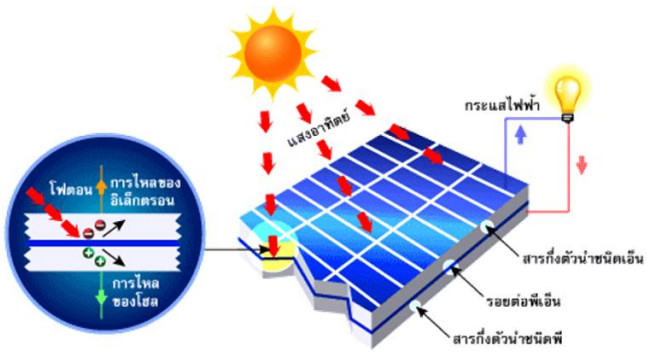
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในโครงงานนี้เป็นการสร้างชุดทดลองอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์มีวงจรหลักคือบูสท์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดัน DC ให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยไอซีทำหน้าที่ควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยแรงดันอินพุตที่ได้จะมาจาก PV ซึ่งเป็นตัวผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

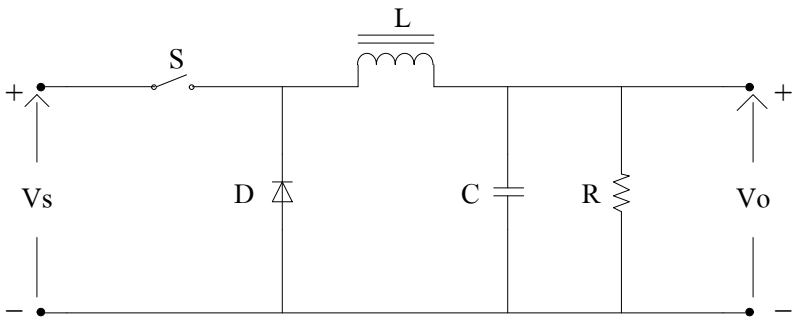
เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน(Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น โดยส่วนมากซิลิคอนจะมีราคาถูก

และมีมากที่สุดบนพื้นโลกจึงเป็นที่นิยมใช้กัน ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

จากหลักการการผลิตไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงนั้น ทำให้พบว่า แรงดันที่ได้จะแปรผันตามคุณภาพของแสงอาทิตย์ กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่มีแสงมากก็จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มาก และในช่วงที่มีแสงน้อยก็จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อย ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้ไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมแรงดันให้คงที่ ก่อนที่จะส่งไปใช้งานยังวงจรอื่นๆต่อไป

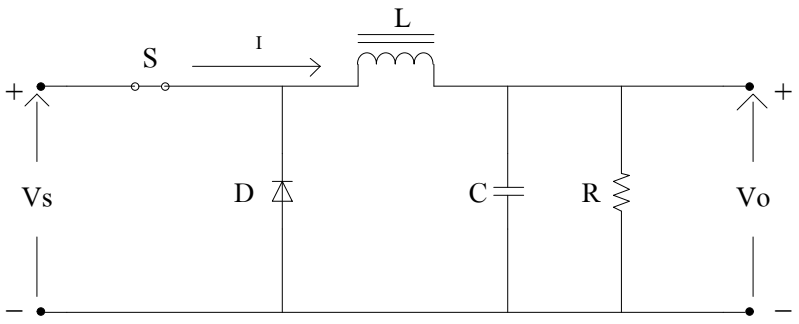
2.2 บัคคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรทอนระดับแรงดัน [2]

การทำงานของบัคคอนเวอร์เตอร์ แรงดันที่เอาท์พุตหรือแรงดันที่โหลดจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายเสมอ การปิดเปิดของสวิทช์จะใช้ Power MOSFET หรือ IGBT โดยแยกการทำงานเป็น 2 โหมด



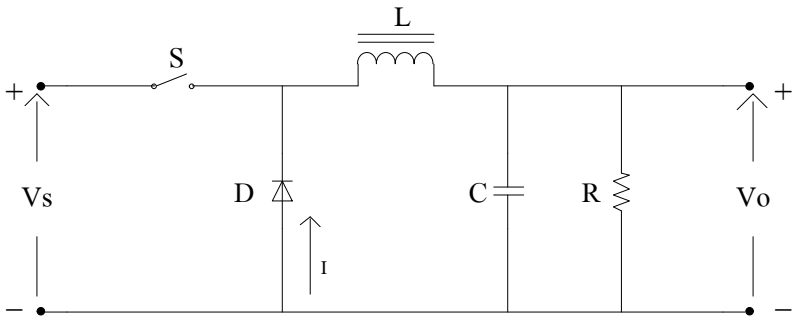
ภาพที่ 2.2 แสดงวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

