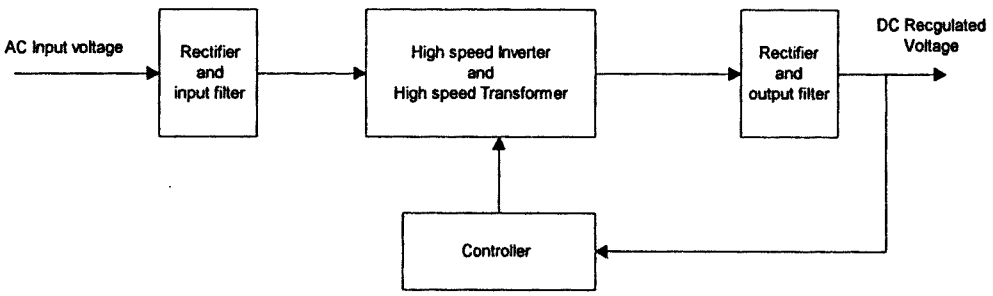
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง

ภาพรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งโดยทั่วไปนั้นมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันเป็นไปตามภาพประกอบที่ 2-1 คือ

- วงจรเรียงกระแสด้านเข้า (Input rectifier with RC filter)
- วงจรอินเวอร์เตอร์กระแสตรงและหม้อแปลงความถี่สูง (High frequency Inverter and High frequency transformer)
- วงจรเรียงกระแสด้านออกพร้อมกับวงจรกรองแรงดัน (Output Rectifier anf Filter Circuit)
- ตัวควบคุม (Controller)



ภาพประกอบที่ 2-1 ภาพรวมของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตชิ่ง

แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่งโดยทั่วไป ถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ ซึ่งแรงดันไฟสลับจะต่อเข้ากับวงจรเรียงกระแสด้านเข้า ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นไฟกระแสตรงแรงดันสูง จากนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์จะทำการสวิตช์เปลี่ยนแรงดันไฟให้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่สูง ซึ่งในส่วนของวงจรสวิตช์นี้อาจจะสร้างได้จากอุปกรณ์หลายชนิดอาทิเช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง, มอสเฟสกำลัง และรูปคลื่นที่ออกจากวงจรสวิตช์จะถูกส่งเข้าหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อให้ได้แรงดันเอาท์พุทตามต้องการ และแรงดันเอาท์พุทที่ได้นี้จะถูกส่งเข้า อีกครั้งหนึ่ง เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะได้แรงดันเอาท์พุทตามต้องการ แต่ถึงอย่างไร แรงดันไฟสลับทางด้านอินพุท หรือโหลดทางด้านเอาท์พุทอาจเปลี่ยนแปลงไปบ้างเป็นผลทำให้แรงดันเอาท์พุทไม่คงที่ ดังนี้แรงดันไฟตรงที่ได้จาก วงจรเรียงกระแสด้านออกพร้อมกับวงจรกรองกระแสจะถูกป้อนกลับมาควบคุม และตรวจสอบแรงดันที่เอาท์พุทให้มีค่าคงที่ด้วยอีกที่หนึ่ง

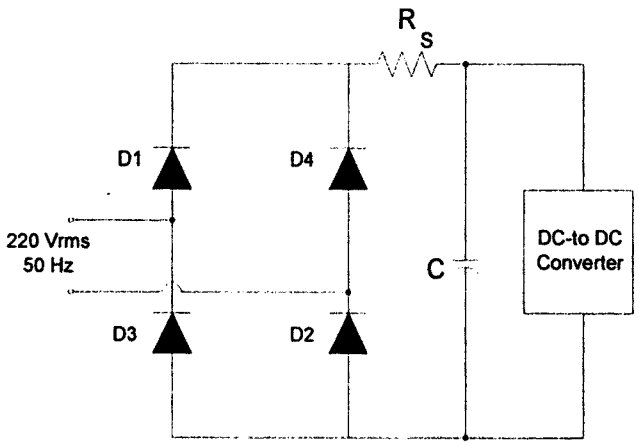
2.1 วงจรเรียงกระแสด้านเข้า

ในส่วนวงจรอินพุทของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดันนับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เพราะว่าในส่วนนี้จะรับกำลังงานโดยตรงจากแหล่งจ่าย ซึ่งเราอาจจะแยกส่วนที่สำคัญๆ ของวงจรเรียงกระแสด้านเข้าและวงจรกรองแรงดันด้านอินพุทได้ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ คือ

