บทที่ 3

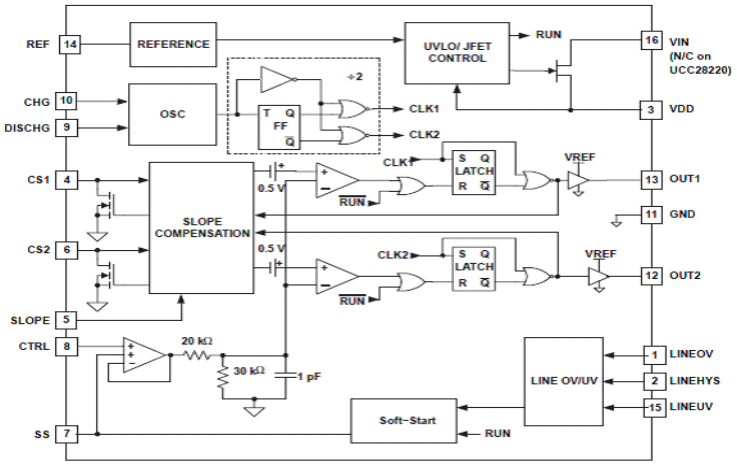
การออกแบบโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ และวิธีการออกแบบวงจรส่วนต่างๆของวงจรอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ทั้งในส่วนของ IC ควบคุมและอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ รวมถึงค่าความเหนี่ยวนำ การคำนวณความถี่ออสซิเลเตอร์และดิวตี้ไซเคิล

3.1 ไอซีควบคุม

ในการเลือกไอซีควบคุมแรงดัน ได้เลือกไอซีควบคุมแรงดันเบอร์ UCC 28220 ซึ่งเป็นไอซีตระกูล BI CMOS อินเตอร์ลีฟ 2 Channel ใช้หลักการควบคุมแบบ PWM ในโหมดควบคุมกระแสสูงสุด ใช้การแบ่งกระแสระหว่าง 2 Channel ค่า Duty Cycle สูงสุดสามารถตั้งค่าได้ระหว่าง 60% - 90% ต่อ 1 Channel สามารถใช้ได้กับแรงดัน 3 – 18 โวลต์ กระแสทางด้านอินพุตต่ำมาก และสามารถทนต่อการรบกวนอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟได้ดีอีกด้วย

การทำงานของวงจรอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ในส่วนของวงจรควบคุม ใช้ไอซีเบอร์ UCC 28220 ซึ่งเป็นไอซีควบคุมแบบ Current Mode PWP Control โดยไอซีนี้จะรับไฟเลี้ยง (VDD) ที่ขา 3 จากนั้นจะสวิตช์แรงดันอ้างอิงออกมาที่ขา 14 แรงดันประมาณ 3.3 V เพื่อจ่ายให้กับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อทำการกำเนิดสัญญาณออสซิเลเตอร์ให้กับวงจรขับขาที่ 9และขาที่ 10 ส่วนขาที่ 12 และขาที่ 13 เป็นขาจ่ายสัญญาณขับให้มอสเฟส ขาที่ 8 จะเป็นขาอินพุตทำหน้าที่รับสัญญาณเอาต์พุตเข้ามาควบคุมสัญญาณขับให้เหมาะสม เพื่อตอบสนองต่อโหลด คือ ภายในตัวไอซีจะมีแรงดันอ้างอิงภายในประมาณ 3.3 V และสัญญาณเอาต์พุตที่รับเข้ามานั้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงนี้ ซึ่งค่าสัญญาณเอาต์พุตมากกว่า 3.3V ก็จะทำให้วงจรปรับลดสัญญาณขับให้น้อยลงและในทางตรงกันข้ามถ้าสัญญาณเอาต์พุตน้อยกว่า 3.3V วงจรจะปรับสัญญาณเอาท์พุตเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อควบคุมระดับของแรงดันเอาต์พุตให้คงที่นั้นเอง ส่วนที่ขา 4 และขาที่ 6 จะเป็นขาอินพุตซึ่งใช้ในการตรวจสอบกระแสเกินที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ Power MOSFET โดยมี Rs สร้างแรงดันที่น้อยกว่า 1.5 V เป็นการสร้างแรงดันอ้างอิงในการตรวจสอบกระแส