โหมดที่ 1 กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลด กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามตัวกรอง L และถูกกรองด้วยตัวประจุ C ค่ากระเพื่อม (ripple) ของแรงดันจะขึ้นอยู่กับตัวประจุส่วนค่ากระเพื่อม (ripple) ของกระแสจะขึ้นกับขนาดของตัวเหนี่ยวนำ

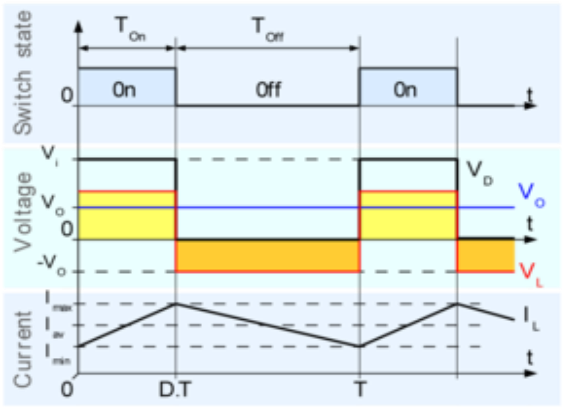


ภาพที่ 2.3 แสดงช่วงขณะสวิทช์นำกระแส

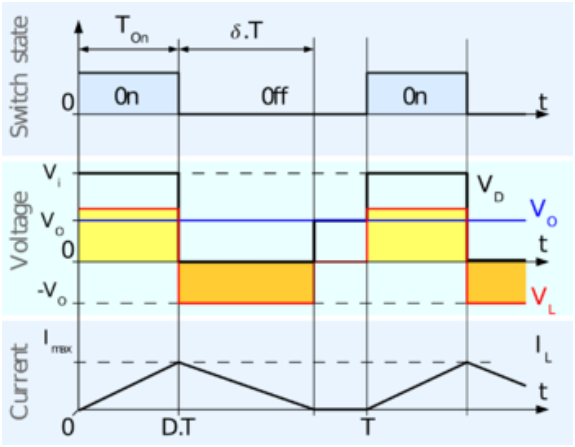
โหมดที่ 2 สวิทช์จะหยุดทำงาน กระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำยังคงมีความต่อเนื่อง และไหลผ่านไดโอด ทำให้กระแสค่อยๆลดลง



ภาพที่ 2.4 แสดงช่วงขณะสวิทช์หยุดนำกระแส



ภาพที่ 2.5 แสดงคลื่นสัญญาณของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วง Continuous Mode

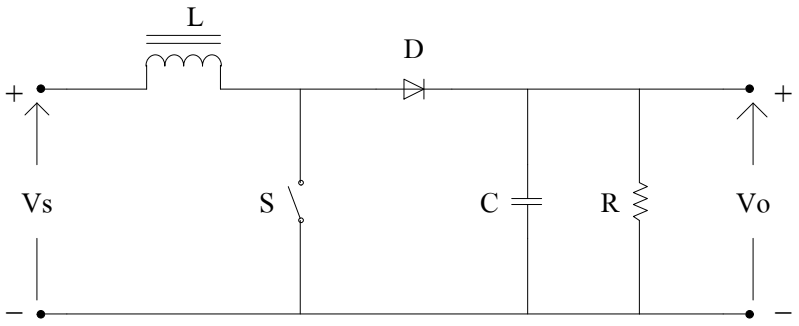


ภาพที่ 2.6 แสดงคลื่นสัญญาณของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วง Dis - Continuous Mode

จากหลักการทำงานพื้นฐานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ หรือวงจรทอนระดับแรงดันที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น เพื่อให้เข้าใจการเพิ่ม – ลดระดับแรงดันมากยิ่งขึ้น ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงหลักการทำงานพื้นฐานของบูสท์คอนเวอร์เตอร์ หรือวงจรทบระดับแรงดัน