- วงจรเรียงกระแสด้านเข้า (Input rectifier)
- ฟิวส์ (fuse)
- วงจรกรองสัญญาณรบกวน(Radio frequency interference, RFI)

2.1.1 วงจรเรียงกระแสด้านเข้าพร้อมกับวงจรกรองสัญญาณแบบ RLC

มีหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อนำไปเป็นแรงดันด้านอินพุทให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง ต่อไป ซึ่งวงจรเรียงกระแสสามารถแสดง ได้ดังภาพประกอบที่ 2-2



ภาพประกอบที่ 2-2 วงจรเรียงกระแสอินพุท

เมื่อดูจากวงจรในภาพประกอบที่ 2-2 จะเป็นว่า วงจรเรียงกระแสนั้นมีอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ตัว ด้วยกันคือ

2.1.1.1 ความต้านทานแฝง (R_s)

2.1.1.2 ตัวเก็บประจุ (Filter Capacitor, C)

2.1.1.3 ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier diode, D_1-D_4)

2.1.1.1 ความต้านทานแฝง(Rs)

ความต้านทาน R_s เกิดขึ้นมาจากความด้านทานรวมทั้งหมดที่แฝงมาในอุปกรณ์ต่างๆได้แก่ ฟิวส์อินพุท, ไดโอด ซึ่งความต้านทาน R_s จะมีประโยชน์มากในวงจรเรียงกระแส คือ เป็นตัวจำกัดกระแสกระชาก ที่เกิดขึ้นในขณะเริ่มเปิดเครื่องทำงาน ฉะนั้นในการเพื่อเป็นการลดกระแสกระชากจะทำได้โดยนำความต้านทานมาต่อเพิ่ม

2.1.1.2 ตัวเก็บประจุ (Filter capacitor)

ตัวเก็บประจุกรองแรงดันจะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด ทั้ง 4 ตัว ให้เป็นแรงดันไฟตรงที่เรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าสูงพอแก่ความต้องการของวงจรแปลงแรงดัน ซึ่งการทำงานของตัวเก็บประจุกรองแรงดันนั้นจะทำงานในลักษณะการเก็บและคายประจุ ในทางปฏิบัตินั้นเราจะมีหลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดและค่าของตัวเก็บประจะกรองแรงดัน ดังนี้

อัตราทนกระแสกระเพื่อม นี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุภาระ และแรงดันเกิดขึ้นจากการเก็บประจุและคายประจุ ของตัวเก็บประจุเองด้วย

แรงดันกระเพื่อม ซึ่งข้อกำหนดนี้ จะให้กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอย่างต่ำในวง โดยทั่วไปการออกแบบเรียงกระแสจะกำหนดให้มีแรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท ซึ่งแรงดันกระเพื่อม นี้จะมีค่าขึ้นเมื่อภาระใช้กระแสมาก และเราสามารถกำหนดค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดัน เพื่อให้ได้ค่าแรงดันกระเพื่อม ไม่เกิน 10เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท ได้ดังนี้

$$C = \frac{I_{dc}\Delta t}{\Delta V_{r(p-p)}} \qquad (2.1)$$

อัตราทนแรงดัน ตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้ควรทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุท เช่น ที่แรงดันไฟตรงเอาท์พุทเท่ากับ 300 โวลท์ ตัวเก็บประจุกรองแรงดันในกรณีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะต้องทนได้อย่างน้อย 450 โวลท์ เป็นต้น

ขนาดราคา ตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้นจะเป็นชนิดอิเล็กทรอไลต์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติให้ความจุและทนแรงดันได้สูง แต่จะมีข้อเสีย คือมีขนาดใหญ่และราคาแพง ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่าสูงและทนแรงดันได้สูงมากเท่าไร ก็จะยิ่งมีราคาแพงและขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น

Hold up time เป็นช่วงระยะเวลาอย่างต่ำที่แหล่งจ่ายไฟจะยังคงรักษาแรงดันที่เอาท์พุทได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เพื่มอินพุทหยุดจ่ายหรือลดลงต่ำกว่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ hold up time นี้จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ภาระ และแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

