บทที่3
หน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์

จากการที่ระบบควบคุมแสงสว่างต้องการควบคุมเป็นแบบระบบที่มีการป้อนกลับเฉพาะที่และเป็นการควบคุมแบบกระจายจึงจำเป็นต้องให้ผู้ใช้มีชุดควบคุมที่ผู้ใช้แต่ละคนและมีชุดควบคุมแสงที่หลอดแต่ละหลอด เพื่อควบคุมปริมาณแสงให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้หลายคนได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น ตัวควบคุมที่ผู้ใช้และชุดควบคุมที่หลอด จึงจำเป็นต้องมีหน้าที่ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป จากหน้าที่ของอุปกรณ์จึงได้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ว่าต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้างภายในอุปกรณ์ เพื่อที่จะให้องค์ประกอบภายในสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ของอุปกรณ์

3.1 หน้าที่ของอุปกรณ์

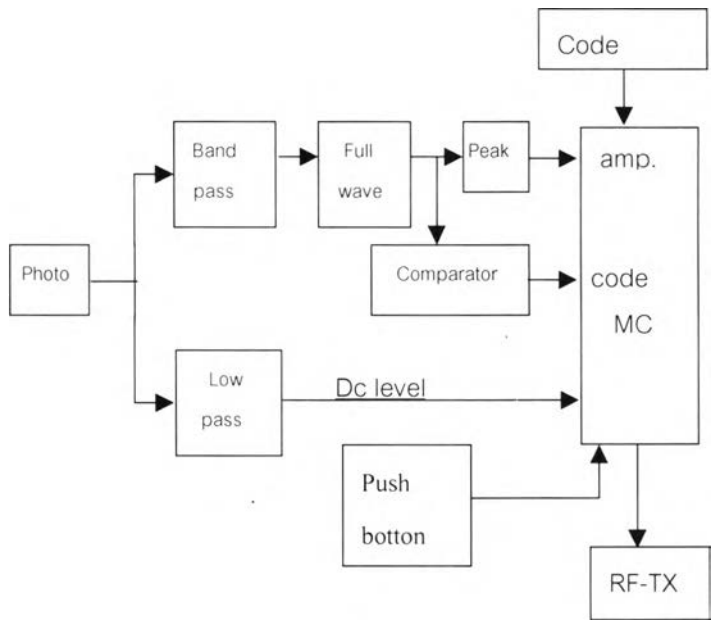
1. ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ (User Controller) หน้าที่
    1) รับข้อมูลความต้องการแสงจากผู้ใช้
    2) เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความต้องการของผู้ใช้กับปริมาณแสงที่ได้รับ
    3) ส่งค่าความเคลื่อนไปยังชุดควบคุมหลอด
    4) สามารถวัดขนาดของสัญญาณแสงที่มอดูเลตมาได้
    5) ส่งค่าขนาดของสัญญาณแสงที่มอดูเลตกลับไปยังชุดควบคุมหลอด
    6) รับรหัสจากดิพสวิตซ์ เพื่อบอกรหัสของตัวควบคุมที่ผู้ใช้
2. ชุดควบคุมที่หลอด (Lamp Controller) หน้าที่
    1) รับข้อมูลความคลาดเคลื่อนของแสงที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้แต่ละคนส่งมา
    2) รับค่าขนาดของสัญญาณแสงที่มอดูเลตของตัวควบคุมที่ผู้ใช้แต่ละคนส่งมา
    3) ประเมินหาค่าให้น้ำหนักของตัวควบคุมที่ผู้ใช้แต่ละคนส่งมา
    4) ประเมินหาค่าสมรรถนะของตัวควบคุมที่หลอด เพื่อใช้บอกทิศทางการปรับแสงที่หลอด
    5) ควบคุมปริมาณแสงให้ ค่าความไม่พึงพอใจของผู้ใช้มีค่าน้อยสุด
    6) รับรหัสจากดิพสวิตซ์ เพื่อบอกรหัสของชุดควบคุมที่หลอด
    7) สร้างรหัสหลอดที่มีการมอดูเลตข้อมูลโดยผ่านทางแสง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. บัลลาสต์หรี่แสง (Dimming Ballast) พร้อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) หน้าที่ควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ตามคำสั่งที่ได้รับจากชุดควบคุมที่หลอด

3.2 องค์ประกอบของแต่ละอุปกรณ์

1. ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย
   1) ปุ่มกดรับคำสั่งจากผู้ใช้
   2) ตัวตรวจจับเปลี่ยนแปลงแสงที่ได้รับ
   3) วงจรกรองความถี่ผ่านแถบที่เป็นสัญญาณพาหะเพื่อกรองข้อมูลที่มีการมอดูเลตผ่านแสงมาให้
   4) วงจรวัดค่ายอดของสัญญาณที่ใช้บอกขนาดของแสงที่ได้รับมาพร้อมกับวงเปรียบเทียบสัญญาณรหัสหลอด
   5) ตัวส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุ
   6) ไมโครโปรเซสเซอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่รับมาทางแสงและสร้างข้อมูลส่งกลับไปให้ชุดควบคุมหลอดโดยผ่านทางคลื่นวิทยุ
   7) ดิพสวิตซ์บอกรหัสตัวควบคุมที่ผู้ใช้



รูปที่3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์ที่ชุดควบคุมที่ผู้ใช้

2. ชุดควบคุมหลอด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย

1) วงจรสร้างความถี่พาหะ

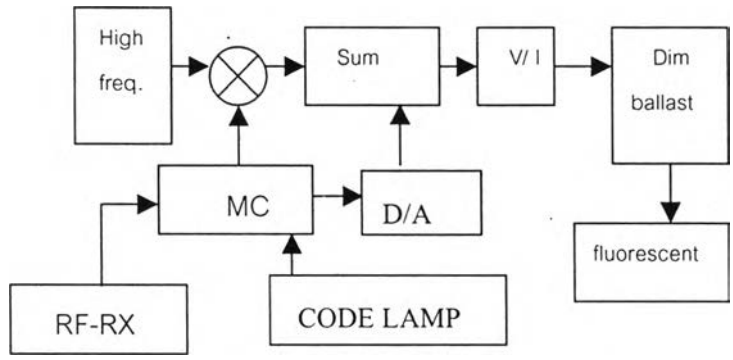
2) การมอดูเลตข้อมูลด้วยขนาด (Amplitude Modulation)