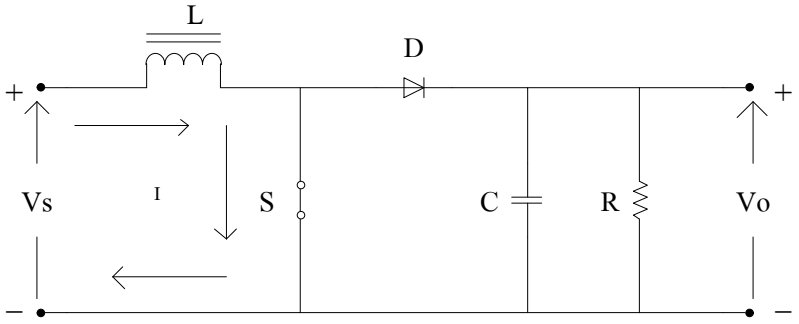
2.3 บูสท์คอนเวอร์เตอร์หรือวงจรทบระดับแรงดัน [2]

การทำงานของบูสท์คอนเวอร์เตอร์ แรงดันทางด้านเอาท์พุตจะมากกว่าแรงดันทางด้านอินพุต การบูสท์จะเกิดจากการสะสมพลังงานของตัวเหนี่ยวนำ เพราะฉะนั้นการที่จะสามารถบูสท์ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเหนี่ยวนำ โดยแยกการทำงาน 2 โหมด



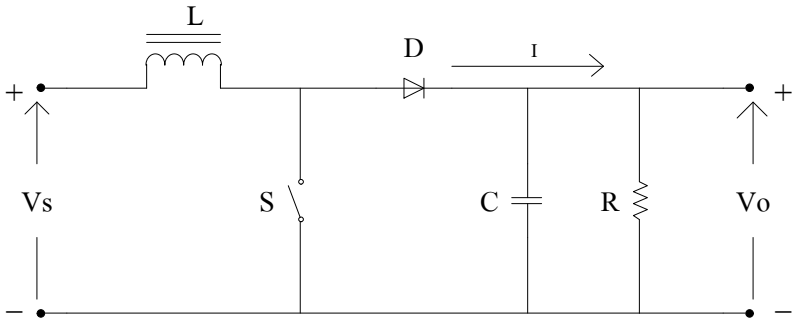
ภาพที่ 2.7 แสดงวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์

โหมดที่ 1 สวิตช์ S ต่อวงจร (Close) และไดโอดทำหน้าที่เหมือนสวิตช์หนึ่งตัวเปิดวงจร (Open) จะมีกระแสไหลผ่านขดลวด L ทำให้เกิดพลังงานสะสมที่ขดลวด L อยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

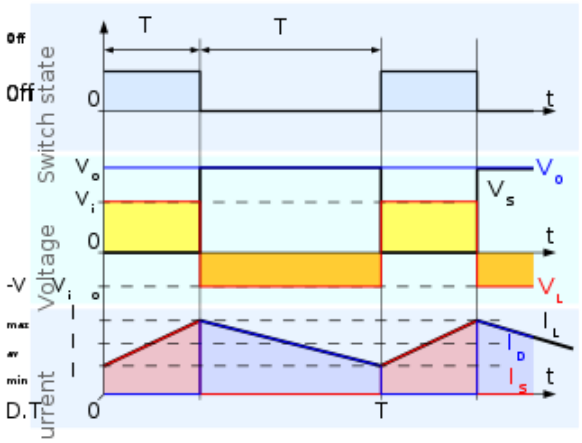


ภาพที่ 2.8 แสดงช่วงขณะสวิทช์นำกระแส

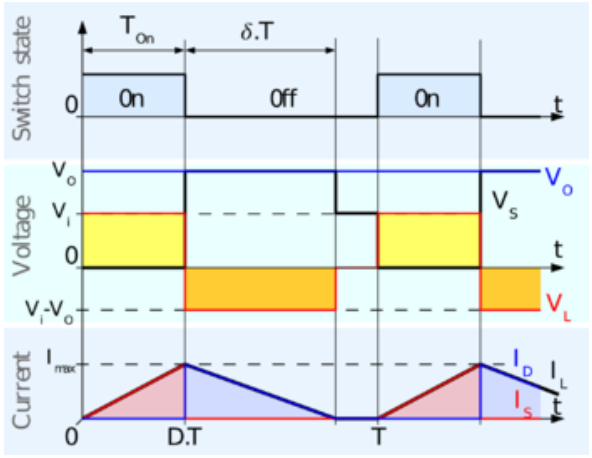
โหมดที่ 2 สวิทช์ S เปิดวงจร (Open) และไดโอดทำหน้าที่เหมือนสวิตช์หนึ่งตัวต่อวงจร (Close) สนามแม่เหล็กที่สะสมที่ขดลวด L จะยุบตัวตัดกับขดลวดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด L มีขั้วแรงดันไฟฟ้าอนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (Vin) ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด L ค่าของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดจะมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ (Vin)



