



รายงานประกอบการศึกษารายวิชา

ENE311 พื้นฐานการออกแบบผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

เรื่อง การออกแบบวงจร buck converter

สมาชิกในกลุ่ม

65070502406 นายกิตติภพ พันระชาติ

65070502424 นายนพมิตร พิววัชรไพศาล

65070502427 นางสาวนิรชา โพธิ์พ่วง

นำเสนอ

ดร.รวิวุฒิ ชุนอินทร์

ประจำภาคการศึกษาที่ 1/2567

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บันทึกปฏิบัติการการบัดกรีวงจรบนบอร์ด PCB

ให้นักศึกษาลงบันทึก วัน และเวลา ตั้งแต่การออกแบบใน KiCad ไปจนถึงการทดสอบวัดผล โดยระยะเวลาการทำงานทั้งหมด รวมแล้วไม่น้อยกว่า 9 ชั่วโมง

วันที่	เวลาเริ่ม	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	รายละเอียด
21 ก.ย.	20:00	2	วางแผนและประชุมแนวทางการออกแบบ PCB
22 ก.ย.	20:00	3	ทำการออกแบบวงจรใน KiCad และลงรันบน LTSpice
9 ต.ค.	8:30	1	ลิสต์รายการอุปกรณ์ที่ต้องซื้อ
14 ต.ค.	13:00	2	ซื้ออุปกรณ์ที่ต้องใช้ทั้งหมดตามลิสต์
25 ต.ค.	13:00	2	บัดกรีวงจรทั้งหมด
31 ต.ค.	13:00	1	ทำการทดสอบและบันทึกผล

1. คุณลักษณะของวงจร buck converter

Buck Converter เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าขาออก โดยวงจรนี้ใช้การควบคุมสวิตช์ความถี่สูงผ่าน MOSFET เพื่อจัดการการไหลของกระแสไฟฟ้าและพลังงาน การทำงานนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าต่ำและเสถียร เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาและระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม

ส่วนประกอบสำคัญในวงจร Buck Converter ประกอบด้วย MOSFET ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ควบคุมการเปิด-ปิดวงจร โดยมี Gating Block เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมสถานะการทำงานของ MOSFET ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์จัดการพลังงานที่ช่วยลดความผันผวนของแรงดันไฟฟ้าและทำให้กระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง นอกจากนี้ ไดโอดยังช่วยป้องกันกระแสย้อนกลับและให้กระแสไหลในทิศทางเดียวเมื่อ MOSFET ปิด

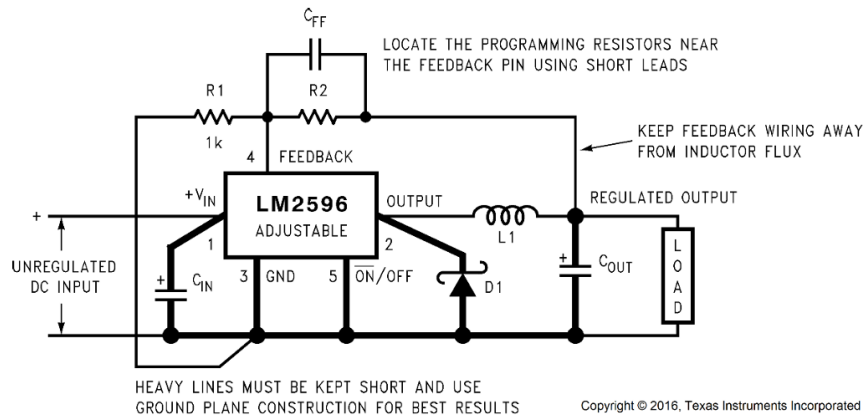
การทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงที่ MOSFET เปิด (Switch ON) และช่วงที่ MOSFET ปิด (Switch OFF) ในช่วงที่ MOSFET เปิด กระแสไฟจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก และจ่ายกระแสไปยังโหลด ในทางกลับกัน เมื่อ MOSFET ปิด ตัวเหนี่ยวนำจะปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ผ่านไดโอดไปยังโหลด กระบวนการนี้ทำให้เกิดการไหลของกระแสอย่างต่อเนื่องโดยแรงดันไฟฟ้าขาออกจะถูกปรับให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุ

กระบวนการแปลงแรงดันใน Buck Converter เริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ส่งกระแสไฟผ่านการควบคุมของ MOSFET โดยมีตัวเหนี่ยวนำและไดโอดทำหน้าที่จ่ายพลังงานอย่างต่อเนื่องถึงโหลดแม้ในช่วงที่ MOSFET ปิด ตัวเก็บประจุช่วยกรองแรงดันไฟฟ้าขาออกให้เรียบและนิ่ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและมีคุณภาพเหมาะสมต่อการใช้งาน

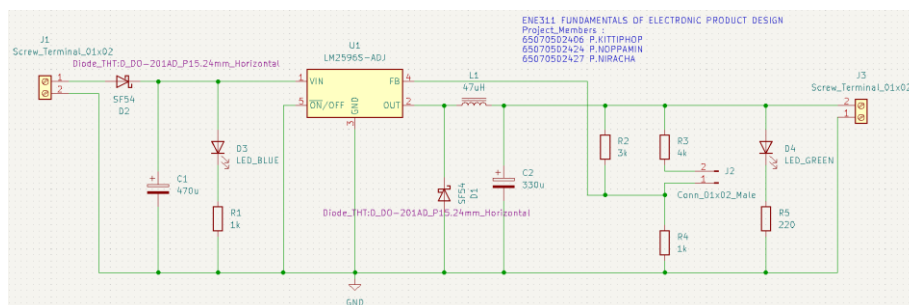
Buck Converter เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความสำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและตอบโต้ภัยการใช้งานในระบบที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าต่ำและมีเสถียรภาพ วงจรนี้อาศัยการควบคุมการเปิด-ปิดของ MOSFET ร่วมกับการจัดการพลังงานในตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูงและเหมาะสมต่อการใช้งานในระบบอิเล็กทรอนิกส์หลากหลายรูปแบบ

2. การออกแบบวงจรใน KiCad

2.1 ออกแบบวงจรตาม Datasheet ของ LM2596s : ในการบวนการนี้เราจะต่อวงจรตาม Datasheet ที่กำหนดโดยหลักการทำงานของวงจรจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่เข้าขา Feedback ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่อยู่ใน Datasheet



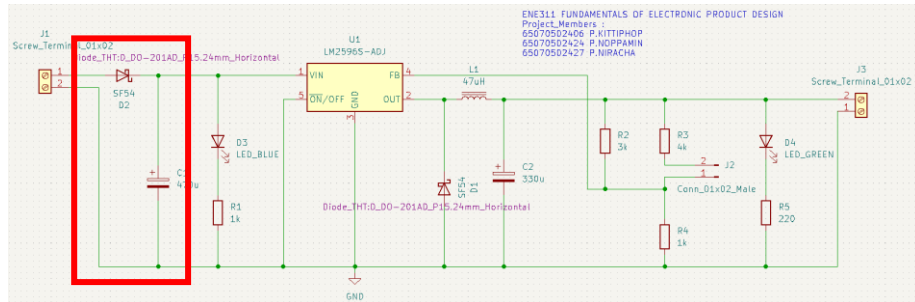
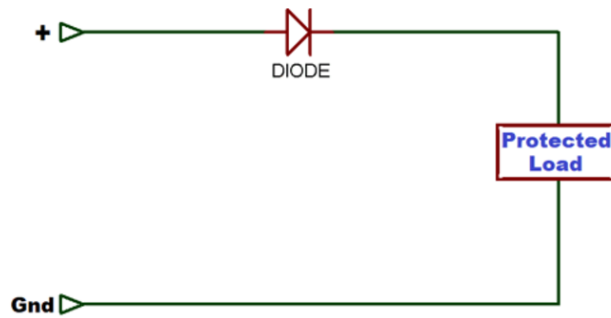
รูปที่ 1 LM2596 จาก Datasheet



รูปที่ 2 LTSpice ของวงจร

2.2 ออกแบบสำหรับเพิ่มจุดเด่นของวงจร LM2596s

2.2.1 Voltage polarity protection: ในการออกแบบ Voltage polarity protection เราจะใช้ Diode ที่มีความสามารถนำกระแสได้ทิศทางเดียวทำให้เราสามารถนำคุณสมบัตินี้ในการมาใช้เพื่อป้องกันการต่อไฟฟ้ากลับขั้วของผู้ใช้งาน