3) ตัวรับข้อมูลทางคลื่นวิทยุ

4) ไมโครโปรเซสเซอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลค่าให้น้ำหนักของแสงร่วมกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงคำสั่งของผู้ใช้แล้วทำการควบคุมปริมาณแสงให้เป็นไปตามความเหมาะสม

5) แหล่งจ่ายกระแส เพื่อใช้ปรับระดับแสงสว่างที่บัลลาสต์หรี่แสง

6) ดิพสวิตซ์บอกรหัสชุดควบคุมที่หลอด



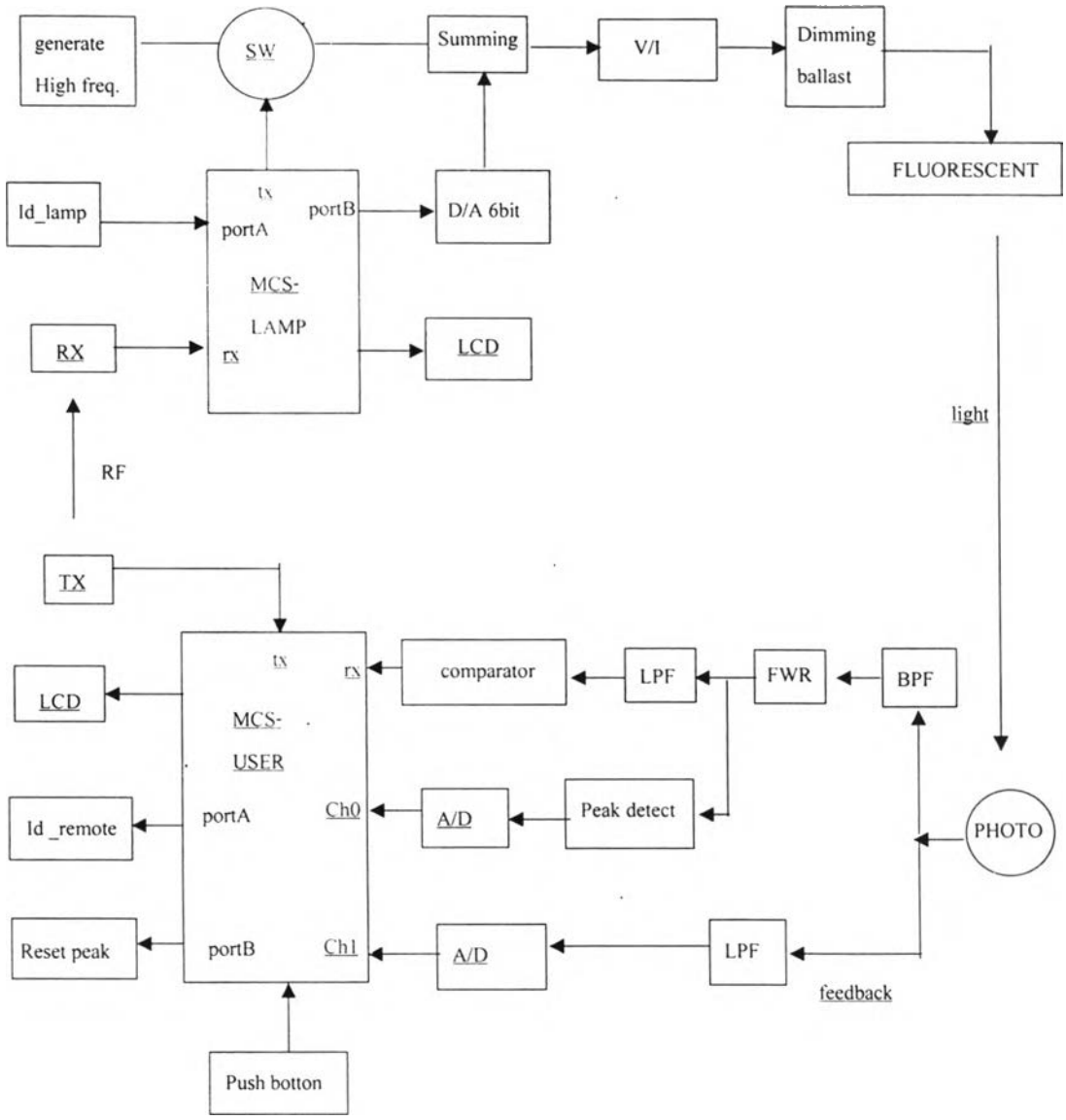
รูปที่3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์ที่ชุดควบคุมหลอด

3. บัลลาสต์หรี่แสงพร้อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประกอบด้วย

1) แหล่งควบคุมความถี่อินเวอร์เตอร์ด้วยกระแส

2) อินเวอร์เตอร์

3) หลอดฟลูออเรสเซนต์



รูปที่3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์ที่ชุดควบคุมหลอดและชุดควบคุมที่ผู้ใช้

3.3 การทำงานของอุปกรณ์

เริ่มต้นระบบจะต้องมีการแนะนำและทำความรู้จักกันก่อนว่าในระบบ ณ ปัจจุบันนี้ประกอบไปด้วยชุดควบคุมที่หลอดและตัวควบคุมที่ผู้ใช้ชื่ออะไรบ้างซึ่งกำหนดจากดิพสวิตซ์ โดยเริ่มจากการชุดควบคุมหลอดจะทำสร้างรหัสหลอดออกมาแนะนำตัวเองให้กับตัวควบคุมที่ผู้ใช้รู้จักก่อน เริ่มต้นชุดควบคุมหลอดทำการสร้างรหัสหลอด โดยใช้วิธีการมอดูเลตความถี่พาหะด้วยรหัสข้อมูล แล้วทำการส่งข้อมูลรหัสหลอดออกมาเป็นระยะ ๆ โดยใช้แสงเป็นตัวกลางส่งข้อมูลรหัสหลอด โดยชุดควบคุมที่ผู้รับจะมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจรับแสงแล้วผ่านวงจรกรองผ่านแถบความถี่
เพื่อกรองเฉพาะความถี่พาหะ(carrier) และวัดขนาดสัญญาณแสงของหลอด(amplitude code)ที่โฟโต้ได้รับและในขณะเดียวกันก็วัดระดับแสงของพื้นที่ทำงานโดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (LPF)ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ชุดควบคุมที่ผู้ใช้จะทำการอ่านค่าทั้งสองโดยผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ 8 บิต จากนั้นไมโครโปรเซสเซอร์ที่ชุดควบคุมที่ผู้ใช้ก็จะทำการสร้างข้อมูล เพื่อส่งข้อมูลออกไปโดยผ่านทางคลื่นวิทยุไปให้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ชุดควบคุมหลอด หลังจากนั้นชุดควบคุมหลอดก็จะทำการรับข้อมูลแล้วทำการประมวลผลคำนวณค่าให้น้ำหนักและค่าสมรรถนะของหลอด เพื่อนำไปใช้ปรับกระแสควบคุมหลอดที่จะนำไปใช้ปรับระดับแสงที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบ 6 บิต