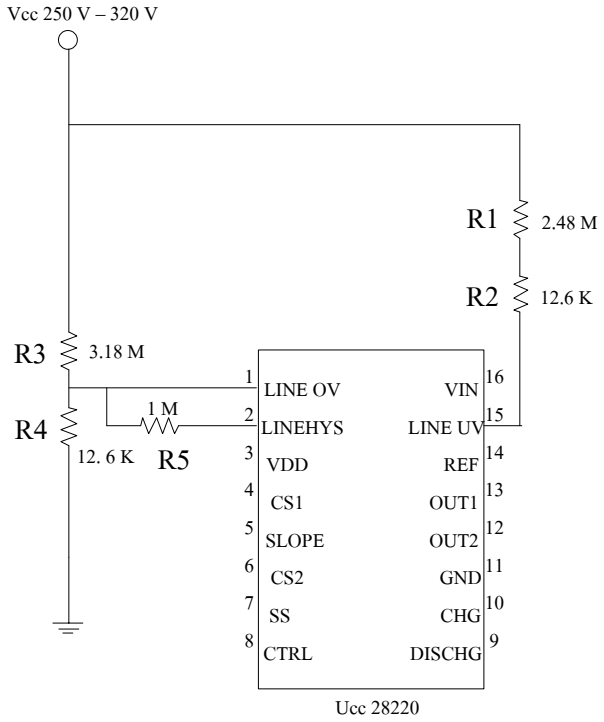
ภาพที่ 3.1 แสดง FUNTIONAL BLOCK DIAGRAM ของไอซีควบคุม

3.1.1 การออกแบบและการทำงานของไอซีควบคุม

วงจรอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์รับแรงดันอินพุทมาจาก PV ทำให้แรงดันไม่คงที่ตามแต่คุณภาพแสง จึงได้มีการออกแบบวงจร UNDER VOLTAGE LOCK OUT และวงจร OVER VOLTAGE LOCK OUT เพื่อกำหนดแรงดันอินพุตไม่ให้สูงหรือต่ำเกินไป ซึ่งนอกจากแรงดันจะไม่คงที่แล้ว ประสิทธิภาพของระบบก็ไม่ดี อาจทำให้ไอซีควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เสียหายได้ ตารางกำหนดสเปคแรงดัน

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของไอซีควบคุม

	MIN	TYP	MAX	UNITS
Vin	250	310	320	V
Output	460	—	—	V
Pout	—	—	400 W	W



ภาพที่ 3.2 แสดงการออกแบบและการทำงานของวงจร (Over และ Under Voltage lockout)

การคำนวณค่าความต้านทานในภาพที่ 3.2

$$R1 = \frac{V}{I} = \frac{248.74}{100\ \mu} = 2.48\ M\Omega$$

$$R2 = R4 = \frac{V}{I} = \frac{1.26}{100\ \mu} = 12.6\ K\Omega$$

$$R3 = \frac{V}{I} = \frac{318}{100\ \mu} = 3.18\ M\Omega$$

R5 = 1M เป็นค่า R ที่ Data Sheet แนะนำมา

3.2 สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

ในการออกแบบตัวเหนี่ยว ได้เลือกใช้แกนเทอรอยด์ที่ฐานรับเส้นลวดทำด้วยแกนเหล็กชนิดอัดแน่น โดยสร้างขึ้นเป็นรูปวงแหวนการ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่แพร่กระจายออกไปภายนอกและสนามแม่เหล็กจากภายนอกก็จะไม่เข้ามารบกวน ทำให้มีความเหนี่ยวนำได้สูง อย่างไรก็ตามการบูสท์ จะเกิดจากการสะสมพลังงานของตัวเหนี่ยวนำ เพราะฉะนั้นการที่จะสามารถบูสท์ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเหนี่ยวนำ รวมไปถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว

จากสมการที่ (2.6.2)

