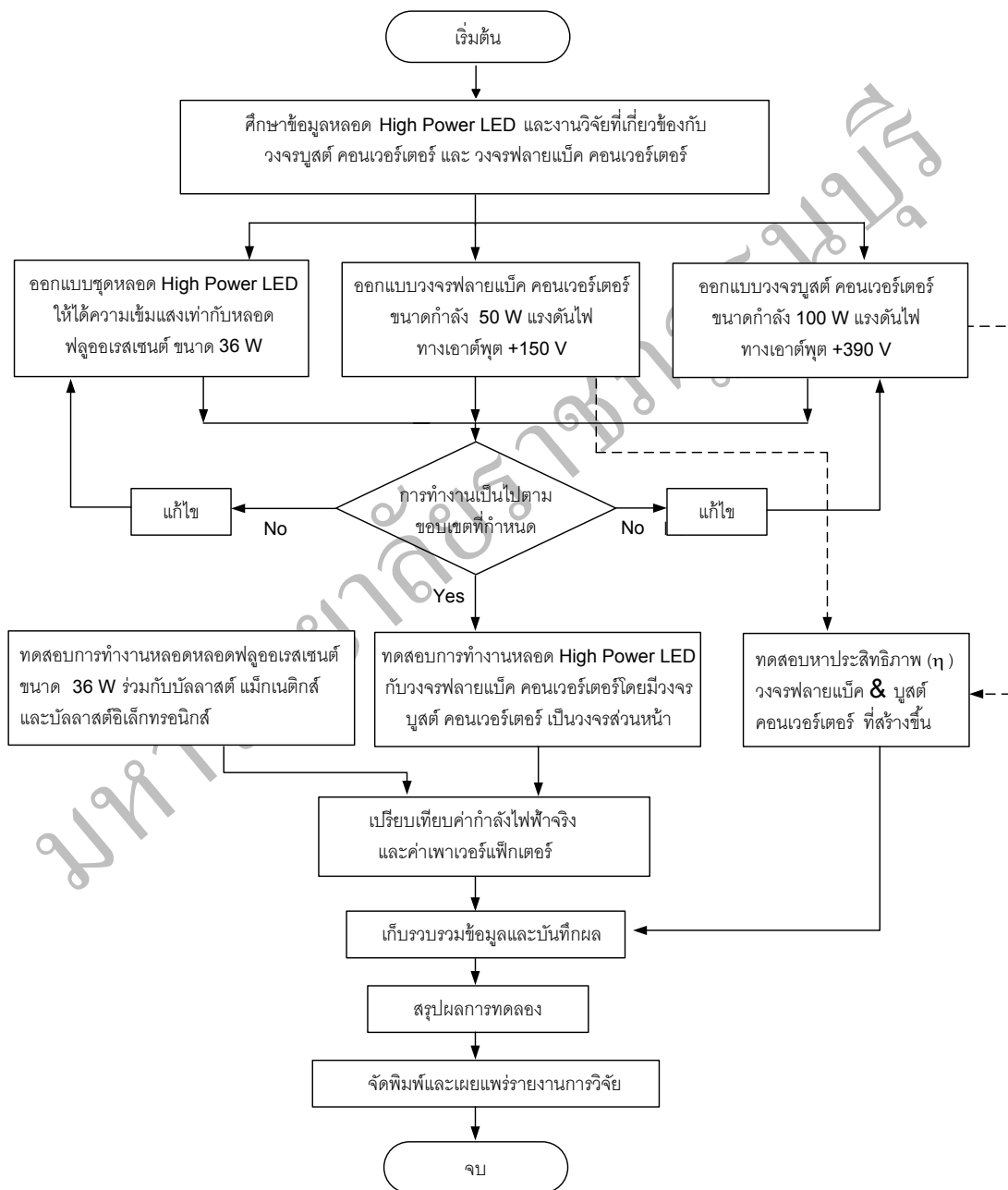


บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 1 ด้วยวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนหน้าวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้



ภาพ 55 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

1. ลักซ์มิเตอร์ ยี่ห้อ Digital Meter	8 เครื่อง
2. มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Sunwa รุ่น RD701	6 เครื่อง
3. ออสซิลโลสโคป 4 ช่อง ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TPS2014B	1 เครื่อง
4. แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ AC ปรับแรงดันได้ 0 V – 260 V	1 เครื่อง
5. เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ Energy Monitor 3000	1 เครื่อง
6. ความต้านทานแบบขดลวดปรับค่าได้ 0 – 2 k Ω ขนาด 100 W	2 ตัว
7. ความต้านทานแบบขดลวดปรับค่าได้ 0 – 500 Ω ขนาด 100 W	2 ตัว

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าสัญญาณทางไฟฟ้า จากวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W และจากหลอด LED กำลังสูงดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่าความเข้มแสง และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ของวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W แบบแฟคคู่ที่ใช้แม่กเนติกส์บัลลาสต์และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์

2. ข้อมูลทางไฟฟ้าของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W และวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เมื่อใช้โหลดเป็นตัวต้านทาน

3. ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่าความเข้มแสง และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของหลอด LED กำลังสูงแบบแฟคคู่ที่ขับด้วยชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์

ข้อมูลทางไฟฟ้างกล่าว จะเก็บรวบรวมเพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (η) ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W และฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เมื่อใช้โหลดเป็นตัวต้านทาน จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) ทางด้านอินพุตไฟสลับ 220 V, 50 Hz และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ($\cos\phi$) ระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ขับด้วยแม่กเนติกส์บัลลาสต์และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์กับหลอด LED กำลังสูงที่ขับด้วยชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (Mean: \bar{X}) แล้วสรุปออกมาเป็นค่าร้อยละ (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2551)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