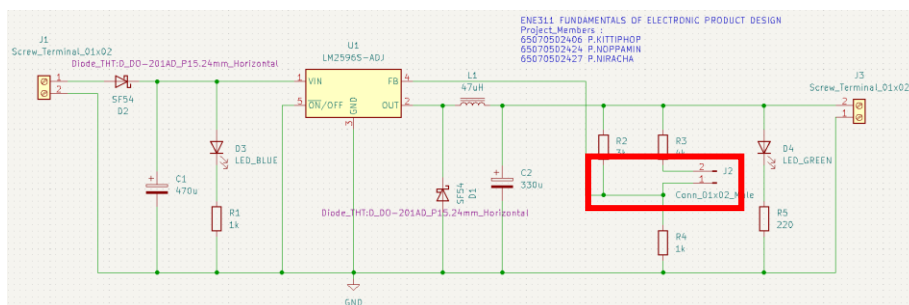
รูปที่ 3 Voltage polarity protection (จุดเด่นของวงจร)

2.2.2 Voltage Selection by Jumper : เราจะใช้หลักการเหมือนกับการกดสวิตช์ในการควบคุมแรงดันขาออกของวงจร โดยจะมีเงื่อนไขคือ

J2 - Short : $V_{out} = 3.3V$

J2 - Open : $V_{out} = 5V$

ในการเพิ่มหลักการนี้จะเหมาะสำหรับการเป็นแหล่งจ่ายให้กับระบบฝังตัว (Embedded System) ที่มีแรงดันใช้งานส่วนใหญ่ มีค่าเท่ากับ 3.3V และ 5V



รูปที่ 4 Voltage Selection by Jumper

2.3 คำนวณพารามิเตอร์ของวงจร LM2596s

ผลการคำนวณค่าความต้านทานของ Voltage Selection จาก ข้อ 2.2.2

Voltage Selection (3.3V, 5V.)

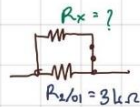
$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \text{ where } V_{REF} = 1.23 \text{ V}$$

Given $R_1 = 1k\Omega$, $V_{O1} = 5V$, $V_{O2} = 3.3V$.

$$R_{2/O1} = R_1 \left(\frac{V_{O1}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{5V}{1.23} - 1 \right) \approx 3k\Omega \rightarrow R_1$$

$$R_{2/O2} = R_1 \left(\frac{V_{O2}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{3.3}{1.23} - 1 \right) \approx 1.6k\Omega \text{ (3.196V)} \rightarrow 1.7k\Omega \text{ (3.32V)}$$

$$1.8k\Omega \text{ (3.444V)}$$



$$R_{eq} = R_x // R_{2/O1} = 1.7k\Omega = (R_x^{-1} + 3k^{-1})^{-1}$$

$$R_x = 3.923k\Omega \rightarrow \approx 3.9k\Omega? (R_{eq} = 1.695k\Omega)$$

$$\approx 4k\Omega? (R_{eq} = 1.714k\Omega)$$

$$V_{O2} = 3.338V$$

$$R_x = 4k\Omega \rightarrow R_2 \text{ (selected)}$$

รูปที่ 5 ผลการคำนวณค่าความต้านทานของ Voltage Selection

ผลการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำ(L)

Inductor Design

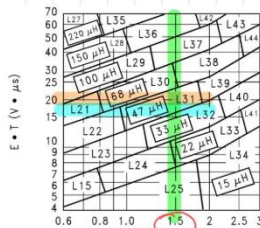


Figure 9-8. LM2596-ADJ

$$I_{L(max)} = 1.5A$$

$$V_{IN,max} = 12V, V_{SAT} = 1.16V, V_D = 0.5V$$

$$E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \left(\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \right) \left(\frac{1000}{150kHz} \right)$$

① $V_O = 3.3V$

$$E_1 \cdot T = (12 - 3.3 - 1.16) \left(\frac{3.3 + 0.5}{12 - 1.16 + 0.5} \right) \left(\frac{1000}{150k} \right)$$

$$E_1 \cdot T = 18.883 V \cdot \mu s$$

② $V_O = 5V$

$$E_2 \cdot T = (12 - 5 - 1.16) \left(\frac{5 + 0.5}{12 - 1.16 + 0.5} \right) \left(\frac{1000}{150k} \right)$$