ค่าความเหนี่ยวนำ $L = \frac{N^2 \times \mu \times A}{l}$

จำนวนรอบของขดลวด 50 รอบ

ค่าความซึมซาบของวัสดุในที่นี้ใช้แบบแกนเหล็ก 7.56×10^{-6}

พื้นที่หน้าตัด 0.1 m^2

ความยาวแกน 0.1 m

หาขนาด L ได้ $= \frac{50^2 \times (7.56 \times 10^{-6}) \times 0.1 m^2}{0.1 m}$

$= 20$ mH

3.3 สมการการออกแบบสำหรับความถี่ออสซิสเลเตอร์และการกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิล

การกำหนดความถี่และดิวตี้ไซเคิลของไอซีควบคุมโดยกำหนด R1,R2 ที่ขา 9 CHG และที่ขา 10 Dis CHG ให้ความถี่เท่ากับ 100 KHz , Duty Cycle = 75 %

ค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ออกทางเอาท์พุต

$$F_{OSC} = 2 \times F_{OUT} \tag{3.3.1}$$

$$= 2 \times 100\ \text{KHz}$$

$$= 200\ \text{KHz}$$

ค่าดิวตี้ไซเคิลสูงสุดที่ออกจากเอาท์พุต

$$D_{MAX} = (1 - 2) \times \left(1 - D_{MAX(0UT)}\right) \tag{3.3.2}$$

$$= (1 - 2) \times (1 - 0.75)$$

$$= 0.5$$

ค่าตัวต้านทานปรับกระแสขาขึ้น

$$R_{CHG} = K_{OSC} \times \frac{D_{MAX(OSC)}}{F_{OSC}} \tag{3.3.3}$$

$$= 2.04 \times 10^{10}\ \Omega/\text{S} \times \left(\frac{0.05}{200\ \text{KHz}}\right)$$

$$= 60\ \text{K}\Omega$$

ค่าตัวต้านทานปรับกระแสขาลง

$$R_{DISCHG} = K_{SOC} \times \left(\frac{1 - D_{MAX(OSC)}}{F_{OSC}}\right) \tag{3.3.4}$$

$$= 2.04 \times 10^{10}\ \Omega/\text{S} \times \left(\frac{1 - 0.5}{200\ \text{KHz}}\right)$$

$$= 51\ \text{K}\Omega$$

การหาคาบเวลา

$$T = \frac{1}{T} = \frac{1}{100\ K} = 10 \times 10^{-6}\ \mu s \tag{3.3.5}$$

$$\text{Duty Cycle} = \frac{T_{on}}{T_{Cycle}}$$

$$T_{ON} = 0.75 \times (10 \times 10^{-6})\ \mu s$$

การหากระแสสูงสุดในขดลวดความถี่สูง

$$I_{(PK)} = 2 \times I_{0(MAX)} \times \left(\frac{V_O}{V_I}\right) \tag{3.3.6}$$