- ถ้าตัวควบคุมที่ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลทางแสงของชุดควบคุมหลอดได้ก็ส่งข้อมูลกลับขึ้นไปให้ยังชุดควบคุมหลอด แสดงว่า แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นมีผลต่อปริมาณแสงบนพื้นที่ของชุดควบคุมนั้น
- ถ้าตัวควบคุมที่ผู้ใช้ไม่สามารถรับข้อมูลทางแสงของชุดควบคุมหลอดได้ก็จะไม่มีการส่งข้อมูลกลับขึ้นไปให้ยังชุดควบคุมหลอด แสดงว่า แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นไม่มีผลต่อปริมาณแสงบนพื้นที่ของชุดควบคุมนั้น

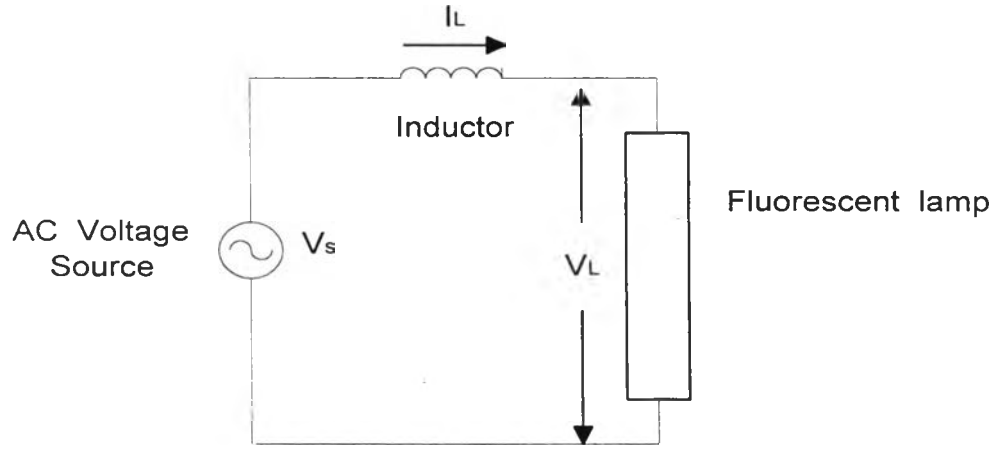
จากนั้นไมโครที่ชุดควบคุมหลอดก็จะมีการประมวลผลค่าให้น้ำหนักของแสงและค่าคำสั่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงของตัวควบคุมที่ผู้ใช้ที่กระทำโดยตัวควบคุมที่หลอด โดยใช้หลักการที่ว่าให้เกิดความไม่พึงพอใจให้กับผู้ใช้น้อยที่สุด นั่นก็คือ การควบคุมค่าสมรรถนะให้มีค่าน้อยสุด ซึ่งก็หมายถึง การพยายามทำให้ค่าความแตกต่างของแสงที่ผู้ใช้ต้องการกับแสงที่ผู้ใช้ได้รับที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ แล้วจึงทำการแปลงคำสั่งควบคุมเป็นแหล่งจ่ายกระแส เพื่อไปควบคุมบัลลาสต์หรี่แสงให้หรี่แสงที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ ให้มีความสว่างตามคำสั่งของชุดควบคุมหลอด
มีการใช้ LCD แสดงผลการทดสอบที่ชุดควบคุมทั้งสอง

3.4 แนวทางการออกแบบอุปกรณ์

1. แนวทางในการควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีลักษณะสมบัติแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีความต้านทานพลวัตในภาวะการทำงานปกติเป็นลบ ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีเสถียรภาพ จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายกระแส แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายกระแส จะได้จากการใช้อิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูงต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อไม่ให้เกิดกำลังสูญเสียในอิมพีแดนซ์มากเกินไป จึงนิยมใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นอิมพีแดนซ์ ทำหน้าที่จำกัดกระแสดังแสดงในรูป 3.4

เมื่อใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าความถี่สูง หลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีลักษณะเหมือนความต้านทานแบบเชิงเส้นโดยประมาณ กล่าวคือ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าความถี่สูงที่มีรูปคลื่นเป็นไซน์เข้าไปในหลอดฟลูออเรสเซนต์ แรงดันคร่อมหลอดจะมีรูปคลื่นใกล้เคียงรูปไซน์ แต่ขนาดของแรงดันคร่อมหลอดจะเปลี่ยนกับขนาดของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแบบไม่เชิงเส้น จากลักษณะดังกล่าวจึงสามารถเขียนสมการของวงจรในรูปที่ 3.4 ได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 ลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันโดยมีตัวเหนี่ยวนำทำหน้าที่จำกัดกระแสสามารถคำนวณหากระแสไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังนี้คือ

$$I = \frac{V_S - V_L}{j\omega L} \qquad \ldots . (1)$$

เมื่อ

V_s = แรงดันของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

V_l =แรงดันคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์

ω =ความถี่เชิงมุมของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

L=ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ

I=กระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้หลอด

เนื่องจากปริมาณแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด ดังนั้นการควบคุมแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำได้ โดยการควบคุมกระแสที่ผ่านหลอด ซึ่งจากสมการที่ 1จะเห็นได้ว่าสามารถทำได้ดังนี้คือ

- ปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายแรงดัน (V_s)
- ปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้
- ปรับความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดัน (ω)