ภาพที่ 2.9 แสดงช่วงขณะสวิทช์หยุดนำกระแส



ภาพที่ 2.10 แสดงคลื่นสัญญาณของวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ในช่วง Continuous Mode

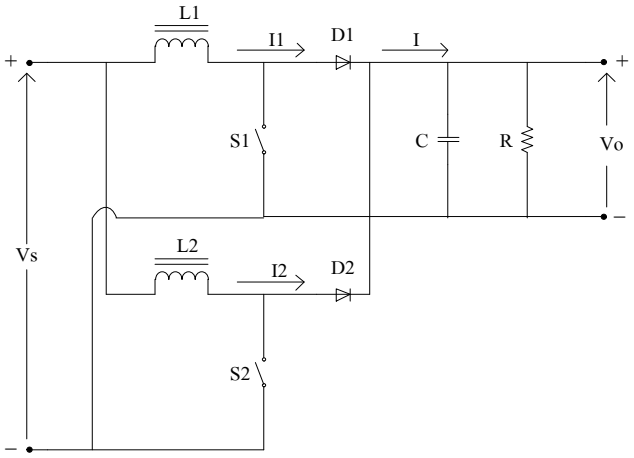


ภาพที่ 2.11 แสดงคลื่นสัญญาณของวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ในช่วง Dis - Continuous Mode

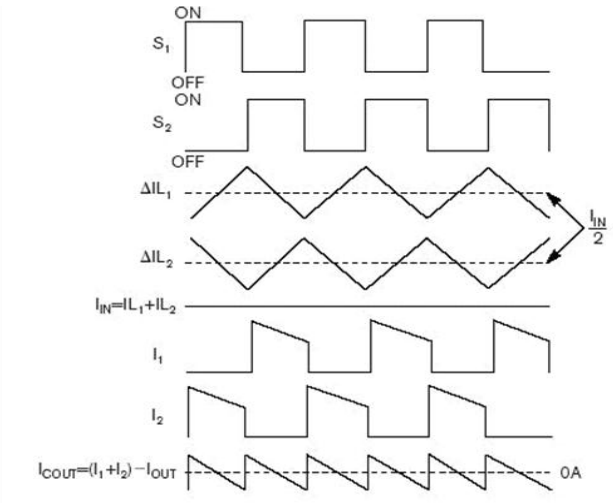
จากหลักการการทำงานพื้นฐานของวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ หรือวงจรทบระดับแรงดันที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึง อินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ที่จะใช้วงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้เป็นหลัก

2.4 อินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ [3]

เนื่องจากวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์วงจรเดียวทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้อาจไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงมีการนำบูสท์คอนเวอร์เตอร์มาต่อขนานเข้าไปอีกหนึ่งวงจรเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า โดยทั้ง 2 วงจรต้องทำงานสอดคล้องกันในลักษณะของอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ มีการสลับช่วงเวลาการทำงานของแต่ละวงจร



ภาพที่ 2.12 แสดงวงจรอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 2.13 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของวงจรอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์

จากหลักการนำวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์มาขนานกัน เพื่อใช้ทำอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์ อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบวงจรอินเตอร์ลีฟบูสท์คอนเวอร์เตอร์หลักๆ ก็จะมี ตัวเหนี่ยวนำ มอสเฟตกำลัง วงจรควบคุม ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.5 มอสเฟตกำลัง [4]

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุทต่ำมากๆความเร็วในการสวิตช์สูง เวลาในการสวิตช์ต่ำมากเป็นนาโนวินาที มอสเฟตกำลังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน Converter ที่กำลังต่ำ ความถี่สูง มอสเฟตมีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ Second Breakdown เหมือนกับทรานซิสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามมอสเฟตก็มีปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตและต้องการเก็บรักษาอย่างเป็นพิเศษ