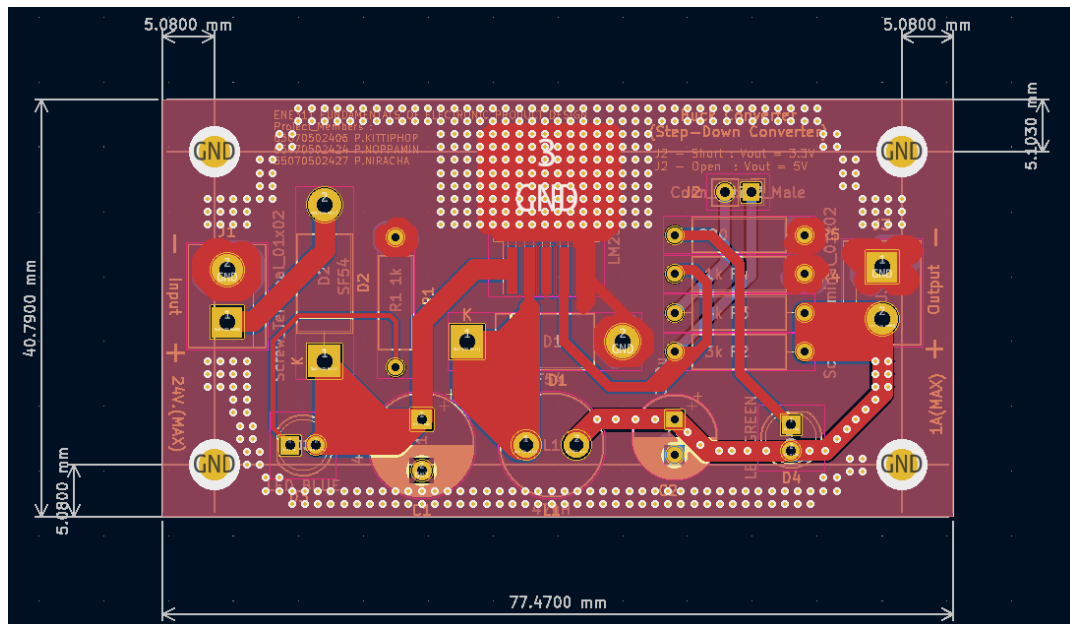
$$E_2 \cdot T = 16.844 V \cdot \mu s$$

$$* L \approx 47 \mu H$$

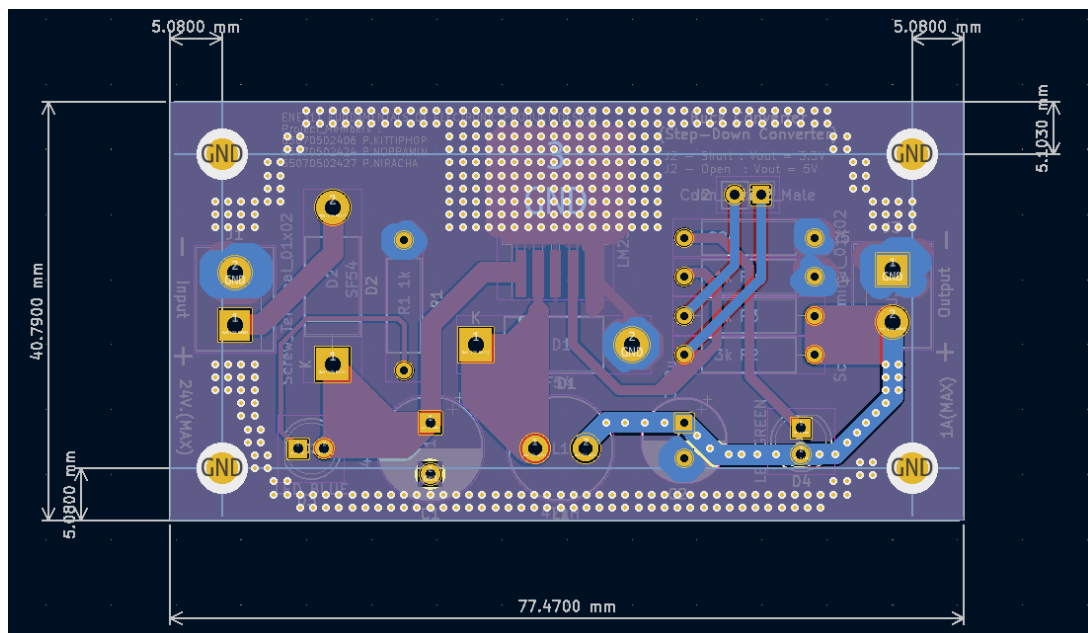
Power Inductors		Coil Selection Guide									
Inductance インダクタンス		DC Resistance 直流抵抗 (Ω)		DC saturation allowable current 直流許容電流 (A)		Temperature rise allowable current 温升許容電流 (A)					
Code	μH	T210	T212M	T212N	T212M	T212N	T212M	T212N	T212M	T212N	T212M
396	2.9			0.007	0.009						
407	4.7			0.008	0.009						
398	5.6			0.009	0.007						
408	6.8			0.010	0.007						
402	8.2			0.011	0.008						
100	10	0.009	0.031	0.030	0.023	0.028	0.021	0.012	0.009	7.00	5.00
120	12	0.043	0.031	0.030	0.026	0.032	0.024	0.013	0.010	7.00	5.00
150	15	0.046	0.043	0.036	0.028	0.039	0.028	0.015	0.011	5.30	4.00
180	18	0.048	0.048	0.038	0.029	0.040	0.031	0.016	0.012	4.80	3.80
220	22	0.006	0.052	0.042	0.032	0.048	0.035	0.018	0.014	4.20	3.40
270	27	0.007	0.068	0.046	0.037	0.056	0.041	0.021	0.016	4.00	3.10
330	33	0.002	0.087	0.057	0.044	0.065	0.046	0.027	0.021	3.50	2.70
390	39	0.001	0.072	0.053	0.048	0.067	0.050	0.030	0.023	3.40	2.50
470	47	0.13	0.086	0.070	0.060	0.088	0.068	0.036	0.028	2.90	2.20
560	56	0.14	0.108	0.078	0.065	0.094	0.082	0.041	0.032	2.80	2.10
680	68	0.19	0.142	0.092	0.071	0.096	0.080	0.045	0.033	2.50	1.90