ขณะที่แรงดันอินพุทตกหรือหยุดจ่ายกระแสไป

2.1.1.3 ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier didoe)

ในวงจรเรียงกระแสนั้น เรามีหลักในการพิจารณาไดโอดที่จะนำมาใช้งาน จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

กระแสกระชาก ค่ากระแสสูงสุดในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่เกิดการเก็บประจุที่ตัวเก็บประจุกรองแรงดันอีกครั้ง หลังจากการคายประจุแก่ภาระ

อัตราทนกระแสไบอัสตรง เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดทนได้ โดยไม่พังเสียก่อน โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 1.5-2 เท่าของค่ากระแสปกติ

อัตราแรงดันไบอัสกลับสูงสุด หรือเรียกอีกชื่อว่าแรงดันสูงสุดของการไบอัสย้อนกลับ เมื่อต่อไดโอดแบบบริดจ์ จะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อไบอัสกลับเท่ากับแรงดันเอาท์พุทของวงจรแต่เมื่อต่อแบบวงจรเรียงกระแส แบบทวีแรงดันจะมีแรงดันไบอัสกลับเป็น 2 เท่าของแรงดันเอาท์พุท ไดโอดที่ใช้ควรมีค่าอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด ไม่ต่ำกว่าข้อกำหนดข้างต้น

2.1.2 ฟิวส์ (Fuse)

ในวงจรเรียงกระแสนี้จะมีอุปกรณ์สำคัญสำหรับป้องกันความเสียหายเนื่องจากกระแสเกินและแยกส่วนวงจรออกาจากแหล่งจ่ายไฟกรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในวงจรเรียงกระแส คือ ฟิวส์ ควรพิจารณาดังนี้คือ

ค่าอัตราทนแรงดัน ค่าอัตราทนแรงดันของฟวิส์นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรนำมาพิจารณา โดยที่ค่าอัตราทนแรงดันของฟิวส์ที่ใช้ควรจะมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับค่าของแรงดันในวงจร เพื่อลดการอาร์ตของฟิวส์ขณะตัดวงจร ซึ่งฟิวส์มาตรฐานสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์จะมีอัตราทนแรงดันได้ คือ 30, 60, 125, 250, 300, 600 และ 700 โวลท์ เป็นต้น

ค่าอัตราทนกระแส ค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์สามารถกำหนดได้จากค่ากราฟRMSด้านอินพุท ของวงจรเรียงกระแสซึ่งว่าค่ากระแส RMS ของวงจรเรียงกระแส จะขึ้นอยู่กับค่าของภาระ ค่าความต้านทาน R_s และตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนั้นการพิจารณาอัตราทนกระแสของฟิวส์ จึงอาจกำหนดได้จากค่ากระแสของวงจรเรียงกระแสนั้นเอง และเพื่อเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานเราอาจจะเผื่อค่าอัตราทนกระแสไว้อีก 50เปอร์เซ็นต์ ก็ได้

ชนิดของฟิวส์ในงานอิเล็กทรอนิกส์ เราอาจจะแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด โดยพิจารณาจากความเร็วในการตัดวงจรของฟิวส์ดังนี้ คือ

- ฟิวส์ขาดเร็วมาก
- ฟิวส์ขาดเร็ว
- ฟิวส์ขาดช้าปานกลาง

- ฟิวส์ขาดช้า
- ฟิวส์ขาดช้ามาก

ดังนั้นในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งจะมีฟิวส์ที่ใช้สำหรับวงจรเรียงกระแส หลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาใช้ในวงจรเรียงกระแส คือ ฟิวส์ชนิดขาดช้า เพราะขณะเริ่มทำงานจะมีกระแสกระชากสูง เนื่องจากตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ดังนั้นการใช้ฟิวส์ขาดช้านี้จะทำให้ฟิวส์ไม่ตัดวงจรขณะเปิดเครื่อง