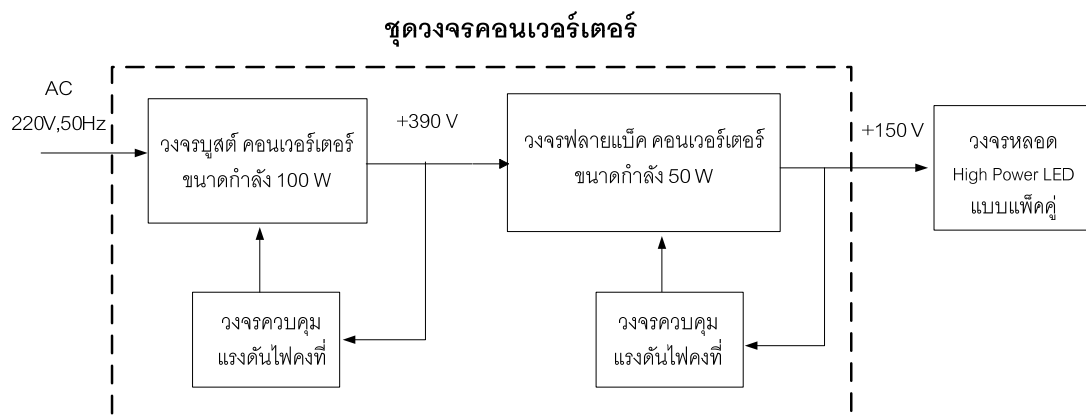
n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\text{ร้อยละ(\%)} = \frac{X}{n} \times 100$$

X คือ จำนวนข้อมูลที่ต้องการนำมาหาค่าร้อยละ

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 1 ด้วยวงจรรีบชุด คอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนหน้าวงจร ฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูง แทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 36 W แบบแพ็คคู่ ที่ใช้แม่กเนติกส์บัลลาสต์และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์เป็นตัวจ่ายกำลังงานนั้น ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการนี้จะเริ่มต้นจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V, 50 Hz ผ่านการเรียงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงประมาณ +390 V ด้วยวงจรรีบชุด คอนเวอร์เตอร์ จากนั้นจึงจ่ายเข้าสู่วงจร ฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงแรงดันไฟให้ต่ำลงปรับค่าได้ +150 V จ่ายกระแสได้ไม่น้อยกว่า 0.5 A โดยมีวงจรควบคุมแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุต ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา ก่อนส่งเข้าสู่ชุดวงจรหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่เพื่อขับให้หลอด LED เปล่งแสงสว่างอย่างคงที่โดยมีค่าความเข้มแสงเทียบเท่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 36 W แบบแพ็คคู่



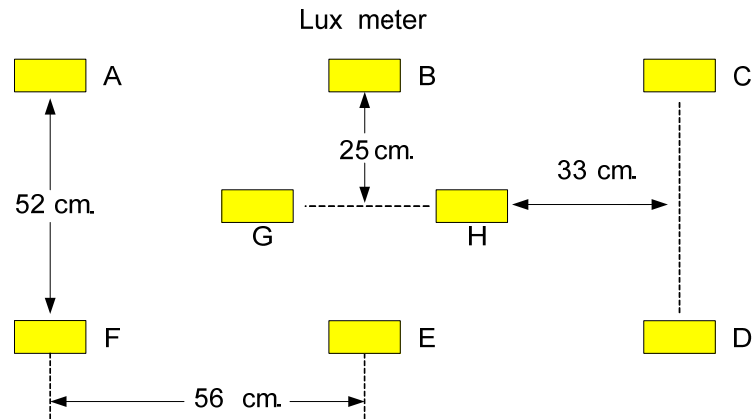
ภาพ 56 บล็อกไดอะแกรมชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ใส่ไว้ในวงจรส่วนหน้าฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่

การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 1 ด้วยวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนหน้าฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูง มีขั้นตอนในการสร้างและออกแบบวงจรต่างๆ ดังนี้

1. วงจรชุดหลอด LED กำลังสูง
2. วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W
3. วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W