รูปที่ 6 ผลการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำ (L)

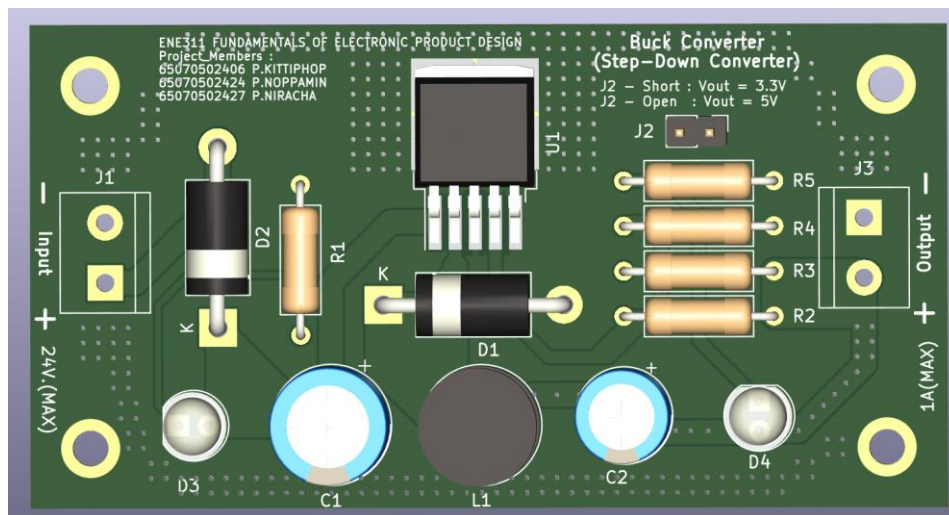
2.4 ผลการออกแบบ PCB ของวงจร LM2596s-Adj



รูปที่ 7 ผลการแบบ PCB (Top Layer)

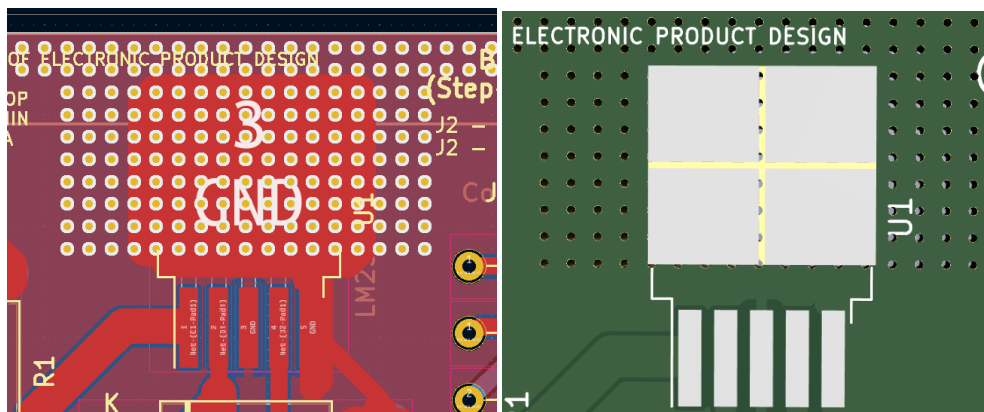


รูปที่ 8 ผลการแบบ PCB (Bottom Layer)