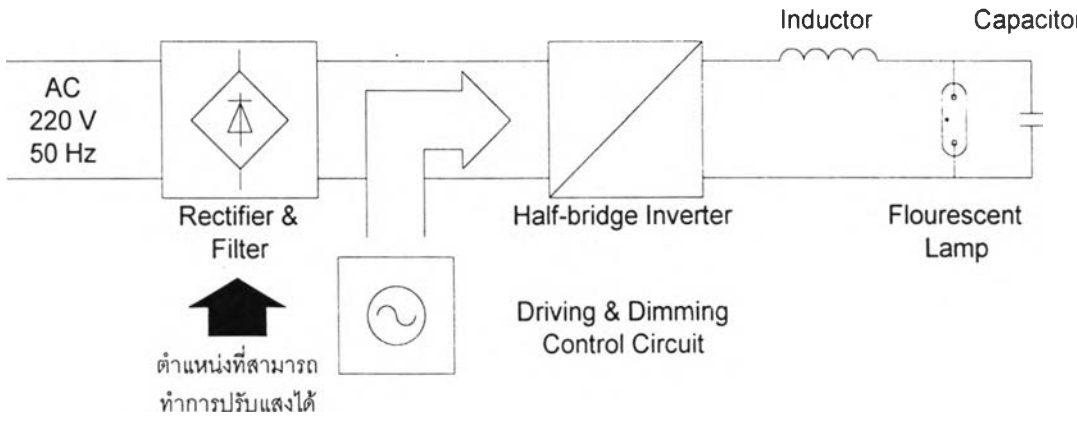
สำหรับแรงดันคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ผ่านหลอด (I)

1.1 <u>วิธีการควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์</u>

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด ดังนั้นการควบคุมแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำได้ โดยการควบคุมกระแสที่ผ่านหลอด ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้คือ

1.2 <u>การควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายแรงดัน</u>

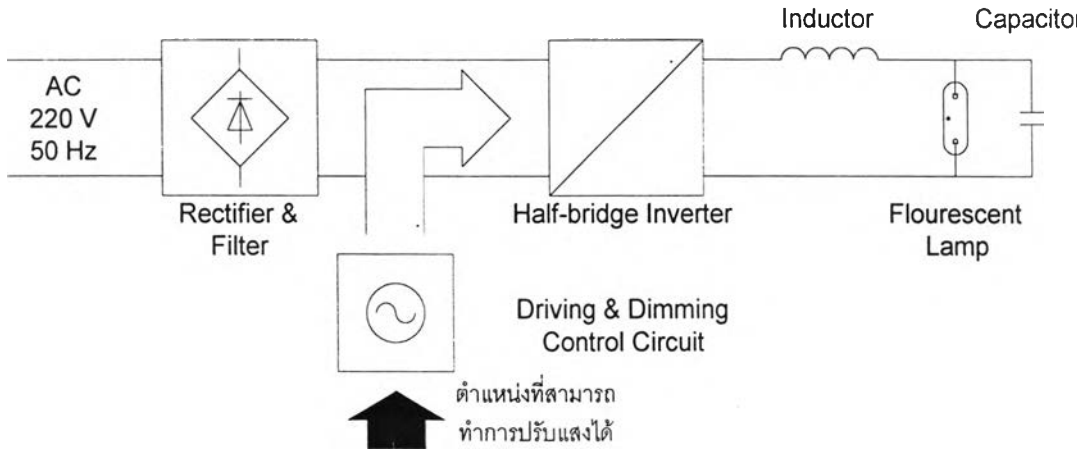
การควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายนั้นจะต้องควบคุมระดับแรงดันไฟตรงด้านขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 3.4 อาจทำได้โดยใช้วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแบบที่สามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ เช่น ในกรณีที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ และยังช่วยลดกระแสฮาร์มอนิกด้านขาเข้า (Active Input Harmonic Filter) ด้วย และถ้าใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz การควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยวิธีนี้ ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่าย ซึ่งในทางปฏิบัติค่อนข้างยุ่งยาก



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมแสดงการปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายแรงดัน

1.3 <u>การควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์</u>

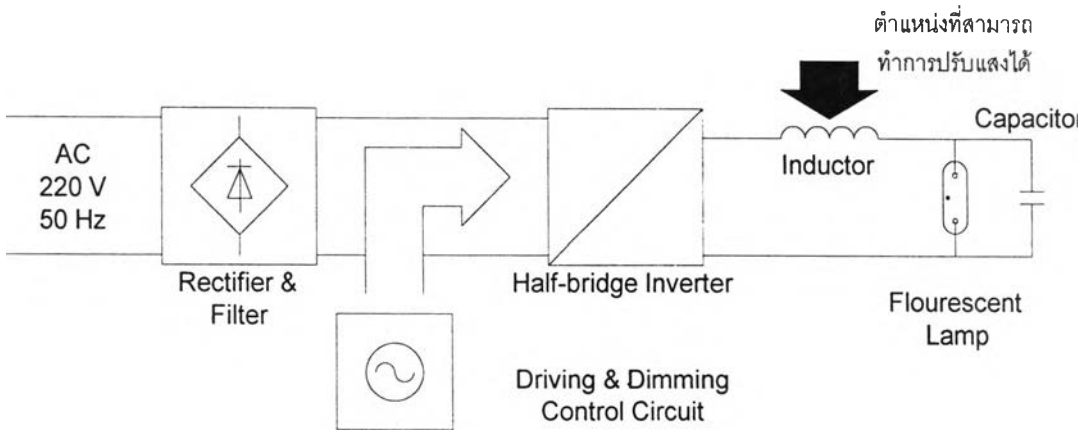
การควบคุมกระแสผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ อาจทำได้โดยการควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง การควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ทำได้โดยการควบคุมความถี่ของสัญญาณขับนำสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยใช้วงจรควบคุมความถี่ของสัญญาณขับนำสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ดังนี้ คือวงจรกำเนิดสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์นั้น จะมีช่วงเวลาที่สวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์หยุดทำงานก่อนที่สวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์อีกตัวจะทำงาน (Dead Time) นั้น จะต้องมีการปรับเวลาช่วงนี้ให้เหมาะสม เพราะถ้าไม่เหมาะสมอาจจะเป็นสาเหตุทำให้สวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ทำงานผิดจังหวะกันได้ หรืออาจจะเกิดการที่สวิตช์ทั้งสองตัวนำกระแสพร้อมกัน ทำให้เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมของการควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์

1.4 <u>การปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้</u>

ในการปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของตัวเหนี่ยวนำดังรูปที่ 3.7 นั้นจะต้องมีการเปลี่ยนขนาดโครงสร้างเชิงกลของตัวเหนี่ยวนำ โดยการปรับช่องว่างอากาศ (air gap) ของแกนที่ใช้ทำความเหนี่ยวนำ ซึ่งไม่สะดวกต่อการปรับแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมของการปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้

ในการควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาจจะทำได้อีกวิธีหนึ่งคือการควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยเป็นการควบคุม duty cycle ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ (Branas, Azcondo and Bracho,1997) การควบคุมแสงโดยวิธีนี้จำเป็นใช้วงจรอินเตอร์เตอร์แบบ full bridge ทำให้ต้องใช้สวิตช์และวงจรขับนำสวิตช์เพิ่มขึ้น และยุ่งยากกว่า จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมกัน ซึ่งจากการพิจารณาแนวทางต่างๆ ในการควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเห็นได้ว่า การควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยการควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะมีความเหมาะสมมากที่สุด การควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ทำได้โดยการควบคุมความถี่ของสัญญาณขับนำทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

2. วิธีการออกแบบการมอดูเลตด้วยขนาด

วิเคราะห์สัญญาณ AM ในเชิงความถี่ ในที่นี้สัญญาณ AM เกิดจากสัญญาณพาหะความถี่ 2.4 กิโลเฮิรตซ์ มอดูเลตด้วยสัญญาณข้อมูลความถี่ 150 เฮิรตซ์ ผลของการมอดูเลตแบบ AM ของสัญญาณ 2.4 กิโลเฮิรตซ์กับ 150 เฮิรตซ์ น่าจะได้เป็นพาหะ 2.4 กิโลเฮิรตซ์กับสัญญาณข้อมูล 150 เฮิรตซ์เท่านั้นอย่างไรก็ตามถ้าเราป้อนสัญญาณทั้งคู่ให้แก่วงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาส (bandpass filter) ความถี่ 150เฮิรตซ์กับความถี่ 2.4 กิโลเฮิรตซ์ เราจะพบว่าเอาต์พุตจากวงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสความถี่ 150 เฮิรตซ์ เป็นศูนย์ แต่เอาต์พุตจากวงจรแบนด์พาสความถี่ 2.4 กิโลเฮิรตซ์จะไม่เป็นศูนย์

สรุปได้ว่า สัญญาณพาหะ 2.4 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณข้อมูล 150 เฮิรตซ์แล้ว ผลปรากฏว่าสัญญาณ 150 เฮิรตซ์จะไม่มีอยู่ในคลื่นพาหะที่มอดูเลตแล้ว (คลื่น AM) เลย แต่ไปปรากฏเป็นกรอบคลื่นแทน อย่างไรก็ตามเราทราบดีว่าคลื่น AM จะต้องมีส่วนประกอบของสัญญาณข้อมูลปนอยู่แน่นอนเพราะกรอบของรูปคลื่นเป็นสิ่งที่ยืนยันอย่างชัดเจน ถ้าเราใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสแบบพิเศษที่สามารถจูนความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ 2.4 กิโลเฮิรตซ์ หรือใช้สเปกตรัมอนาไลเซอร์ เพื่อค้นหาสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลตบนพาหะว่าไปหลบซ่อนอยู่ในส่วนใดของพาหะ (วิเคราะห์ในเชิงความถี่) ด้วยวิธีนี้เราจะพบว่า สัญญาณ AM นี้นอกจากจะมีพาหะตัวเดิม 2.4 กิโลเฮิรตซ์แล้ว ยังมีคลื่นข้างเคียงเกิดขึ้นอีก 2 ข้างคือที่ความถี่ 2.55 กิโลเฮิรตซ์กับ 2.25 กิโลเฮิรตซ์ คลื่นข้างเคียงทั้ง 2 ข้างนี้เรียกว่าไซด์แบนด์ (sideband) ซึ่งเราจะตรวจพบได้โดยใช้ฟิลเตอร์ที่มีความคมหรือความละเอียดในการจูนตรวจค้นสัญญาณไซด์แบนด์ที่มีความถี่สูงกว่าเรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านบน (upper sideband หรือ USB) ความถี่ของ USB เท่ากับผลรวมความถี่พาหะกับความถี่สัญญาณมอดูเลตความถี่ USB = fc + fm

ในที่นี้ fc คือความถี่พาหะ fm คือความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต

ตามตัวอย่าง fc = 2.4 kHz , fm = 150 Hz

ฉะนั้นความถี่ของ USB จะเท่ากับ

ความถี่ USB = 2.4 kHz + 150 Hz

= 2.55 kHz

สำหรับไซด์แบนด์ที่มีความถี่ต่ำกว่าเรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านล่าง (lower sideband หรือ LSB) ความถี่ของ LSB เท่ากับความถี่พาหะลบด้วยความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต ในกรณีนี้จะได้

ความถี่ LSB = fc - fm

= 2.4 kHz - 150 Hz

= 2.25 kHz

กล่าวโดยสรุปได้ว่า คลื่น AM ประกอบด้วยคลื่นพาหะ และคลื่นไซด์แบนด์ 2 ข้างคือ USB กับ LSB ถ้าเราลองพิจารณาแอมพลิจูดจากฟิลเตอร์ต่าง ๆ จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์มีค่าคงที่ ซึ่งเราทราบมาในตอนต้นแล้วว่าพาหะจะมีแอมพลิจูดคงเดิมเสมอจนกว่าจะมีสัญญาณเข้าไปมอดูเลต แต่แอมพลิจูดเฉลี่ยของพาหะยังมีค่าคงเดิมตลอดไปไม่ว่าจะมีสัญญาณเข้าไปมอดูเลตหรือไม่ก็ตาม คลื่นไซด์แบนด์ทั้งคู่และคลื่นพาหะ สังเกตว่าพาหะมีแอมพลิจูดคงที่ และไซด์แบนด์ก็มีแอมพลิจูดเท่ากันทั้งคู่และคงที่ด้วย ความถี่ของพาหะต้องอยู่ระหว่างกลางของความถี่ไซด์แบนด์ทั้งสอง สัญญาณ AM เกิดจาก สัญญาณข่าวสารเข้าไปมอดูเลตบนพาหะแล้วปรากฏเป็นสัญญาณไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง (คือ USB กับ LSB)

แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM

การส่งสัญญาณ AM มิใช่เป็นการส่งสัญญาณเพียงความถี่พาหะความถี่เดียว แต่เป็นการส่งหลาย ๆ ความถี่หรือเป็นแถบความถี่ และความจริงข่าวสารก็ไม่ได้อยู่ในคลื่นพาหะแต่ปนอยู่ในไซด์แบนด์ทั้ง 2 ข้าง ถ้าเราส่งแต่พาหะไปอย่างเดียว ข่าวสารก็ไปไม่ถึงตัวรับ

ฉะนั้นในระบบ AM ทั้งพาหะและไซด์แบนด์จะถูกส่งไปให้ตัวรับช่วงความถี่หรือแถบความถี่ของสัญญาณ AM จะเริ่มจากความถี่จาก LSB ไปยัง USB ไปยัง USB ฉะนั้นแถบความถี่ หรือ แบนด์วิดท์ (bandwidth) ของสัญญาณ AM จะเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณมอดูเลต เช่น สมมติความถี่สูงสุดของสัญญาณข้อมูลที่มอดูเลตเท่ากับ 150 เฮริตซ์ แบนด์วิดท์ของสัญญาณAM จะเท่ากับ 300 เฮิรตซ์

3. <u>วงจรกรองความถี่ผ่านแถบ</u>

วงจรกรองความถี่ผ่านแถบ (band-pass filter) จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้เฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัดโดยการลดทอนให้หมดไป ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรแบบนี้ ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด Vmax จะปรากฏขึ้นเฉพาะบางช่วงของความถี่เท่า

นั้น เรียกความถี่นั้นว่า ความถี่เรโซแนนต์ (resonant frequency) แทนได้ด้วย Wr ตำแหน่งของความถี่ที่มีค่าแรงดันลดลงเป็น 0.707 Vmax จะมีอยู่ 2 ความถี่คือ ความถี่ที่สูงกว่า Wr ค่าหนึ่ง และที่ต่ำกว่า Wr อีกค่าหนึ่ง เรียกความถี่ที่ Vo =0.707Vmax ที่สูงกว่า Wr นี้ว่า ความถี่คัตออฟช่วงสูง (high cutoff frequency) แทนด้วย Wh และความถี่ที่ต่ำกว่า Wr ว่า ความถี่คัตออฟช่วงต่ำ (low cutoff frequency) แทนได้ด้วย Wi จาก ความถี่ทั้งสอง เราจะได้ช่วงกว้างความถี่ B เป็น

$$B = Wh - Wi \qquad .....(2)$$

วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ (narrow band) และชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงกว้าง (wide band) สำหรับวิธีการกำหนดว่าวงจรชนิดใดเป็นชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบหรือช่วงกว้างนั้น กำหนดได้ดังนี้

ถ้ามีช่วงกว้างความถี่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B < 0.1\ Wr$) เราจะเรียกว่า วงจรชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงแคบ ถ้ามีช่วงกว้างความถี่มากกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B > 0.1\ Wr$) เราจะเรียกว่า วงจรชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงกว้าง ในวงจรแบบเลือกความถี่ผ่านนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนต์และช่วงกว้างความถี่เรียกว่า ควอลิตี้แฟกเตอร์ (quality factor) แทนได้ด้วย Q ค่า Q นี้เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ใช้งาน ยิ่งค่า Q มีค่าสูงมากขึ้นเท่าใด วงจรก็ยิ่งมีความสามารถในการเลือกความถีได้ดีมากขึ้นเท่านั้น ค่า Q แสดงได้ดังในสมการ

$$Q = Wr / B \qquad .....(3)$$

หรือ

$$B = Wr / Q \qquad .....(4)$$

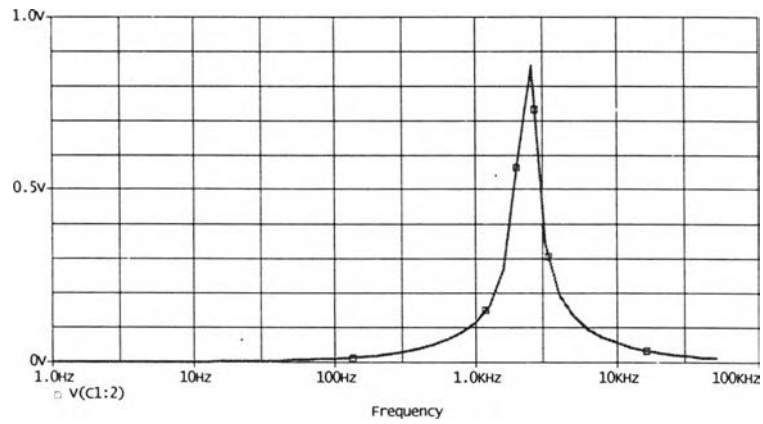
โดยที่ B มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที สำหรับวงจรในแบบที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ ๆ นั้นจะมีค่า Q ที่สูงมากกว่า 10 และในวงจรผ่านแบบช่วงกว้างจะมีค่า Q น้อยกว่า 10

สรุป ช่วงความถี่แคบคือ มีค่า $B < 0.1\ wr$: $Q > 10$

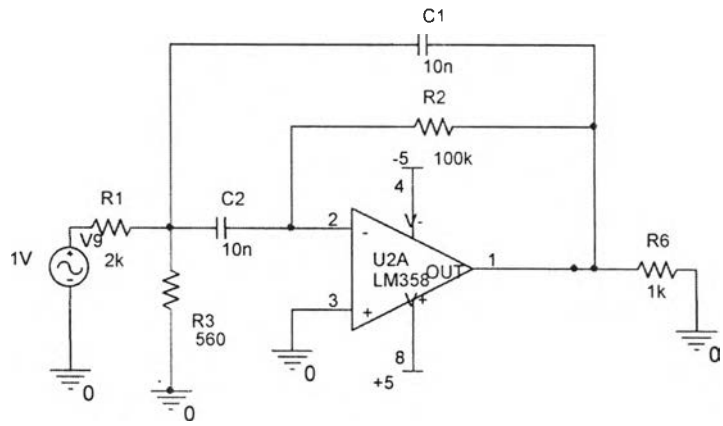
ช่วงความถี่กว้างคือ มีค่า $B > 0.1\ wr$: $Q < 10$

<u>วงจรกรองความถี่ผ่านแถบ</u>

วงจรกรองความถี่ผ่านแถบ นั้นสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งชนิดที่เป็นช่วงแคบและช่วงกว้าง จะแตกต่างกันก็เฉพาะค่าของอุปกรณ์ที่เลือกใช้เท่านั้น โดยวงจรนี้กำหนดให้มีอัตราขยายแบบปิดลูปเป็น 1 ที่ความถี่เรโซแนนต์ Wr



(ก) กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ



(ข) ลักษณะการต่อวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ

รูปที่ 3.8 วงจรกรองความถี่ผ่านแถบและการตอบสนองความถี่

ขั้นแรกในการออกแบบวงจรต้องกำหนดค่าของช่วงกว้างความถี่ B ที่จะใช้งาน และคำนวณค่า Q ของวงจรเสียก่อน โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2) (หรืออาจกำหนดค่า Q และ คำนวณค่า B ก็ได้) หลังจากนั้นจึงจะเป็นการเลือกและคำนวณค่าของอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่น ๆ