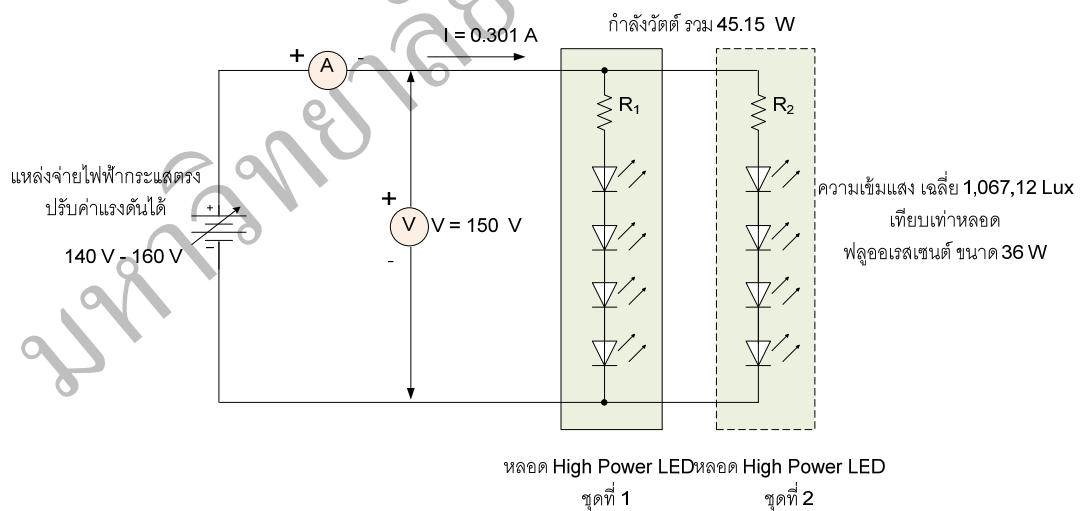
การออกแบบวงจรชุดหลอด LED กำลังสูง

เมื่อทดสอบค่าความเข้มแสงที่ได้จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W แบบแพ็คคู่ที่ขับด้วยแมกเนติกส์บัลลาสต์และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ ที่แรงดันไฟ AC 220 V, 50 Hz ในห้องที่มีมิติ ผลการทดสอบวัดค่าความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W แบบแพ็คคู่ ตามจุด A,B,C,D,E,F,G และ H ทั้ง 8 ตำแหน่ง ตามลักษณะความยาวของหลอดที่ระดับความสูง 1 เมตร ดังภาพที่ 48 รวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย พบว่า เมื่อใช้แมกเนติกส์บัลลาสต์และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย เท่ากับ 1,030.5 Lux และ 723 Lux ตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกค่าความเข้มแสงเฉลี่ย เท่ากับ 1,030.5 Lux จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ขับด้วยแมกเนติกส์บัลลาสต์ เป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบค่าความเข้มแสงที่ได้จากหลอด LED กำลังสูง สำหรับค่าทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W ที่ขับด้วยแมกเนติกส์บัลลาสต์และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ แสดงไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 57 ตำแหน่งการวาง Lux Meter เพื่อวัดค่าความเข้มแสงที่ระดับความสูง 1 เมตร

ผู้วิจัยใช้หลอด LED กำลังสูง ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดและติดตั้งให้มีขนาดความยาวใกล้เคียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 36 W จำนวน 2 หลอด (แพ็คเกจคู่) ซึ่งแต่ละหลอดภายในจะมี LED ทั้งสิ้นจำนวน 96 ดวง แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าแรงดันได้ระหว่าง 140 V - 160 V จ่ายให้กับหลอด LED กำลังสูง โดยให้ค่าความเข้มแสงจากหลอด LED กำลังสูง มีค่าเทียบเท่ากับค่าความเข้มแสงที่ได้จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W ที่อ้างอิงไว้ในระดับความสูงที่เท่ากัน



ภาพ 58 วงจรทดสอบค่าความเข้มแสงจากหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คเกจคู่ในเบื้องต้น ด้วยการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้จากภายนอก

จากการทดสอบเบื้องต้น เมื่อต่อหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่ ตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ แรงดันไฟ +150 V และวัดค่าความเข้มแสงเฉลี่ยได้ เท่ากับ 1,067.12 Lux พบว่า ใช้กระแสเท่ากับ 0.301 A สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่หลอด LED กำลังสูง หาได้จาก

$$P = V \times I$$

$$P = 150 \text{ V} \times 0.301 \text{ A}$$

$$\therefore P = 45.15 \text{ W} \cong 45 \text{ W}$$

นั่นคือ ชุดหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่ที่สร้างขึ้น ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{DC} เท่ากับ 150 V กระแส 0.301 A ใช้กำลังไฟฟ้า ประมาณ 45 W ส่งผลให้หลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่ เปล่งแสงสว่างโดยให้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย เท่ากับ 1,067.12 Lux ซึ่งมากกว่า 1,030.5 Lux จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 W ที่ขับเคลื่อนด้วยบัลลาสต์แม่เหล็กเนติกส์ อยู่ 3.55 %



ภาพ 59 ภาพถ่ายจริงชุดวงจรหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คคู่ ที่ใช้ในการทดสอบ

การออกแบบวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W

ผลจากการทดสอบในเบื้องต้น เมื่อใช้แรงดันไฟตรง 150 V ขับด้วยกระแส 0.301 A ให้กับ ชุดวงจรหลอด LED กำลังสูงทำให้ได้ความเข้มแสงเฉลี่ย เท่ากับ 1,067.12 Lux ซึ่งมากกว่าหลอด ฟลูออเรสเซนต์ ขนาดกำลัง 36 W อยู่ 3.55 % คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต เท่ากับ 45 W การออกแบบวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ควรเผื่อไว้มากกว่าที่โหลดต้องการ 10 % ดังนั้นผู้วิจัย จึงได้ออกแบบสร้างวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ให้แรงดันไฟทางเอาต์พุต +150 V จ่ายกระแสได้ไม่ต่ำกว่า 0.3 A ซึ่งเงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบกำหนดไว้ดังนี้

ตาราง 6 เงื่อนไขการออกแบบวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W

Condition of the Experiment	
Input Voltage	300-390 V _{AC}
Output Voltage	150 V
Output Power	50 W
Switching Frequency	100 kHz
Duty Cycle	0.3
V _{DS (on)}	1.4 V
V _D	1.5 V
Low Voltage	300 V _{DC}
High Voltage	390 V _{DC}
Efficiency	80%
Ferrite Core	EE30A
A _e	1.103
ΔB _(max)	2000 G

เมื่อกำหนดความถี่ในการสวิตช์ $f_{(s)} = 100 \text{ kHz}$ ค่าของคาบเวลา (T) จะมีค่าเท่ากับ

$$T = \frac{1}{f_{(s)}}$$

$$= \frac{1}{25 \text{ kHz}}$$

$$\therefore T = 40 \mu\text{s}$$

เมื่อค่า D = 0.3 จะหาค่า t_{on} ได้ดังนี้

$$t_{\text{on}} = \frac{40 \mu\text{s} \times 0.3}{100}$$

$$= 12 \mu\text{s}$$

ที่ Duty Cycle (D) = 0.3 นั่นคือ ค่าช่วงเวลานำกระแส t_{on} จะเท่ากับ 12 μs

ขั้นตอนการออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ หาได้ดังนี้
(สุวัฒน์ แซ่ตัน, 2538)

การหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ จากสมการที่ (2.28)