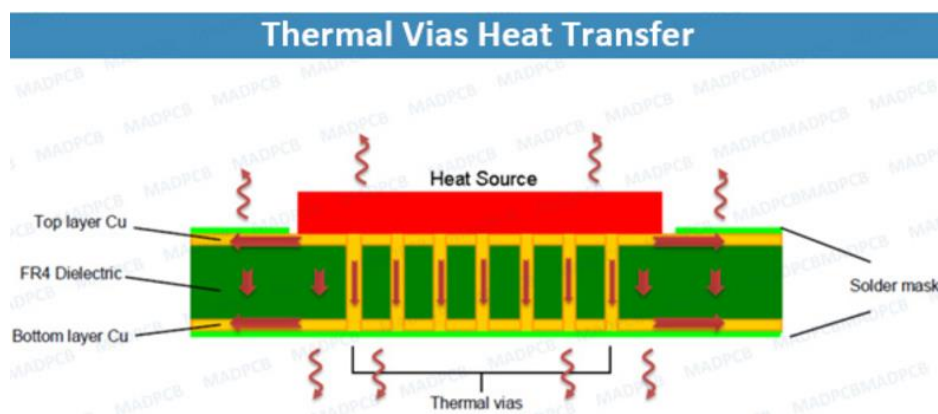
รูปที่ 9 ผลการแบบ PCB (3D View)

Design Techniques



รูปที่ 10 Design Techniques

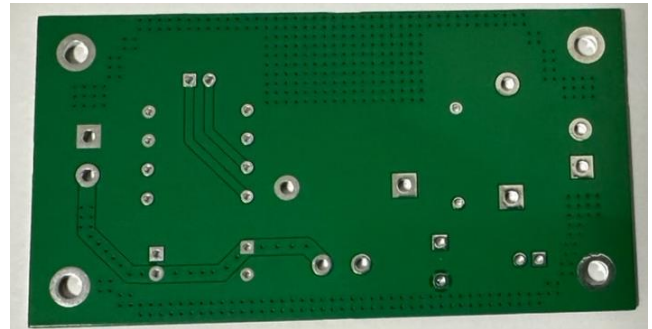
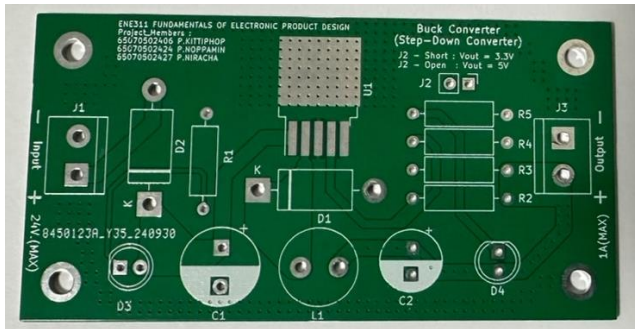
ในวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ามักเกิดพลังงานสูญเสียที่เป็นไปตามกระแสไฟฟ้า โดยพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้จึงต้องใช้เทคนิค Thermal Vias ที่จะส่งความร้อนผ่านรูโลหะ (Via) จึงทำให้ระบายความร้อนได้ไวและ เพิ่มอายุการใช้งาน



รูปที่ 11 Thermal Vias Heat Transfer

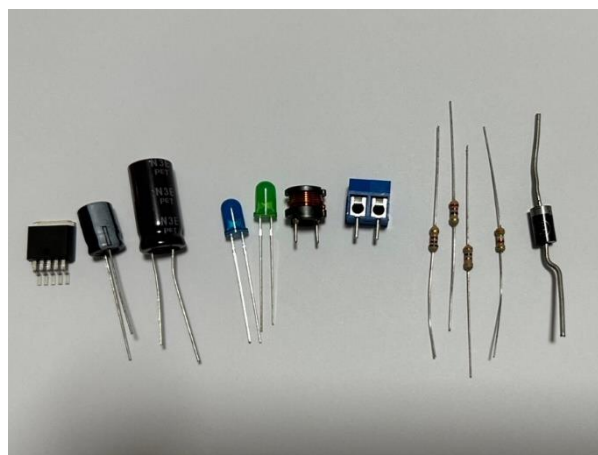
3. การตรวจทานและทดสอบความถูกต้อง

บอร์ด PCB ที่กลุ่มของคณะทำงานได้ทำการออกแบบในโปรแกรม Kicad และได้ทำการทดลองรันค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม LTSpice