ขั้นตอนในการพิจารณาต่อไป เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาจะกำหนดให้ Ar = 1 เลือก C1 = C2 = C ให้มีค่าที่เหมาะสม ต่อจากนั้นก็คำนวณค่า R1 , R2 และ R3 โดยได้จากสมการ

$$R2 = 2 / BC \qquad \text{.... (5)}$$

$$R1 = R2 / 50 \qquad \text{..... (6)}$$

$$R2 = R2 / (4Q^2 - 2) \qquad \text{.... (7)}$$

B ในสมการที่ (2) มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

การออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผ่านเฉพาะช่วง ตามในรูปที่ 3.8 (ข) เมื่อกำหนดให้ วงจรมี fr = 2.4 kHz หรือ Wr = 15 krad / s มี Q = 8 และ C1 = C2 = C = 0.01 uF

วิธีทำ

ก่อนอื่นจะหาค่า B โดยจากสมการที่ (4)

$B = 2(3.14)\,BW = 2(3.14)(300Hz) = 1.885$ krad/s

$Wr = 2(3.14)\,fr = 2(3.14)(2.4k) = 15$ krad/s

$Q = Wr / B = 15\,k / 1.885\,k = 8$

และหาค่าความต้านทานทั้งหมด โดยใช้สมการที่ (5) ถึงสมการที่ (7)

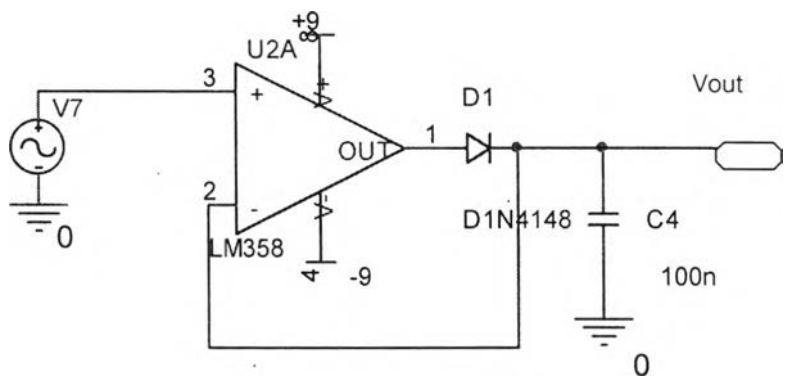
R2 = 106 K ----> 100 K

R1 = 2.3 K -----> 2 K

R3 = 500 ------> 560

4. การออกแบบวงจรตรวจจับค่ายอด

วงจรตรวจจับค่ายอด (peak detector) จะให้ค่าแรงดันออกที่เวลา t เท่ากับค่ายอดหรือค่าสูงสุดของแรงดันขาเข้าในช่วงเวลาก่อนหน้า t นั้น



รูปที่ 3.9 วงจรตรวจจับค่ายอด

หลักการทำงานก็คือถ้า Vi = Vo ไดโอด D จะทำงาน ออปแอมป์จะทำหน้าที่เป็นวงจรแรงดันตามและจะให้ Vo = Vi ตัวเก็บประจุก็จะสะสมประจุผ่านไดโอด D แต่คราใดที่ Vi ลดลง ไดโอดจะหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุจะไม่สามารถคายประจุได้ และจะคงค่าแรงดันขาออกที่เท่ากับแรงดันขาเข้าสูงสุดค่าเดิมไว้

5. การเลือกใช้ตัวตรวจจับแสง (Photo Sensor)

1) Photodiode กระแสด้านออกมีคุณสมบัติเชิงเส้นกับความสว่าง แต่ค่ากระแสด้านออกจะค่อนข้างน้อยมากอยู่ในช่วง nA

2) Phototransistor กระแสด้านออกเป็นสัดส่วนความเข้มแสง ช่วงของกระแสด้านออกต่อหน่วย แสงค่อนข้างกว้างขึ้นอยู่กับค่าการแปรค่า ความไว (sensitivity)

3) LDR (Light dependent resistance) ความต้านทานไวแสง เวลามีแสงตกกระทบลงไป ก็จะทำถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลและอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน การที่มีโฮลและอิเล็กตรอนอิสระนี้มาก ก็เท่ากับความต้านทางลดลง ซึ่งความเข้มแสงที่ตกกระทบมากความต้านทาน ก็ยิ่งลดลงมากความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นวินาทีเลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำ

ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ Photo Transistor เนื่องจากค่ากระแสด้านออกอยู่ในระดับหน่วยมิลลิแอมป์ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเข้มแสง และมีการสนองการเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างเร็ว

6. . การออกแบบตัวควบคุม โดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์เบอร์ 8051 ในการควบคุมการทำงานของแต่ละส่วนโดยแบ่ง2ส่วนคือ ส่วนรีโมตที่จะอยู่ที่ผู้ใช้งาน และ ส่วนตัวควบคุมหลอดจะอยู่ที่หลอดไฟในแต่ละชุด

สาเหตุที่ต้องใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ 2 ตัวเนื่องจากแต่ละส่วน ต้องทำงานแยกออกจากกันโดยหัวใจหลักการควบคุมระบบจะอยู่ไมโครคอนโทลเลอร์ ที่หลอดเนื่องจากใน1หลอด ต้องติดต่อตัวควบคุมที่ผู้ใช้หลายตัว ในทำนองเดียวกัน ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ 1 ชุด ก็จะต้องทำการติดต่อหลายหลอดด้วย

การรับส่งข้อมูลระยะไกลได้ใช้ชุดรับส่งข้อมูลโดยผ่านคลื่นวิทยุ ซึ่งในส่วนของตัวควบคุมที่ผู้ใช้จะมีชุดส่งข้อมูลโดยผ่านคลื่นวิทยุ เพื่อที่จะได้ส่งข้อมูลไปยังหลอดและในส่วนของชุดควบคุมหลอดก็จะมีชุดรับข้อมูลโดยผ่านคลื่นวิทยุ ที่รีโมตส่งมาให้ ในส่วนของรีโมตจะมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ติดอยู่ที่รีโมต เพื่อรับข้อมูลแสงที่หลอดส่งมาให้รีโมต ทำให้ระบบโดยรวมเป็นระบบการควบคุมแบบปิดและเป็นการสื่อสารสองทาง