และเมื่อกำหนด ค่าแรงดันเอาต์พุต V_{out} เท่ากับ +150 V

$$\begin{aligned}\frac{N_p}{N_s} &= \frac{t_{on}(V_{in(min)} - V_{DS(on)})}{(V_o - V_D)(0.8T - t_{on})} \\ &= \frac{(12 \times 10^{-6})(300 - 1.4)}{(150 - 1.5)[0.8(40 \times 10^{-6}) - (12 \times 10^{-6})]} \\ \frac{N_p}{N_s} &= 3.23\end{aligned}$$

การหาค่าความเหนี่ยวนำ (L_p) ของขดลวดด้านปฐมภูมิ จากสมการที่ (2.26)

$$L_p = \frac{\eta[(V_{in(min)} - V_{DS(sat)})t_{on(max)}]^2}{2TP_{out}}$$

กำหนดให้ $t_{on(max)}$ เท่ากับ 50 % หรือ 5 μs

$$L_p = \frac{0.8[(300 - 1.4) \times (5 \times 10^{-6})]^2}{2 \times (40 \times 10^{-6}) \times 50} = 1.41 \text{ mH}$$

จะได้ค่าความเหนี่ยวนำ เท่ากับ 1.41 mH

การหาค่ากระแส (I_p) สูงสุดของขดลวดด้านปฐมภูมิ จากสมการที่ (2.23)

$$\begin{aligned}I_p &= \frac{(V_{in(min)} - V_{DS(sat)})t_{on(max)}}{L_p} \\ I_p &= \frac{(300 - 1.4)(5 \times 10^{-6})}{(1.41 \times 10^{-3})} = 1.085 \text{ A}\end{aligned}$$

จะได้ค่ากระแส (I_p) สูงสุด เท่ากับ 1.058 A

การหาจำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ (N_p) จากสมการที่ (2.27)

$$N_p = \frac{(V_{in(min)} - V_{DS(sat)})t_{on} \times 10^8}{\Delta B_{max} A_e}$$

กำหนดให้ $\Delta B_{max} = 2,000$ เกาส์ และแกนเฟอร์ไรท์ EI 30 ค่า $A_e = 110.3$
 $\text{mm}^2 = 1.1 \text{ cm}^2$ ดังนั้น

$$N_p = \frac{(300 - 1.4)(12 \times 10^{-6}) \times 10^8}{2,000 \times 1.1} = 162.87$$

จะได้จำนวนรอบ เท่ากับ 162.87 รอบ ; ในทางปฏิบัติใช้ 163 รอบ

ขดลวดทองแดงที่ใช้มีหน่วยเป็น เซอร์คูลาร์มิล (Circular mil, c.m.) เทียบเบอร์เป็น AWG ได้จากตารางในภาคผนวกท้ายเล่ม เป็นผลคูณระหว่างกระแสและค่าความหนาแน่นของกระแส (γ) มีหน่วยเป็น เซอร์คูลาร์มิลต่อแอมแปร์ (c.m. / A) ดังสมการที่ (2.25)

$$\text{c.m.} = I \times \gamma$$

ค่าของความหนาแน่นของกระแส ที่สามารถใช้ได้โดยที่ขดลวดทองแดงไม่เสียหายเนื่องจากความร้อน มีค่าไม่ต่ำกว่า 200 เซอร์คูลาร์มิลต่อแอมแปร์ เพื่อความปลอดภัยจึงกำหนดเอาไว้เป็น 400 เซอร์คูลาร์มิลต่อแอมแปร์ ดังนั้นขนาดขดลวดทองแดงที่ใช้พันหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิมีขนาด $400 \times 1.05 \text{ A} = 420$ เซอร์คูลาร์มิล เนื่องจากค่าความหนาแน่นของกระแสเมื่อนำมาเทียบเบอร์เป็น AWG จากตารางในภาคผนวก จึงเลือกขนาดขดลวดทองแดงขนาด AWG 23 (511 เซอร์คูลาร์มิล) เพราะขดลวดทองแดงมีค่าความหนาแน่นของกระแสใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้

การหาจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิ (N_s) จากสมการที่ (2.28)

$$\frac{N_p}{N_s} = 3.23 \quad ; \quad \text{ขดลวด } (N_p) = 163 \text{ รอบ}$$

$$N_s = \frac{163}{3.23}$$

$$\therefore N_s = 50.46 \text{ รอบ} ; \text{ ในทางปฏิบัติใช้ 50 รอบ}$$

หาขนาดเส้นลวดทองแดงที่ใช้พันหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ มีขนาด $400 \times 0.3 \text{ A} = 120$ เซอร์คูลาร์มิล เทียบเบอร์เป็น AWG 29 (128 เซอร์คูลาร์มิล) จากตารางในภาคผนวก หรืออาจใช้ลวดเบอร์อื่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่าพันคู่ขนานไปก็ได้

การหาระยะช่องอากาศ (I_g) จากสมการที่ (2.24)

$$I_g = \frac{4\pi A_e N_p^2 \times 10^{-8}}{L_p}$$

$$= \frac{4\pi \times 1.1 \times 163^2 \times 10^{-8}}{1.41 \times 10^{-3}}$$

$$I_g = 0.026 \text{ mm}$$

การหาคาปาซิเตอร์ $C_{(out)}$ ทางด้านเอาต์พุต

คาปาซิเตอร์ $C_{(out)}$ ทางด้านเอาต์พุต จะทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับหลอด LED กำลังสูง ในช่วงขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแส เพื่อเป็นการลดแรงดันกระแสที่เอาต์พุตให้น้อยลง

คาปาซิเตอร์จึงต้องมีค่าความจุมากพอที่จะสามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้ เมื่อกำหนดให้วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ให้แรงดันไฟ V_{DC} เอาต์พุต +150 V นั่นคือกระแสด้านเอาต์พุตสูงสุด จะเท่ากับ