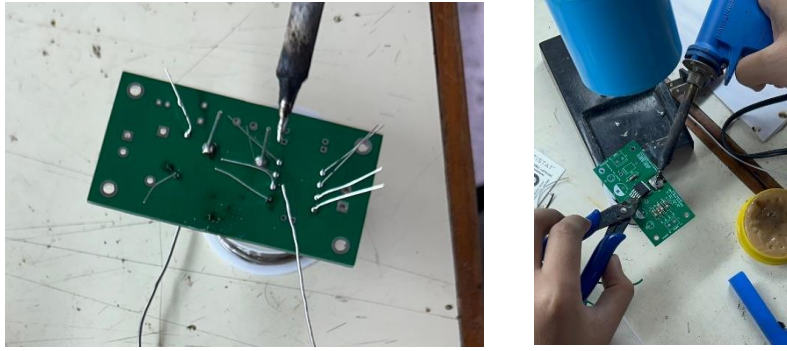


รูปที่ 12 PCB เริ่มต้นที่ได้ทำการออกแบบมา

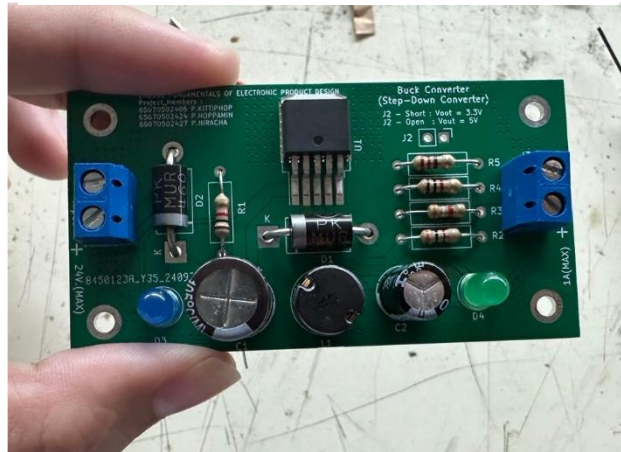
วิธีหรือแนวทางที่กลุ่มของคณะทำงานได้ทำคือเราจะทำการบัดกรีอุปกรณ์ที่เล็กไปใหญ่ โดยวิธีคือเอาหัวแร้งแตะที่ขาของอุปกรณ์ที่เราต้องการบัดกรีและให้เติมตะกั่วลงไป ในจุดที่เราต้องการเชื่อมต่อ ในขั้นตอนนี้อาจจะต้องระวังในการใช้งานเนื่องจากหัวแร้งมีความร้อนสูง อาจทำให้บอร์ด PCB เกิดการเสียหายได้ เมื่อทำการบัดกรีเสร็จแล้วทำความสะอาดและเช็คว่ามีตรงส่วนไหนที่เราทำการบัดกรีผิดพลาดหรือไม่



รูปที่ 13 อุปกรณ์ที่เราจะใช้ในการบัดกรี



รูปที่ 14 ทำการบัดกรี



รูปที่ 15 บอร์ด PCB ที่ทำการบัดกรีเสร็จสมบูรณ์

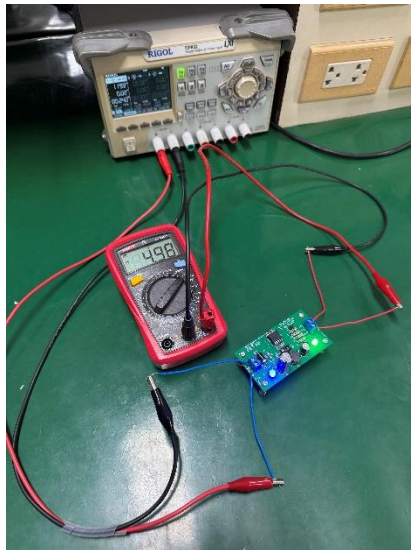
ปัญหาต่างๆ ที่พบเจอตลอดกระบวนการบัดกรีวงจร

ในขั้นตอนการบัดกรีนั้นพบปัญหาคือ :