2.1.3 วงจรกรองสัญญาณ RFI

ในการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง จะเป็นการงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างทันทีทันใดที่ค่ากระแสสูงๆ ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งจึงเป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก(EMI) และสัญญาณรวบกวนความถี่วิทยุ(RFI) ได้อย่างดี ซึ่งจะมีช่วงความถี่รบกวนอยู่ในช่วง 10 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 30 กิโลเฮิรตซ์ เกิดจากการสวิตช์ในภาคอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้จะเป็นรูปแบบของฮาร์มอนิกความถี่สูงอย่างโดดเด่น และความถี่เหล่านี้จะไปรบกวนการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องมือวัด ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสาร ระบบควบคุม ดังนั้นในแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่งที่ดีจึงต้องมีวงจรกรองสัญญาณรบกวน EMI/RFI ด้วย

2.2 อินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง (DC to DC converter)

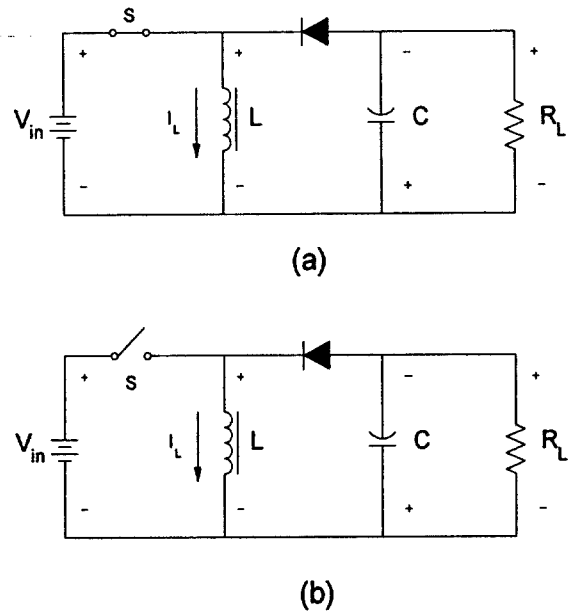
หลังจากที่ได้เรียนรู้ถึงหลักการออกแบบวงจรเรียงกระแส และวงจรกรองมาแล้ว ต่อไปจะมาพิจารณาถึงอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง ซึ่งจากไดอะแกรมในภาพประกอบที่ 2-1 จะเป็นได้ว่าในส่วนของอินเวอร์เตอร์แรงดันกระแสตรง จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

- อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency inverter)
- หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer)
- วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน(Input and output rectifier)
- ตัวควบคุม (Controller)

ถึงแม้ว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีหลายแบบ แต่ก็ล้วนมีพื้นฐานมาจากวงจร 3 แบบคือ

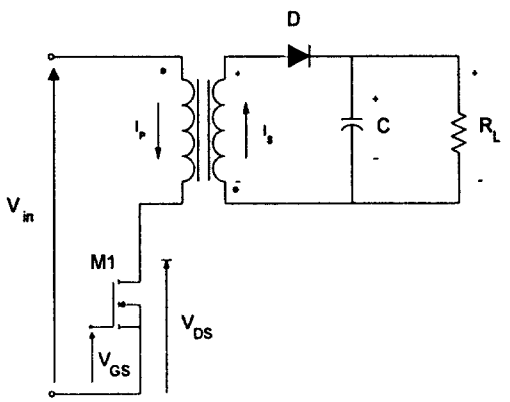
- ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost)
- ฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)
- พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived) ซึ่งในตระกูล พุช – พูล นี้ จะสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น ฮาร์ฟบริดจ์ และ ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half bridge and full bridge)

2.2.1 ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Flyback or Buck-Boost)



ภาพประกอบที่ 2-3 วงจร ฟลายเบ็ค หรือ บั๊ก-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงลักษณะของฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เมื่อสวิตช์ S ปิด รูป (a) กระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ สะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก ไดโอด D จะถูกไบอัสกลับจึงยังไม่มีแรงดันตกคร่อม R_L ในขณะนี้ต่อมา เมื่อสวิตช์เปิด รูป (b) ตัวเหนี่ยวนำก็จะคายพลังงานออกมาเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กยุบตัว แต่ขั้วของแรงดันจะกลับกันกับที่ป้อนเข้ามาทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงนำกระแสจากการคายพลังงานกลับของตัวเหนี่ยวนำไปสู่ภาระ และจะมีขั้วแรงดันตรงข้ามกับแรงดันอินพุท ถ้าสวิตช์เปิด-ปิดเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องกระแสอินพุทและเอาท์พุทก็จะมีลักษณะเป็นรูปเคลื่อนสี่เหลี่มอย่างต่อเนื่องด้วย จึงสามารถจะสรุปได้ว่า ในคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้นั้นพลังงานจะถูกเก็บในตัวเหนี่ยวนำ ในระหว่างที่สวิตช์ปิดและพลังงานจะถูกปล่อยไปสู่ภาระในระหว่างสวิตช์เปิด