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{50 \text{ W}}{150 \text{ V}} = 0.333 \text{ A}$$

เมื่อกำหนดให้แรงดันริบเปิล เท่ากับ 50 mV_{p-p} ค่าความจุของคาปาซิเตอร์ $C_{(out)}$ หาได้จากสมการที่ (2.34)

$$\begin{aligned} C_{out} &= \frac{I_{out} \times t_{on}}{V_{ripple}} \\ &= \frac{0.33 \text{ A} \times (12 \times 10^{-6})}{50 \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

$$\therefore C_{out} = 79.20 \text{ } \mu\text{F} \quad ; \text{ ในทางปฏิบัติให้ใช้ค่า } 100 \text{ } \mu\text{F}/160 \text{ V}$$

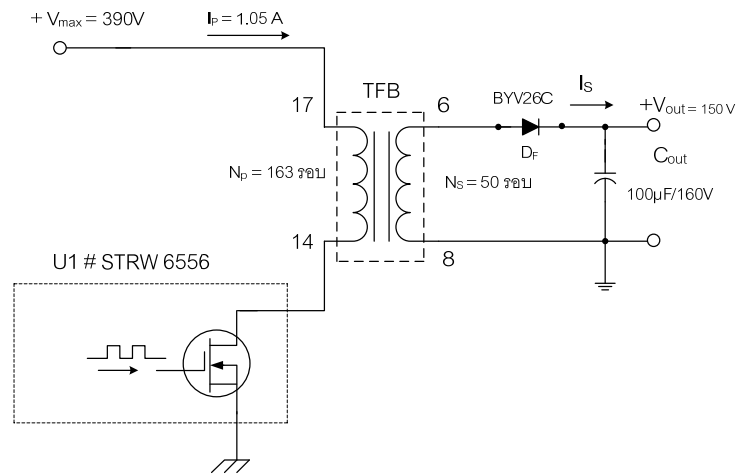
การหาไดโอด (D_F) ความถี่สูงด้านเอาต์พุต

ไดโอดเรกติไฟเออร์หรือไดโอดเรียงกระแสด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ นั้น ไดโอดที่ใช้จะต้องเป็นไดโอดที่สามารถทำงานในย่านความถี่สูงๆ ได้ดีทั้งนี้เพื่อให้ทันเวลากับลูกคลื่นพัลส์ความถี่สูงที่ได้จากการสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟตในส่วนหน้า กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดโดยคิดให้เพียง 1.5 เท่าขณะนำกระแส หาได้จากสมการที่ (2.31)

$$\begin{aligned} I_{FM} &= \frac{1.5 I_{out}}{1-D} \\ &= \frac{1.5 \times 0.33 \text{ A}}{1-0.3} \end{aligned}$$

$$\therefore I_{FM} = 0.70 \text{ A}$$

ไดโอดความถี่สูงสำหรับเรียงกระแสด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W จะต้องสามารถทนกระแสสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 0.70 A ขณะนำกระแส ดังนั้นจึงเลือกใช้ Dual Diode เบอร์ BYV26C ซึ่งทนแรงดันได้ 600 V ที่กระแสเฉลี่ย 1 A และสามารถเรียงกระแสที่ความถี่สูงได้ดี



ภาพ 60 วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ที่ได้จากการออกแบบ

การออกแบบวงจรชุดควบคุมแรงดัน และกระแสที่

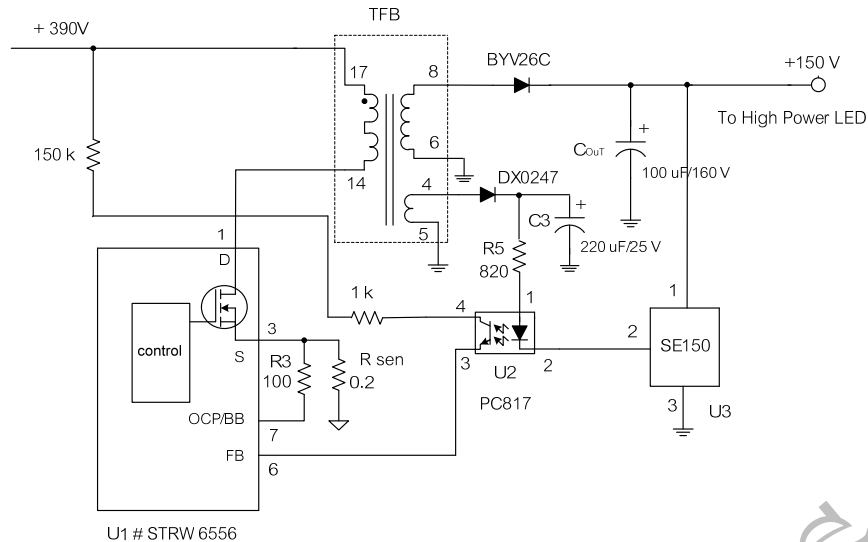
การออกแบบวงจรผลิตความถี่พัลส์รูปสี่เหลี่ยมความถี่สูง เพื่อใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสตัดต่อแรงดันไฟตรง V_{in} นั้น ในโครงงานนี้ใช้ไอซีเบอร์ STRW6556 ซึ่งเป็นไอซีพัลส์วิดธ์มอดูเลชัน (PWM) ที่สามารถควบคุมความกว้างแคบของพัลส์ที่จะใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตที่อยู่ภายในไอซีได้ในขณะความถี่ยังมีค่าคงที่

วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W จ่ายแรงดันไฟเอาต์พุต +150 V กระแสเอาต์พุตมากกว่า 0.3 A ส่วนความต้านทาน R_{SEN} ที่ต่อระหว่างขา Source ของเพาเวอร์มอสเฟต Q_1 กับกราวด์ เมื่อกำหนดให้กระแสไหลมากกว่า 5 A หาได้จากสมการ (2.36)

$$I_{PEAK(max)} = \frac{1V}{R_{SEN}}$$

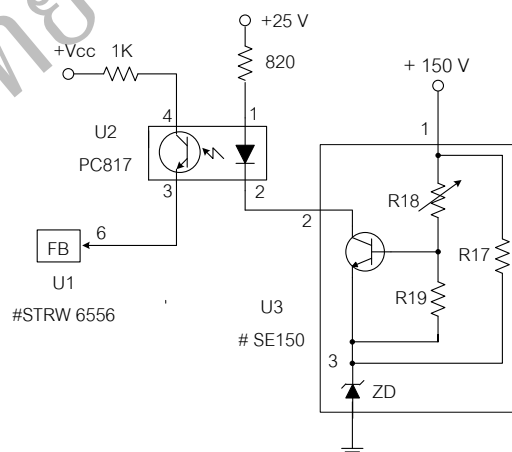
$$R_{SEN} = \frac{1V}{5A}$$

$$\therefore R_{SEN} = 0.2 \Omega ; \text{ในทางปฏิบัติใช้ค่า } 0.22 \Omega$$

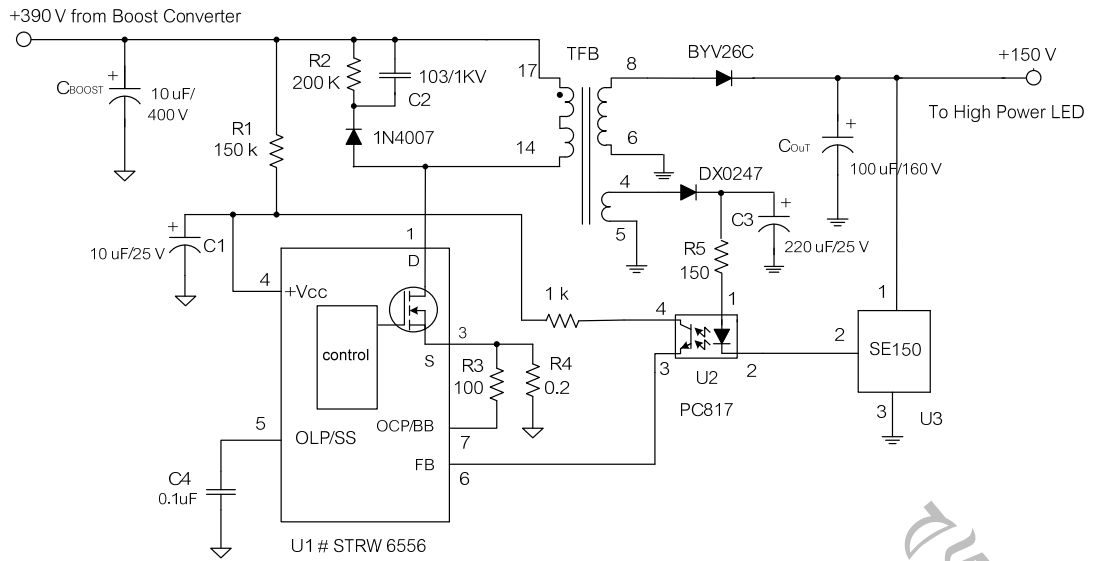


ภาพ 61 วงจรป้องกันกระแสไหลเกิน 5 A ด้วยความต้านทาน R_{SEN} 0.2 Ω ที่ขา Source

สำหรับวงจรเอร์เรอร์แอมป์ (Error Amp) ใช้ไอซี U_3 เบอร์ SE150 ซึ่งเป็นไอซี Shunt Regulator (Fairchild Semiconductor, 2004) ภายในประกอบด้วยตัวความต้านทานและทรานซิสเตอร์ โดยมีแรงดันไฟอ้างอิงต่ออยู่ทางด้านขา E ของทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ขา B รับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟทางด้านเอาต์พุต +150 V ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงไปตามสภาวะโหลด โดยมี R18, R19 และ R17 เป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟ (Voltage Divider) อยู่ภายในตัวไอซี U_3 ดังภาพที่ 62



ภาพ 62 วงจรเอร์เรอร์แอมป์ที่ใช้ไอซี เบอร์ SE150 ควบคุมแรงดันไฟ +150 V ทางเอาต์พุตให้คงที่



ภาพ 63 วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ที่ใช้ขับหลอด LED กำลังสูง



ภาพ 64 ภาพถ่ายจริงวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ที่ใช้ทดสอบ

การออกแบบวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W

เมื่อกำหนดให้วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูง การออกแบบวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นส่วนหน้าเพื่อให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ($\text{Cos}\phi$) มีค่าเป็น 1 จึงต้องมีกำลังขับที่มากกว่า 1-2 เท่า ดังนั้นจึงกำหนดให้วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ มีขนาดกำลัง 100 W และให้แรงดันไฟตรงทางด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ เท่ากับ +390 V ประสิทธิภาพ (η) ของวงจร เท่ากับ 90% ลำดับขั้นตอนการออกแบบวงจรเป็นดังนี้

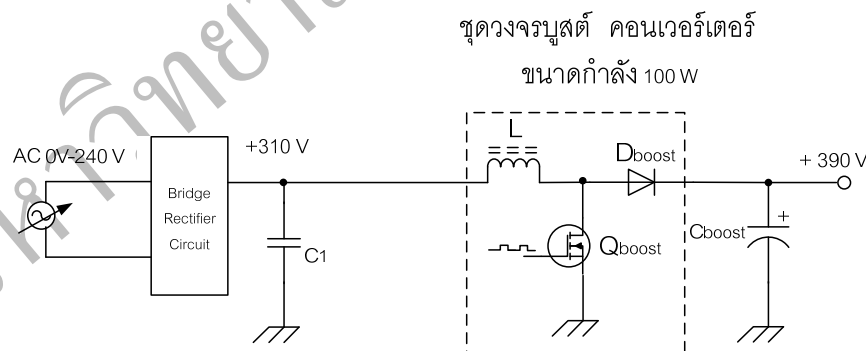
1. การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต

ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ จะหาได้จากสมการที่ (2.40)

$$\begin{aligned} P_{in(max)} &= \frac{P_{o(max)}}{\eta} \\ &= \frac{100 \text{ W}}{0.9} \end{aligned}$$

$$\therefore P_{in} = 110.10 \text{ W} ; \text{ประมาณ } 110 \text{ W}$$

นั่นคือ ต้องสร้างวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W ใส่ไว้ในวงจรส่วนหน้าของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W แสดงดังภาพที่ 65



ภาพ 65 วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W เป็นวงจรส่วนหน้า ช่วยทำให้ค่า

เพาเวอร์แฟกเตอร์ ($\text{Cos}\phi$) มีค่าเข้าใกล้ 1

เมื่อกำหนดให้ค่า เพาเวอร์แฟกเตอร์ ($\text{Cos}\phi$) = 0.9 ดังนั้น ค่ากระแส RMS สูงสุดทางด้านไฟสลับ AC ด้านขาเข้า จะคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.41

$$I_{in(rms)max} = \frac{P_{o(max)}}{\eta_{min}(V_{in(rms)})PF}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore I_{in(rms)max} = \frac{100 \text{ W}}{0.9(80V)0.9} = 1.54 \text{ A}$$

เช่นเดียวกับค่ากระแส Peak สูงสุด $I_{in(pk)max}$ หาได้จากสมการ 2.42

$$I_{in(pk)max} = \frac{\sqrt{2} (P_{in(max)})}{V_{in(rms)min}}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore I_{in(pk)max} = \frac{\sqrt{2} \times (110 \text{ W})}{80 \text{ V}} = 1.94 \text{ A}$$

2. การคำนวณหาค่าขดลวดเหนี่ยวนำ L_{BST}

ในวงจรบัส คอนเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปกำหนดค่า รีปเปิลแฟกเตอร์ ΔI_L ไม่เกิน 20 % ของของค่ากระแส Peak สูงสุดทางด้านไฟสลัป AC ซึ่งค่า ΔI_L หาได้จากสมการ 2.43

$$\Delta I_L = 0.2 \times I_{in(pk)max}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore \Delta I_L = 0.2 \times 1.94 \text{ A} = 0.38 \text{ A}$$

ค่ากระแส Peak สูงสุดของขดลวดเหนี่ยวนำทางด้านไฟสลัป AC หรือ $I_{LBST(pk)max}$ สามารถหาได้จากสมการ 2.44

$$I_{LBST(pk)max} = I_{in(pk)max} + \frac{\Delta I_L}{2}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore I_{LBST(pk)max} = 1.94 \text{ A} + \frac{0.38}{2} = 2.13 \text{ A}$$

เมื่อแรงดันไฟสลัป AC 80 V คือ แรงดันไฟสลัปขาเข้าต่ำสุด สามารถหาค่าแรงดันไฟ Peak สูงสุด คือแรงดันไฟตรงได้จาก

$$V_{in(pk)min} = \sqrt{2} \times V_{in(RMS)min}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore V_{in(pk)min} = \sqrt{2} \times 80 \text{ V} = 113.13 \text{ V}$$

ส่วนค่า Duty Cycle (D) ในวงจรบัสต์ คอนเวอร์เตอร์ จะหาได้จากสมการ 2.45

$$D = \frac{V_o - V_{in(pk)min}}{V_o}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore D = \frac{390V - 120V}{390V} = 0.70$$

ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L_{BST} จะหาได้จากสมการ 2.46

$$L_{BST} = \frac{V_{in(peak)min} \times D}{f_{sw} \times \Delta I_L}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore L_{BST} = \frac{113.13V \times 0.7}{100kHz \times 0.38A} = 2.08mH$$

3. การคำนวณหาค่าความจุของคาปาซิเตอร์เอาต์พุต C_{out}

ค่าความจุของคาปาซิเตอร์ C_{out} ทางด้านเอาต์พุตของวงจรบัสต์ คอนเวอร์เตอร์ หาได้จากคาบเวลาที่ 20 ms (ความถี่ 50 Hz) โดยกำหนดให้แรงดันไฟเอาต์พุตต่ำสุดที่ 300 V จะคำนวณหาค่าความจุของคาปาซิเตอร์ C_{out} ในเบื้องต้นได้จากสมการ 2.47

$$C_{out(min)} = \frac{2 \times P_o \times \Delta t}{(V_o)^2 - V_{o(min)}^2}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$C_{out(min)} = \frac{2 \times 100W \times 20ms}{(390)^2 - (300)^2} = 64.41\mu F$$

ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่าความจุไว้ 20 % ดังนั้นค่าความจุของ C_{out} หาได้จากสมการ 2.48

$$C_{out} = \frac{C_{out(min)}}{1 - \Delta C_{TOL}}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore C_{out} = \frac{64.41\mu F}{1 - 0.2} = 96.6\mu F ; \text{ใช้ค่า } 100\mu F/450V$$