- ในขั้นตอนการบัดกรีนั้นพบปัญหาคือ การที่เชื่อมจุดบัดกรีไม่ติดเนื่องจากบริเวณนั้นมีความสกปรกกลุ่มของคณะทำงานจึงใช้น้ำยาฟลักซ์เพื่อเช็ดทำความสะอาด และทำการบัดกรีต่อ
- เนื่องจากหัวแร้งมีความร้อนสูงจึงทำตะกั่วละลายเยอะมากเกินไป และการที่เราใช้ตะกั่วมากเกินไป ทำให้จุดบัดกรีไม่สวย กลุ่มของคณะทำงานจึงทำการบัดกรีจุดนั้นใหม่ โดยใช้ที่ดูดดูดตะกั่วส่วนเกินออก

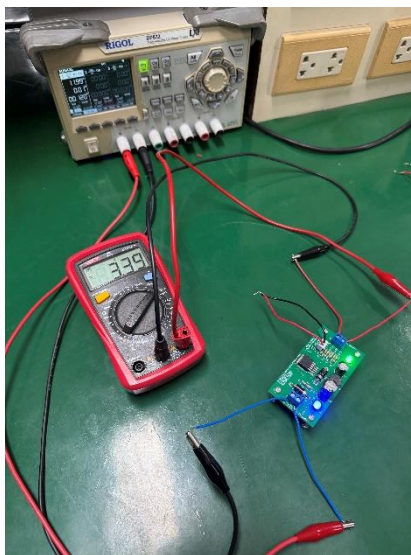
ขั้นตอนการทดสอบและบันทึกค่าต่าง ๆ

ทำการวัดค่า Output ของวงจรว่าได้ตามการคำนวณหรือไม่ โดยเราจะกำหนด Input เป็น 12V และใช้ Multimeter ในการวัดในครั้งนี้



รูปที่ 16 ทำการวัดค่า Output (Open-Circuit)

จากรูปที่ 16 เราได้ทำการวัดว่า Output แบบ Open-Circuit ทำการวัดค่าออกมาได้ 4.98V



รูปที่ 17 ทำการวัดค่า Output (Short-Circuit)

จากรูปที่ 17 เราได้ทำการวัดว่า Input แบบ Short-Circuit ทำการวัดค่าออกมาได้ 3.39V

4. สรุปผลการทำงาน

การออกแบบวงจร LM2596s- Adj. มีความยากในการจำลองการทำงานเนื่องจาก ไม่มี Spice – Model ในการทำ Simulation ดังนั้นในการออกแบบ จำเป็นต้องออกแบบตาม Datasheet โดยการออกแบบความต้านทานสามารถแทนค่าสมการได้อย่างสะดวกแต่สำหรับการเลือกค่าความเหนี่ยวนำต้องอาศัยการใช้หลักการ Look up Table ในการเลือกค่าความเหนี่ยวนำ โดยจะมีข้อจำกัดจากกระแสของตัวเหนี่ยวนำที่เลือกมา , สำหรับการออกแบบ PCB ในขั้นตอนแรงจะเป็นการวาง Layout โดยจะแบ่งส่วนที่ LM2596s-adj เป็นส่วนที่มีความร้อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ **Thermal Vias Technique** ซึ่งจะทำให้มีการระบายความร้อนได้ดีและเพิ่มอายุการใช้งานของวงจร , ในการออกแบบจุดเด่น (Features)ของวงจร คือ

Voltage polarity protection : ช่วยให้ป้องกันการกลับขั้วของแหล่งจ่าย

Voltage Selection by Jumper : ช่วยในการประยุกต์ใช้งานกับระบบฝังตัว(Embedded System)

นอกจากในการออกแบบจุดเด่นของวงจร,ยังมีขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ที่ทุกอุปกรณ์ถูกอ้างอิงจาก **Electronic Source** ทำให้ในกระบวนการประกอบและบัดกรีวงจร ไม่มีปัญหา แต่ในขั้นตอนนี้มีความยากลำบากในการบัดกรีสำหรับอุปกรณ์ SMD เพราะ LM2596s จะมีพื้นที่ผิวการระบายความร้อนเยอะทำให้การบัดกรีต้องใช้เวลาในการบัดกรีให้ที่พื้นที่ผิวติดกับ PCB

กระบวนการทดสอบวงจรพบว่า วงจรทำงานเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เป็นเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทาน 5% เมื่อใช้ในระบบจะมีความคลาดเคลื่อนสะสมจนทำให้แรงดันที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบจริงไปเล็กน้อย