$$= 2 \times 0.869 \times \left(\frac{460}{310}\right)$$

$$= 2.58\ A$$

การหาขดลวดความถี่สูง

$$L_\mu = \left(\frac{V_I}{I_{(PK)}}\right) \times T_{ON} \tag{3.3.7}$$

$$= \left(\frac{310}{2.58}\right) \times 7.5\ \mu s$$

$$= 0.90\ mH$$

โดยที่

$I_{(PK)}$ คือกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดลวด

$I_{0(MAX)}$ คือกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านโหลด

V_O คือแรงดันเอาต์พุต

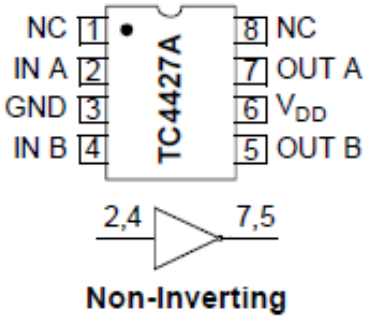
V_I คือแรงดันอินพุต

L_μ คือขดลวดความถี่สูง

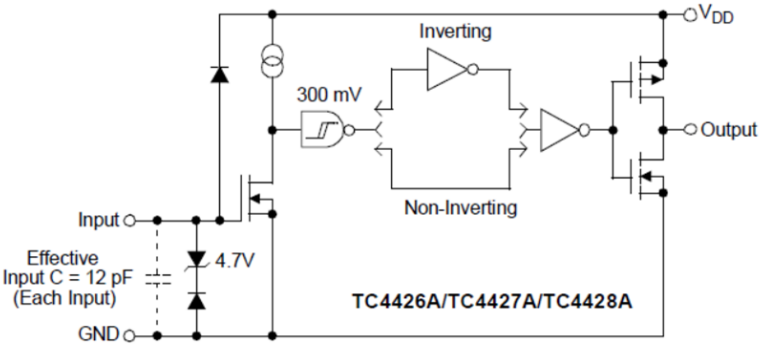
T_{0N} คือเวลาช่วงทำงาน

3.4 วงจร Drive

ในการออกแบบวงจร Drive ในส่วนของวงจร Drive ได้ทำการเลือกไอซีเบอร์ TC 4427A ซึ่งเป็น Dual High- Speed Power MOSFET Drive แบบ One Non-Inverting Driver มีเอาท์พุตสูงถึง 1.5 A ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน 4.5 V- 18 V เข้าที่ขา 6 รับกระแสเอาท์พุตจากไอซีควบคุมเข้าที่ขา 2,4 ของไอซี ทำการไดร์กระแสก่อนส่งออกทางขา 5,7 ของไอซีไปยังขาเกตของมอสเฟสต่อไป



ภาพที่ 3.3 แสดงไอซีเบอร์ TC 4427A



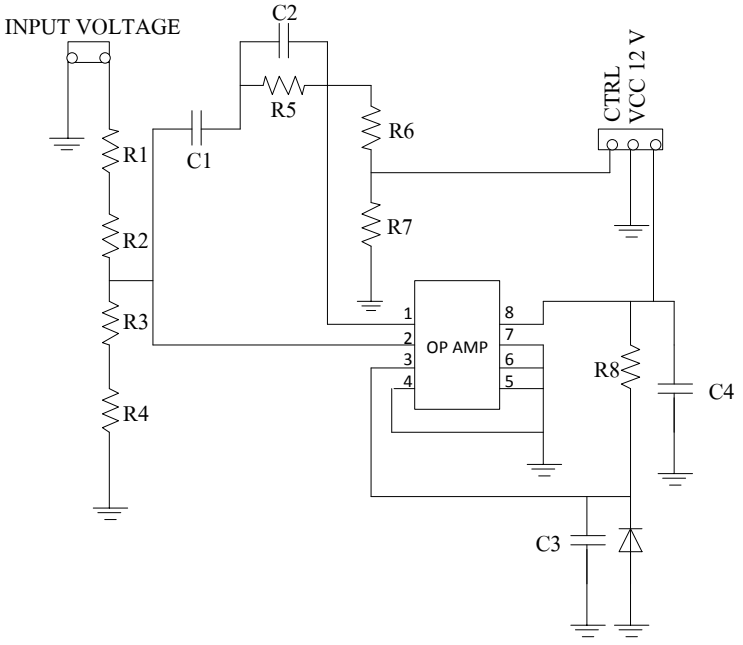
ภาพที่ 3.4 แสดง BLOCK DIAGRAM ของวงจร Drive

ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานไอซี TC 4427A

Input/Output/Table			
Input (Vin_L,Vin_H)		TC 4427A	
IN A	IN B	OUT A	OUT B
L	L	L	L
L	H	L	H
H	L	H	L
H	H	H	H