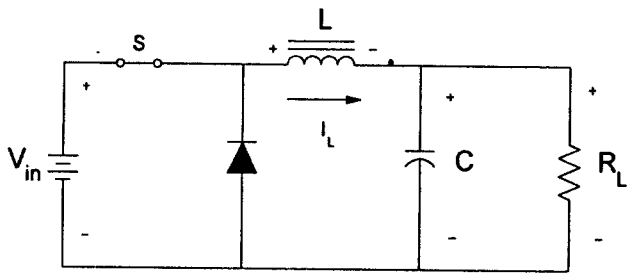


ภาพประกอบที่ 2-4 วงจร ฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ที่มีการแยกทางไฟฟ้า

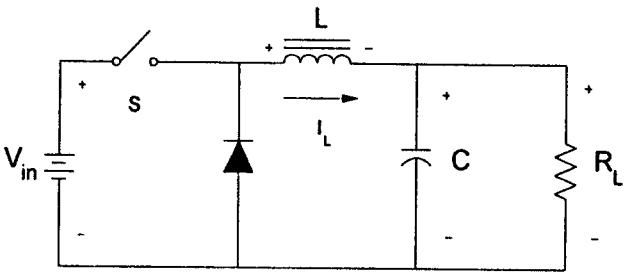
รูปแบบพื้นฐานของฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2-3 นั้นไม่ได้รับการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทจึงไม่ค่อยปลอดภัยเท่าไร ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่ใช้ในทางปฏิบัติจึงจำเป็นที่จะต้องมีหม้อแปลงแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างไฟตรง 300 โวลท์กับเอาท์พุท ฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้กันในทางปฏิบัติคือภาพประกอบที่ 2-4

การทำงานฟลายเบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ เมื่อมอสเฟส M_1 นำกระแส กระแสจะไหลผ่านขดปฐมภูมิ และสะสมพลังงานไว้ แต่แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิจะมีขั้วตรงกันข้ามกับขดปฐมภูมิ (สังเกตจากจุดที่ขดปฐมภูมิ) ดังนั้นจึงไม่มีพลังงานปล่อยไปยังภาระ เพราะไดโอดถูกไบอัสกลับ และเมื่อ M_1 หยุดนำกระแสของปฐมภูมิ ของหม้อแปลงจะคายพลังงานออกมาแต่ขั้วแรงดันจะกลับกัน ทำให้ไดโอดด้านทุติยภูมิ ได้รับไบอัสตรงนำกระแสผ่านไปยัง ภาระและตัวเก็บประจุ แม้ว่าหม้อแปลงจะทำให้หน้าที่แยกจากกันทางไฟฟ้าแล้วยังกระทำตัวเป็นโชค์ก อีกด้วย ซึ่งในทางทฤษฎีไม่จำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำที่เอาท์พุทอีก แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใส่ตัวเหนี่ยวนำค่าน้อยๆ ไว้ตรงระหว่างไดโอด และตัวเก็บประจุ เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดจากการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์เอง

2.2.2 ฟอร์เวิร์ด หรือ บั๊ก คอนเวอร์เตอร์ (Forward or Buck)



(a)



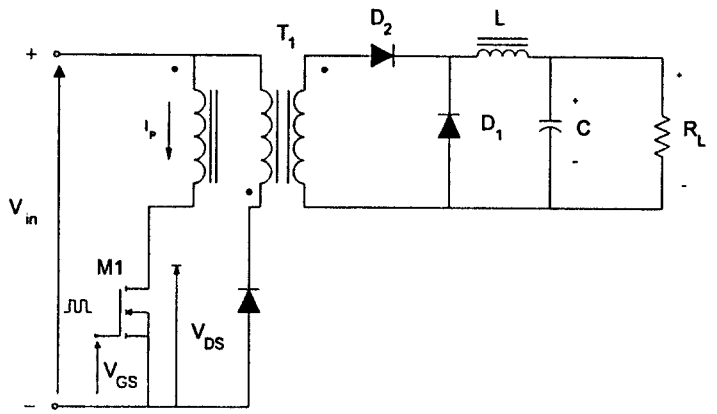
(b)

ภาพประกอบที่ 2-5 วงจรบั๊ก คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงการทำงานของ ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์เมื่อสวิตช์ปิดกระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปสู่ภาระ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมภาระและมีขั้วเหมือนกับอินพุท ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-5(a) ไดโอดจะถูกไบอัสกลับ ในตอนนี้และเมื่อสวิตช์เปิดสนามแม่เหล็กที่ตัวเหนี่ยวนำจะยุบตัวคายพลังงานออกมาในรูปกระแสและมีขั้วแรงดันดังภาพประกอบที่ 2-5(b) ทำให้ไดโอดได้รับ ไบอัสตรงนำกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและ ภาระ แรงดันที่ตกคร่อมภาระจึงยังมีขั้วเหมือนเดิม ไดโอดในวงจรนี้มักจะถูกเรียกว่า free wheeling หรือ flywheel diode เพราะการทำงานดังกล่าวกระแสเอาท์พุท ที่ได้จะต่อเนื่อง ถึงแม้ขณะที่กระแสอินพุทจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมก็ตาม

แต่ถึงอย่างไรก็ตามรูปแบบวงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ ที่แสดงในภาพประกอบที่ 2-5 นั้นจะไม่ได้รับการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุท กับ เอาท์พุท จึงไม่ค่อยปลอดภัยนัก ดังนั้นจึงพัฒนามาเป็นวงจรในภาพประกอบที่ 2-6 การทำงานของฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2-6 เมื่อ M_1 ทำงานจะมีกระแสไหลผ่านขดทุติยภูมิ ของหม้อแปลง และเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กและยังส่งสนามแม่เหล็กบางส่วนไปคล้องเกี่ยวอีก 2 ขด ที่เหลือโดยแรงกันที่จุดของ ปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ จะมีขั้วเหมือนกันตลอด ดังนั้นในขณะนี้จึงมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_2 พลังงานในตัวเหนี่ยวนำ และส่งต่อไปยังภาระ R_L ส่วน D_3 จึงจะถูก ไบอัสกลับ เมื่อ M_1 หยุดทำงานสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจะยุบตัวทำให้ขั้วแรงดันที่จุดทางด้านทุติยภูมิ เปลี่ยนเป็นลบ D_2 จึงถูกไบอัสกลับ ดังนั้นตัวเหนี่ยวนำจึงคายพลังงานโดยผ่าน R_L และ D_3 แต่สำหรับขดกลาง คือ ขด Magnetization ของหม้อแปลง T_1 นั้นจะทำหน้าที่หักล้างสนามแม่เหล็กตกค้าง เมื่อ M_1 หยุดทำงานโดยจะส่งพลังงานแม่เหล็กกลับจากทิศทางเดิมในรูปของกระแส โดยกระแส Magnetization มีค่าเท่ากับ สมการที่ 2.2

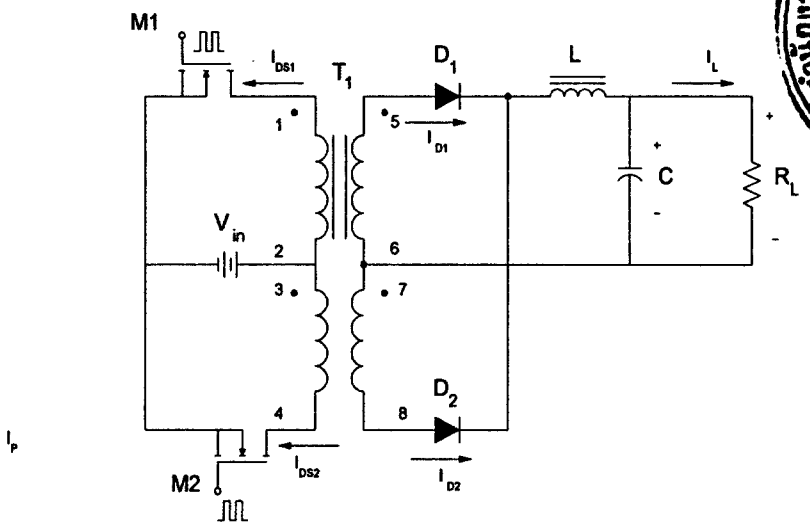
$$I_{max} = \frac{TD_{(max)}V_m}{L} \qquad (2.2)$$