2.5.1 หลักการทำงานของมอสเฟต

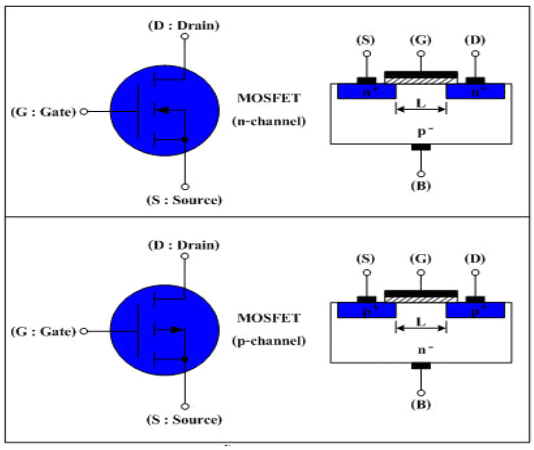
N - MOS เมื่อปล่อยความต่างศักย์สูง จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศลงอย่างแรง โฮลใน P-Type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีอิเล็กตรอนอิสระมากจนเป็น N-Type ได้ เรียกว่า Channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง Channel นี้ซึ่งเป็น N-Type เหมือนกับ Drain และ Source ได้โดยใช้อิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะ

P - MOS จะทำงานกลับกับ N - MOS โดยเมื่อปล่อยความต่างศักย์ต่ำ (โดยมากมักจะติดลบ) จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศขึ้นอย่างแรง อิเล็กตรอนอิสระใน N-Type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีโฮล บางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบนส่งผลให้บริเวณด้านบนมีโฮลมากจนเป็น P-Type ได้เรียกว่า Channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง Channel นี้ซึ่งเป็น P-Type เหมือนกับ Drain และ Source ได้โดยใช้โฮลเป็นพาหะ

2.5.2 ประเภทของมอสเฟต

N - MOS (Negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท NPN เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก (สนามไฟฟ้าแรง) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก Source ไป Drain ได้

P - MOS (Positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท PNP เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ (สนามไฟฟ้าอ่อน) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก Source ไป Drain ได้



ภาพที่ 2.14 แสดงมอสเฟสชนิด N และ P มอสเฟต

2.6 ตัวเหนี่ยวนำ [5]

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ตัวเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบค่าคงที่และแบบปรับค่าได้ ตัวเหนี่ยวนำเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อินดักเตอร์ หรือเรียกย่อ ๆ ว่าตัวแอล (L) หน่วยของการเหนี่ยวนำคือ เฮนรี่ (Henry)

2.6.1 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำแบบค่าคงที่ (Fixed Inductors) คือตัวเหนี่ยวนำที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยปกติตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ ทำมาจากขดลวดทองแดง แกนที่ใช้พันขดลวดจะมีปลายลวดยื่น

ออกมาทั้งสองข้าง รูปร่างโดยทั่วไปจะเป็นแกนยาวแบบทรงกระบอก มีชื่อเรียกแตกต่างกันเช่น โซลินอยด์, เซอร์เฟสเมาส์, โช๊ค, เทอร์รอยด์ และแบบแถบสี ฯลฯ เป็นต้น

ตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ (Variable Inductors) นิยมใช้ในเครื่องรับวิทยุ ค่าการเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ของแกนหมุนที่สามารถปรับสกรูเลื่อนตำแหน่งของขดลวดให้เข้าหรือออก เพื่อเปลี่ยนค่าของความเหนี่ยวนำ ถ้าแกนเคลื่อนที่ออกมานอกสุด ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าหมุนสกรูให้แกนเคลื่อนที่เข้าไปในขดลวดมาก จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย ในการปรับควรใช้เครื่องมือที่ทำด้วยพลาสติก หรืออุปกรณ์จำพวกที่ไม่ใช่โลหะ เนื่องจากวัสดุที่ทำมาจากโลหะจะไปรบกวนการเกิดสนามแม่เหล็กและมีผลต่อค่าความความเหนี่ยวนำได้

ภาพที่ 2.15 แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบต่างๆ

2.6.2 สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปร 4 ประการคือ

1 จำนวนรอบของขดลวดเขียนแทนด้วยอักษร N ถ้าจำนวนรอบของขดลวดมีปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับจำนวนรอบของขดลวด

2 วัสดุที่นำมาทำเป็นแกน เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ μ วัสดุที่นำมาทำเป็นแกนมีหลายชนิด เช่น อากาศ, เหล็ก, เฟอร์ไรท์, โคบอล ฯลฯ เป็นต้น แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่เรียกว่าความซึมซาบ (Permeability) แตกต่างกันในกรณีที่มีความซึมซาบมากก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมาก ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับความซึมซาบของแกน

3 พื้นที่หน้าตัดของแกนเขียนแทนด้วยอักษร A ถ้าพื้นที่ของแกนมีปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับพื้นที่ของแกน

4 ความยาวของแกน เขียนแทนด้วยอักษร l ถ้าความยาวของแกนมีปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำน้อย ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผกผันกับความยาวของแกน

การคำนวณค่าความเหนี่ยวนำหาได้จาก

$$\text{ค่าความเหนี่ยวนำ} \qquad L = \frac{N^2 \times \mu \times A}{l} \qquad (2.6.2)$$

โดยที่ N คือจำนวนรอบของขดลวดมีหน่วยเป็นรอบ

μ คือค่าความซึมซาบของวัสดุที่นำมาทำเป็นแกน

A คือพื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

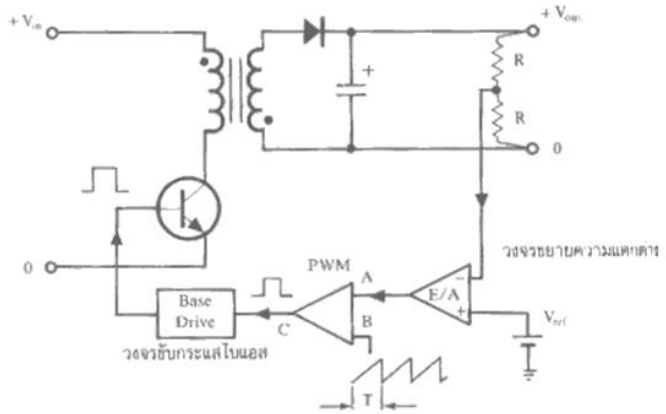
L คือความยาวแกนมีหน่วยเป็นเมตร

2.7 วงจงควบคุมระดับแรงดัน [4]

ในการควบคุมระดับแรงดันให้คงที่ของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่ง โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างพัลส์ (PWM) ซึ่งเป็นการควบคุมโดยเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่อุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์, มอสเฟส หรืออื่นๆ นั้นนำกระแส เป็นผลให้เกิดการควบคุมแรงดันที่เอาท์พุตให้ได้ค่าที่ต้องการ ซึ่งข้อดีของการควบคุมแรงดันแบบ PWM คือ สามารถรักษาระดับแรงดันให้มีความคงที่สูง เพราะมีการป้อนกลับระดับแรงดันจากเอาท์พุตมาใช้ในการควบคุมด้วย รวมทั้งทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานในการควบคุมแรงดันต่ำส่งผลให้มีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะใช้งานสูง สามารถทำได้สองลักษณะ คือ ควบคุมจากแรงดัน และควบคุมจากกระแส

2.7.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control)

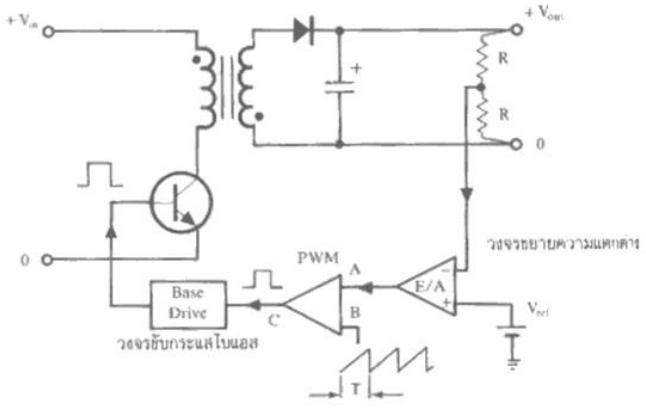
การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากอย่างไรก็ตามวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสนี้ก็ยังคงใช้เทคนิคพัลส์วิทช์มอดูเลชั่นเช่นกัน



ภาพที่ 2.16 แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมกระแส

2.7.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลักวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน



ภาพที่ 2.17 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน

วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุต และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง Vref ของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อนที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลการมอดูเลตของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์