4. การคำนวณหาค่าความต้านทาน R_{SNS}

ความต้านทาน R_S ทำหน้าที่ ลดกระแสกระชอกที่เกิดขึ้นกับตัวเพาเวอร์มอสเฟตในขณะนำกระแสและผลที่ได้จากแรงดันตกคร่อม V_{RS} จะถูกส่งต่อไปยังวงจรป้องกันกระแสเกินเพื่อหยุดยั้งการทำงานของวงจรเป็นการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ ทางขา 4 (CS) ซึ่งสัมพันธ์กับค่ากระแส Peak สูงสุดทางด้านไฟสลัป $I_{in(pk)OVL}$ ซึ่งค่ากระแสดังกล่าวหาจากสมการ 2.49

$$I_{in(peak)OVL} = I_{L(pk)} \times (1 + K_{OVL})$$

โดยที่ ค่า K_{OVL} คือ Over Load Factor คิดที่ 5 % แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore I_{in(peak)OVL} = 2.13 \text{ A} \times 1.05 = 2.23 \text{ A}$$

จากคู่มือของไอซี FAN7528 กำหนดค่าแรงดันไฟทางขา 4 (CS) ไว้ที่ 0.8 V ถ้าแรงดันไฟที่ส่งเข้ามาเกินกว่าที่กำหนด วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะสั่งให้วงจรสวิตช์ภายในตัวไอซีหยุดการทำงาน ดังนั้น ค่าความต้านทาน R_{SNS} จะหาได้จากสมการ 2.50

$$R_{SNS(max)} = \frac{V_{SNS(max)}}{I_{IN(PK)OVL}}$$

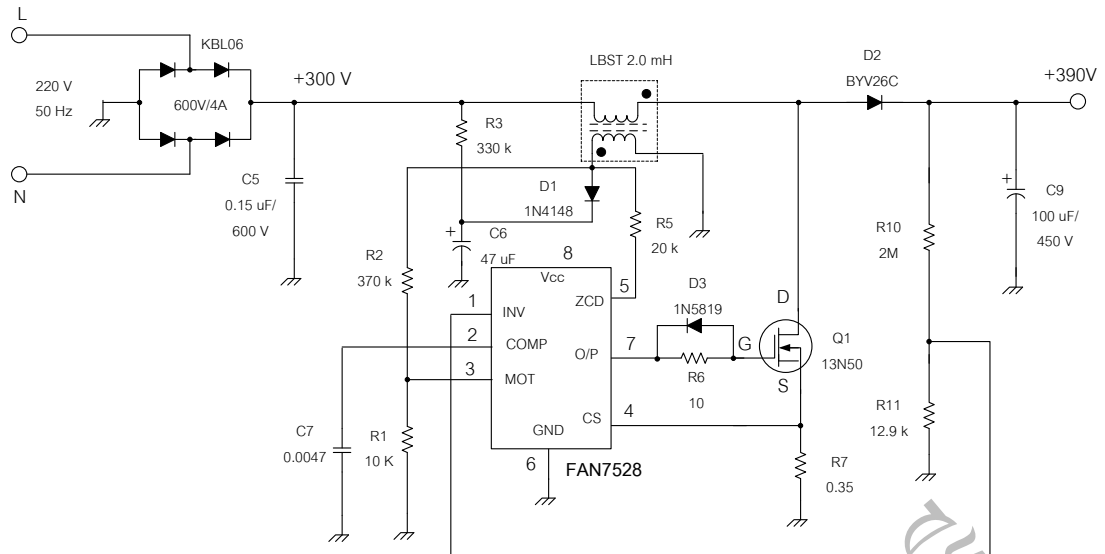
แทนค่าตัวแปร จะได้

$$\therefore R_{SNS(max)} = \frac{0.8 \text{ V}}{2.23 \text{ A}} = 0.35 \Omega$$

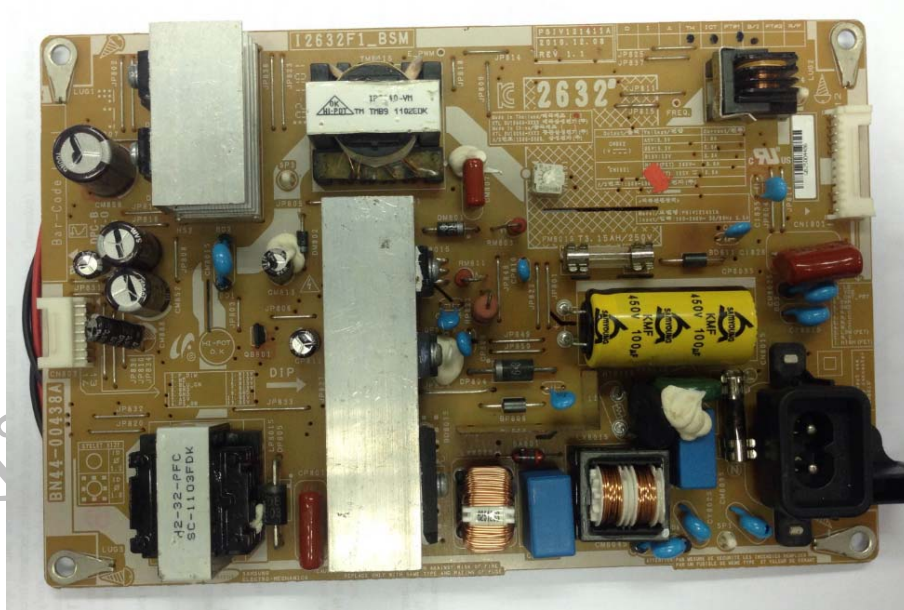
ส่วนค่ากำลังงานสูญเสีย Power Dissipation ; P_{RS} หาได้จากสมการสมการ 2.51

$$P_{RS} = I_{in(rms)max}^2 \times R_S$$

$$\therefore P_{RS} = (1.54)^2 \text{ A} \times 0.35 \Omega = 0.83 \text{ W}$$



ภาพ 66 วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W สร้างแรงดันไฟให้สูงขึ้น +390 V ก่อนส่งให้กับฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เพื่อขับหลอด LED กำลังสูง



ภาพ 67 ภาพถ่ายจริงวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W ที่ใช้ทดสอบ