3.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

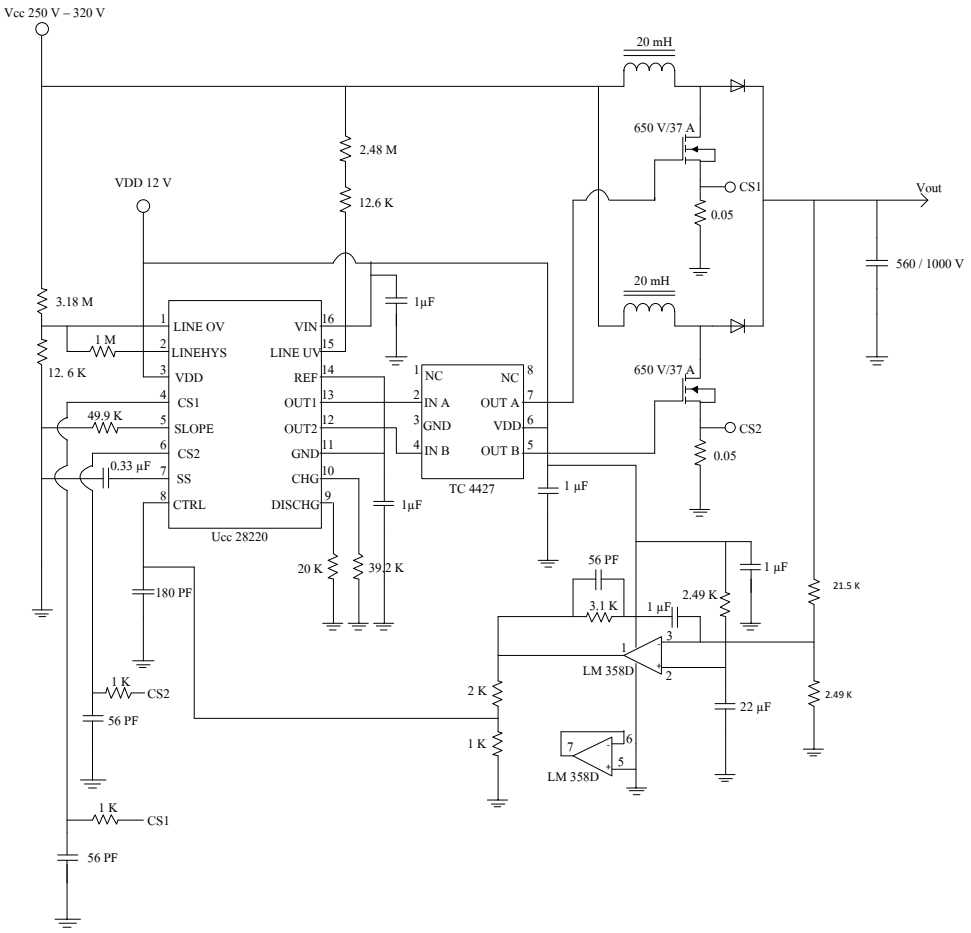
เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงประมาณ 2.5 V ถ้าแรงดันสูงเกินจะลด duty cycle หรือถ้าแรงดันต่ำเกินจะเพิ่ม duty cycle โดยจะส่งสัญญาณไปให้ไอซีควบคุมเป็นตัวควบคุมแรงดัน ทำการปรับระดับแรงดัน



ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

3.6 หลักทำงานของวงจรโดยรวม

การทำงานวงจรโดยรวม ไอซีควบคุม เบอร์ UCC28220 เมื่อได้รับแรงดันVDD เข้าที่ขา 3 ไอซีจะตรวจสอบแรงดันอินพุต 250V-320V ที่ขา 1 กับขา 15 ถ้าแรงดันเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ วงจร Solf Start จะค่อยๆสั่งให้ไอซีทำงาน มีความถี่ 100 KHz ออกจากเอาท์พุต ที่ขา 12 กับขา 13 ส่งต่อไปยัง IC DRIVER MOSFET เบอร์ TC 4427A เข้าที่ขา 2 และขา 4 เพื่อขยายกระแสให้สูงขึ้นเพียงพอที่จะขับมอสเฟตให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยรับเอาท์พุตที่ขา 5 กับขา 7 อีกส่วนหนึ่งของแรงดันอินพุทจะป้อนมายังขดลวด เกิดการสะสมพลังงานได้แรงดันเอาท์พุตที่ 460V ถูกป้อนกลับโดยวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อ Feed Back กลับไปที่ขา 8 ของไอซีควบคุม เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาท์พุตให้คงที่ ส่วนที่ขา S ของมอสเฟตจะต่อตัวต้านทานเพื่อตรวจสอบกระแสการทำงานของวงจรขับและตรวจสอบการทำงานของ Current Mode ที่ขา 4 กับขา 6



ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรการทำงานโดยรวม