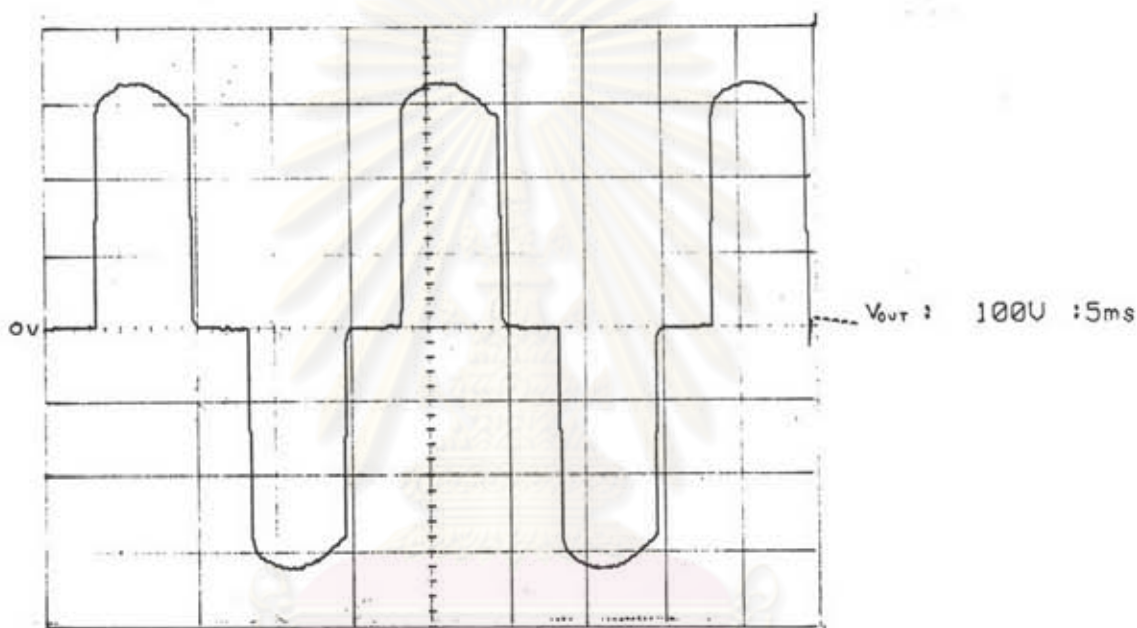
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบโดยใช้ตัวต้านทาน 600 โอห์ม เป็นโหลด

Load	V _s (V)	I _s (A)	P _{in} (W)	V _{out} (V _{RMS})	I _{out} (A)	P _{out} (W)	PF (out)	f _o (Hz)	η (%)
600Ω	11	12.34	107	220.0	0.33	81	1	50.19	75.7
	12	12.25	110	220.8	0.33	81	1	50.20	73.6
	13	11.20	109	220.9	0.33	81	1	50.23	74.3
	14	9.75	108	221.0	0.36	81	1	50.30	75.0

จากผลการทดสอบ ตารางที่ 5.9 และ 5.10 ค่าแรงดันออกและความถี่อยู่ในพิสัย โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเมื่อจ่ายโหลดตัวต้านทาน 2 kΩ เท่ากับ 72.0% และ 74.7% สำหรับโหลดตัวต้านทาน 600 Ω

2.4. ทดสอบโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำ

ขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นโหลดคือ บัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 วัตต์ ซึ่งนำมาวัดค่าความเหนี่ยวนำได้เท่ากับ 1.05 เฮนรี (วัดที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์) และวัดค่าอิมพีแดนซ์ได้เท่ากับ 333Ω บัลลาสต์ที่นำมาใช้ทดสอบต้องผ่านการใช้งานอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบโดยทันที เพื่อให้ความต้านทานของขดลวดคงตัว ได้รูปคลื่นของแรงดันออกแสดงในรูปที่ 5.18 และผลการทดสอบ แสดงในตารางที่ 5.11



รูปที่ 5.20 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี เป็นโหลด

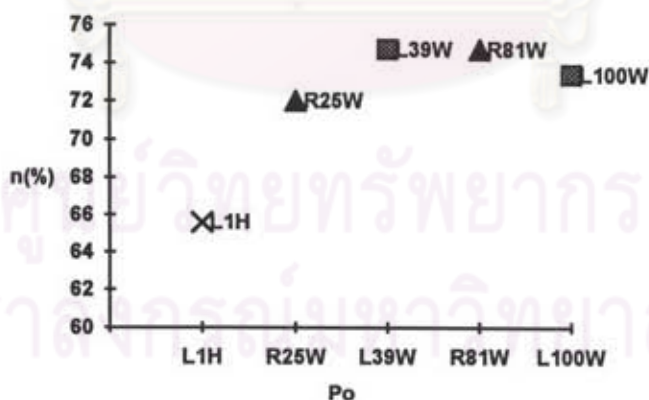
Load	Vs (V)	Is (A)	Pin (W)	Vo (Vdc)	Vout (Vrms)	Iout (A)	Pout (W)	PF (out)	fo (Hz)	η (%)
L 1H	11	5.55	28	306.2	247.2	0.58	19	0.13	50.00	67.9
	12	5.80	29	305.8	246.5	0.58	19	0.13	50.08	65.5
	13	5.61	29	305.9	248.3	0.59	19	0.13	50.10	65.6
	14	5.39	30	304.7	243.9	0.59	19	0.13	50.17	63.3

จากตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดสอบ จะเห็นว่าแรงดันออกมีค่าสูงกว่า ค่าที่วงจรป้อนกลับแรงดันออกจำกัดไว้ (220V) กระแสออกมีค่ามากกว่าค่าพิกัดสูงสุด (0.45A) เนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีตัวประกอบกำลังต่ำ ค่าแรงดันและกระแสมีการต่างเฟส และมีพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำ รูปคลื่นแรงดันออก(รูปที่ 5.20)ส่วนยอดจึงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น และค่าความถี่อยู่ในพิสัย โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 65.6%

เมื่อนำกำลังที่โหลดต่างๆ (P_{OUT}) มาหาความสัมพันธ์กับ ประสิทธิภาพ (η) ได้ดังตารางที่ 5.12 และเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 5.21

ตารางที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ P_{OUT} ของอินเวอร์เตอร์

LOAD	$P_{OUT,ave}$ (W)	η (%)
L 1 H	19	65.6
R 2k Ω	25	72.0
lamp 40 W	39	74.7
R 600 Ω	81	74.7
lamp 100 W	100	73.4



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ η กับ P_o ของอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.21 จะเห็นว่าถ้าโหลดมีตัวประกอบกำลังสูง (โหลดไฟฟ้าหรือตัวต้านทาน) ประสิทธิภาพเฉลี่ย 73.7% เมื่อโหลดมีตัวประกอบกำลังต่ำ ประสิทธิภาพจะลดลงเหลือ 69.7%

2.5. การวัดฮาร์มอนิกของแรงดันออก

เนื่องจากแรงดันออกเป็นรูปเกือบสี่เหลี่ยม คล้ายคลื่นไซน์ จึงทำการหาฮาร์มอนิกของแรงดันออก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับโหลดที่จะมาต่อกับอินเวอร์เตอร์นี้ ดังแสดงในรูปที่ 5.22

HIGHER HARMONICS CH1
 Trig time '95-01-30 19:00:40
 Fundamental 50.1Hz 2.10E+1V
 Total Harmonic Distortion 28.14x

Order	(Vrms)	(deg)
1:	100.00%	346.6°
2:	0.53%	173.0°
3:	8.28%	157.3°
4:	0.63%	80.5°
5:	21.45%	110.3°
6:	0.52%	4.6°
7:	8.39%	76.9°
8:	0.32%	236.6°
9:	5.32%	243.3°
10:	0.43%	146.6°
11:	8.33%	210.3°
12:	0.20%	168.0°
13:	1.57%	306.0°
14:	0.30%	347.1°
15:	4.68%	253.6°
16:	0.45%	317.0°
17:	4.09%	151.9°
18:	0.23%	138.8°
19:	0.77%	41.1°
20:	0.37%	93.3°
21:	3.60%	348.7°
22:	0.29%	61.2°
23:	1.89%	218.6°
24:	0.15%	232.4°
25:	1.61%	135.6°
26:	0.41%	201.0°
27:	2.64%	62.7°
28:	0.18%	160.3°
29:	0.60%	282.9°
30:	0.19%	338.5°
31:	1.87%	250.3°
32:	0.42%	309.4°
33:	1.79%	141.8°
34:	0.17%	134.4°
35:	0.30%	137.5°
36:	0.25%	343.8°
37:	1.79%	142.1°
38:	0.40%	226.9°
39:	1.06%	130.7°
40:	0.13%	194.4°
41:	0.87%	89.6°
42:	0.41%	150.1°
43:	1.54%	279.2°
44:	0.17%	331.1°
45:	0.35%	239.8°
46:	0.23%	300.5°
47:	1.11%	
48:	0.33%	
49:	1.17%	



รูปที่ 5.22 แสดงผลการวัดฮาร์มอนิกของแรงดันออก

รูปที่ 5.22 แสดงผลการวัดฮาร์มอนิกของแรงดันออก รูปเกือบสี่เหลี่ยม โดยใช้ฟังก์ชันหา HARMONICS ของ HIOKI 8830 MEMORY Hi CORDER ผลที่ได้แสดงค่าดังนี้

ความถี่หลักมูล (fundamental frequency) เท่ากับ 50.1 Hz

มีฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 เท่ากับ 8.28 %

ฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เท่ากับ 21.45 % (สูงสุด)

และฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 เท่ากับ 8.39 % ของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

ค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกทั้งหมดเท่ากับ 28.14 %

เทียบกับทฤษฎี สมการที่ 3.14-16 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 7.83 %

ฮาร์มอนิกที่ 5 เท่ากับ 23.58 %

ฮาร์มอนิกที่ 7 เท่ากับ 9.53 %

ถือได้ว่าผลที่วัดได้มีค่า สอดคล้องกับทฤษฎีที่ออกแบบไว้ ค่าของแรงดันที่อ่านได้จะถูกลดทอนไป 10 เท่า เนื่องจาก เครื่องมือที่ใช้สามารถ วัดแรงดันได้ไม่เกิน 100 Vrms แต่แรงดันใช้งานจริงเท่ากับ 220 Vrms จึงต้องใช้สายวัดที่มี การลดทอนแรงดันลง 10 เท่า

สรุป

1. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

รับแรงดัน ไฟตรงแรงดันต่ำ (11-14V) ทำการแปลงผันให้เป็นแรงดัน ไฟตรงแรงดันสูง สามารถจ่ายกำลังออกได้สูงถึง 150 วัตต์(เฉพาะ DC-DC) โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 76 % โดยสามารถคำนวณหา line regulation (ดูตารางที่ 5.8) และ load regulation (ดูตารางที่ 5.6 , 5.8)

$$\begin{aligned} \text{line regulation} &= (V_{o,14} - V_{o,11}) / V_{o,11} \quad ; \text{ (load 100W)} \\ &= (284.0 - 280.7) / 280.7 \\ &= 0.0118 \Rightarrow 1.2 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{load regulation} &= (V_{\text{NOLOAD}} - V_{\text{FULLLOAD}}) / V_{\text{FULLLOAD}} \\ &= (284.0 - 283.7) / 283.7 \quad ; (V_i = 12V) \\ &= 0.0011 \Rightarrow 0.11 \% \end{aligned}$$

2. วงจรอินเวอร์เตอร์

มีการตรวจสอบแรงดันด้านเข้า โดยให้วงจรเริ่มทำงานที่แรงดันมากกว่า 11 โวลต์ และหยุดทำงานเมื่อแรงดันเข้าสูงกว่า 14 โวลต์

จำกัดแรงดันออกไว้ไม่ให้มากกว่า 240 Vrms ตามพิสัย (198-240V) โดยแรงดันออกเป็นรูปเกือบสี่เหลี่ยม มีความถี่ 49-51 เฮิรตซ์ ประสิทธิภาพประมาณ 74% (โหลดตัวประกอบกำลังสูง)

จำกัดกระแสด้านออกสูงสุดโดยให้กำลังออกสูงสุดประมาณ 100 วัตต์

มีการตรวจวัดอุณหภูมิภายในกล่อง(ที่ Heatsink) ถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 80 องศาเซลเซียส วงจรทั้งหมดจะหยุดการทำงาน และมี LED แสดงผล

$$\begin{aligned} \text{line regulation} &= (V_{o,14} - V_{o,11}) / V_{o,11} \\ &= (220.9 - 218.3) / 218.3 \quad ; \text{ (load 100W)} \\ &= 0.0119 \Rightarrow 1.2 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{load regulation} &= (V_{\text{NOLOAD}} - V_{\text{FULLLOAD}}) / V_{\text{FULLLOAD}} \\ &= (223.2 - 220.4) / 220.4 \quad ; (V_s = 12V) \\ &= 0.0127 \Rightarrow 1.3 \% \end{aligned}$$

ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันไฟตรงให้เพิ่มขึ้น เช่น ใช้มอสเฟตที่มีการสูญเสียขณะนำกระแสต่ำ, ลดการสูญเสียที่หม้อแปลงลง, ลดแรงดันตกคร่อมวงจรเรียงกระแส จากที่ใช้ไดโอด 4 ตัว ให้ใช้ไดโอด 2 ตัวแทน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน
2. ควรเพิ่มกำลังด้านออกให้มากขึ้น โดยเพิ่มขนาดกำลังของอุปกรณ์ที่ใช้ ออกแบบวงจรให้สามารถจ่ายกำลังได้มากขึ้น
3. ควรปรับปรุงรูปคลื่นแรงดันออกให้สามารถลดฮาร์มอนิกที่สามให้มากขึ้น โดยใช้วงจรหารความถี่ที่มีความละเอียดมากขึ้น
4. ควรออกแบบกล่องให้มีขนาดเล็กลงอีก เพราะเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ต้องการความสะดวกในการตรวจวัดแรงดันที่จุดต่างๆ ทำให้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ถ้าออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ใหม่ ให้อุปกรณ์ทุกตัวอยู่บนแผ่นเดียวกัน ใช้แผ่นวงจรพิมพ์แบบสองหน้า และใช้อุปกรณ์แบบคิดผิวได้ทั้งหมด จะทำให้ปริมาตรโดยรวมมีขนาดลดลง