I 20602790

3.5 แนวทางการออกแบบซอฟแวร์

ขั้นตอนการทำงาน

1. สร้างสัญญาณกำเนิดรหัสหลอด แล้วส่งผ่านทางแสง
2. รับสัญญาณรหัสหลอด
3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลหลอดที่รับได้จากแสง
4. ทำเก็บข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่ไมโครโปสเซสเซอร์ของตัวควบคุมที่ผู้ใช้
5. สร้างสัญญาณข้อมูลโดยผ่านคลื่นวิทยุ
6. รับสัญญาณข้อมูลจากตัวควบคุมที่ผู้ใช้
7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รับได้จากคลื่นวิทยุ
8. ทำการเก็บข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่ไมโครโปสเซสเซอร์ของตัวหลอด
9. ทำการประมวลการควบคุมที่ไมโครโปสเซสเซอร์ของหลอด เพื่อทำการปริมาณกระแสที่จ่ายให้ตัวควบคุมหลอด

โปรแกรมการทำงาน ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ไมโครโปสเซสเซอร์ที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้

1. ทำการเซตระบบภาวะเริ่มต้นของตัวควบคุมที่ผู้ใช้
2. รับข้อมูลทางแสงจนครบเฟรม
3. นำข้อมูลแสงที่รับได้มาวิเคราะห์ว่าเป็นรหัสหลอดใดส่งมาและวัดค่ายอดของแสงที่ส่งมา
4. ทำการเก็บข้อมูลในบัฟเฟอร์
5. ทำการสร้างสัญญาณเฟรมข้อมูลกลับขึ้นไปยังหลอด
6. นำข้อมูลที่ต้องการส่งมาเก็บในบัฟเฟอร์ข้อมูลหลอด
7. ทำการดึงข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปทีละไบต์ โดยผ่านทางคลื่นวิทยุจนครบเฟรม

ไมโครโปสเซสเซอร์ที่ชุดควบคุมหลอด

1. ทำการเซตระบบภาวะเริ่มต้นของหลอด
2. ไมโครโปสเซสเซอร์ทำการสร้างสัญญาณรหัสหลอด
3. รับข้อมูลทางคลื่นวิทยุจนครบเฟรม
4. นำเฟรมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์
5. ทำการเก็บข้อมูลในบัฟเฟอร์ข้อมูลตัวควบคุมที่ผู้ใช้

ลักษณะการทำงาน

1. การสร้างสัญญาณข้อมูลที่หลอด

การให้ไมโครโปสเซสเซอร์สร้างสัญญาณตามรหัสประจำตัวของหลอด โดยจะมีการส่งรหัสหลอดออกมาเป็นระยะๆตามรหัสประจำตัวของหลอด

2. การรับสัญญาณทางแสงที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้

เมื่อตัวควบคุมที่ผู้ใช้ได้รับแสงก็จะทำการเก็บข้อมูลที่ได้รับมาไว้ในบัฟเฟอร์แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับมาว่า เป็นรหัสของหลอดใดส่งมาให้ โดยทันทีที่ได้รับรหัสเริ่มต้นก็จะทำการรีเซตวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลของตัววัดค่ายอดของแสงที่รับได้มาแล้วทำการวัดค่ายอดของแสงที่รับได้ไปจนกว่าได้รับรหัสสิ้นสุดก็จะทำการอ่านค่ายอดของแสงที่วัดได้ทันที และที่ตัวรับนี้ก็ยังมีการตรวจสอบรหัส ตรวจสอบข้อผิดพลาดด้วย เพื่อป้องกันการชนข้อมูลทางแสง หลังจากนั้นจึงทำการสร้างสัญญาณข้อมูลที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้

3. การสร้างสัญญาณข้อมูลที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้

การให้ไมโครโปสเซสเซอร์สร้างสัญญาณค่าขนาดของแสงที่รับได้ และค่าความผิดพลาดของแสง เป็นเฟรม ด้วยอัตราบอดเรต 300 บิตต่อวินาที การติดต่อเฟรมข้อมูลนี้จะส่งให้ตัวหลอดใดขึ้นอยู่กับ ตัวควบคุมที่ผู้ใช้ตรวจสอบทางแสงว่าได้รับจากรหัสหลอดใดแล้วนำมาสร้างเฟรมข้อมูลสำหรับหลอดนั้นแล้วส่งข้อมูลเป็นคลื่นวิทยุ กลับไปให้ หลอดตัวเดิมนั้น

4 การรับสัญญาณทางคลื่นวิทยุที่หลอด

เมื่อตัวรับคลื่นวิทยุที่หลอดรับข้อมูลจนครบเฟรมได้แล้ว ก็จะนำข้อมูลไปไว้ในบัฟเฟอร์แล้วนำข้อมูลในบัฟเฟอร์มาวิเคราะห์ แล้วทำการตีความข้อมูลได้รับมา แล้วนำข้อมูลที่ตีความได้ไปทำการประมวลผลในระบบควบคุมเพื่อใช้การปรับแสงให้กับบัลลาสต์หรี่แสงต่อไป

การสื่อสารทั้ง 2 แบบเป็นลักษณะการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส(asynchronus) โดยไม่มีสัญญาณนาฬิกาควบคุม และจะใช้การส่งวนลูปอยู่เรื่อย ๆ ตลอดเวลา เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องการชนของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นได้การสร้างข้อมูลที่ผ่านแสงและผ่านคลื่นวิทยุ จะมีลักษณะเหมือนกันอยู่ว่า แต่ละหลอดหรือแต่ละตัวควบคุมที่ผู้ใช้จะมีการสร้างรหัสออกมาไม่พร้อมกัน ซึ่งการใช้รหัสประจำตัวของแต่ละตัวจะสามารถรับประกันได้ว่า โอกาสที่จะเกิดขึ้นสูงตัวเลขออกมานั้นเหมือนกันเป็นไปได้ค่อนข้างยาก

- การสร้างข้อมูลทางแสง มาจากไมโครโปรเซสเซอร์หลอดแต่ละหลอด เลื่อนเวลาการสร้างและส่งข้อมูลออกมาตามตัวเลขรหัสที่ชุดควบคุมหลอด

- การสร้างข้อมูลทางคลื่นวิทยุ จากไมโครโปรเซสเซอร์ที่ตัวควบคุมที่ผู้ใช้แล้วเลื่อนเวลาการสร้าง และส่งข้อมูลออกมาตามตัวเลขรหัสที่ชุดควบคุมผู้ใช้