ภาพประกอบที่ 2-6 ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์

2.2.3 พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull or Buck-Derived)

การทำงานของพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ เปรียบเหมือนการนำ ฟอร์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ 2 วงจรมาต่อร่วมกันโดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ลักษณะวงจรพื้นฐานของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ จะแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-7



ภาพประกอบที่ 2-7 วงจรพุช — พูล คอนเวอร์เตอร์

ลักษณะการทำงานของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ จะทำงานดังนี้คือ เมื่อ M_1 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิของ T_1 จากจุด2 ไปยังจุด 1 ดังนั้นจุด 5 และ 7 ทางด้านขดทุติยภูมิจึงมีศักย์เป็นลบ เมื่อเทียบกับจุด 6 และ8 ตามลำดับ D_1 จึงถูกไบอัสกลับในขณะที่ D_2 ได้รับไบอัสตรงนำกระแส I_{D2} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและภาระ และในลักษณะเดียวกันเมื่อ M_2 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านจากจุด 3 ไปจุด 4 ของขดปฐมภูมิ ทำให้จุด 5 และ 7 มีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด 6 และ 8 ตามลำดับ D_1 จึงนำกระแส I_{D1} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและภาระในขณะที่ D_2 ถูกไบอัสกลับ แรงดันเอาท์พุทที่ตกคร่อมภาระ(R_L)สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$V_{out} = 2D \times V_{in}\left(\frac{N_s}{N_p}\right) \qquad (2.3)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 12 มิ.ย. 2552
เลขทะเบียน 213675
เลขเรียกหนังสือ

ข้อดีของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

- ปริมาตรของแกนเล็กลง
- มอสเฟสทั้งสองถูกขับด้วยดรายว์เดียวกัน ทำให้วงจรขับเกทไม่ยุ่งยาก

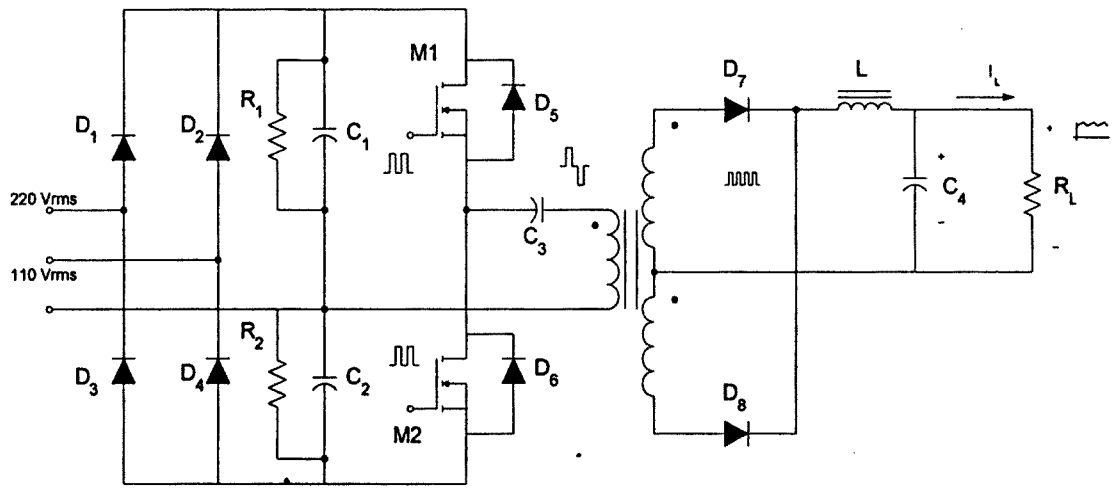
ข้อเสียของ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

- มอสเฟสกำลังที่ใช้จะต้องสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่าของแรงดันอินพุท

- มอสเฟสกำลังที่ทนกระแสและแรงดันสูงๆ หาได้ยากและมีราคาแพง
- เกิดปัญหาฟลั๊กซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจร

2.2.4 ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half bridge converter)

ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จัดว่าเป็นคอนเวอร์เตอร์ตระกูลเดียวกันกับพุช – พูล คอนเวอร์เตอร์ เพราะใช้หลักการเดียวกัน แต่ลักษณะการจัดวงจรของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จะทำให้มอสเฟสภายในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุทเท่านั้นแสดงใน ภาพประกอบที่ 2-8



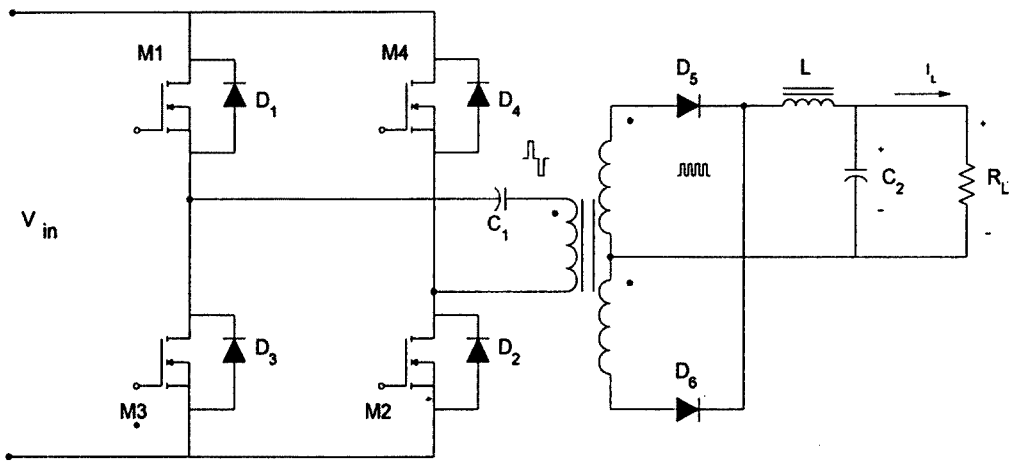
ภาพประกอบที่ 2-8 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

จากภาพประกอบที่ 2-8 ได้ว่าขดปฐมภูมิแต่ละด้านของหม้อแปลง จะถูกต่ออยู่กับจุดที่มีแรงดันไฟตรงเป็นครึ่งหนึ่ง โดยมีมอสเฟส M_1 และ M_2 เป็นสวิตช์ตัดต่อ ทำให้ได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนแก่ขดปฐมภูมิ ของหม้อแปลง จากนั้นจึงทำการเรียงกระแสและกรอง ด้านเอาท์พุทของทุติยภูมิด้วย D_7 D_8 L และ C_4 ได้เป็นไฟกระแสตรงป้อนแก่ภาระ

ซึ่งลักษณะการทำงานของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จะมีข้อดี คือ ขณะที่ มอสเฟส M_1 และ M_2 ไม่ทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมน้อยกว่าแรงดันอินพุทครึ่งหนึ่ง จึงทำให้สามารถใช้มอสเฟสที่ทนแรงดันไม่สูงนักได้ แต่จะมีข้อเสีย คือ กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟสกำลังขณะทำงานจะมีค่าเป็น 2 เท่าของแบบ พุช – พูล คอนเวอร์เตอร์

2.2.5 ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge converter)

จาก ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ที่สามารถลดแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ลงมาครึ่งหนึ่งของ V_{in} และสามารถป้องกันไม่ให้แกนของหม้อแปลงอิ่มตัวแล้ว แต่ว่าจะมีปัญหาเรื่องกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟสกำลัง ทำงานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจากข้อจำกัดของฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ที่กล่าวไปแล้วนั้น จะเป็นผลทำให้ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ในงานที่ต้องการกำลังต่ำ และปานกลางไม่สูงมากนัก เพราะว่า มอสเฟสกำลัง ที่ทนแรงดันประมาณ 400-500 โวลท์ แต่ทนกระแสได้สูงๆ นั้นหายากและมีราคาแพงดังนั้น จึงได้พัฒนาจนได้ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ขึ้นมา ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะรวมนำเอาข้อดีทางด้านกระแสของ พุช-พูล และลักษณะเด่นด้านแรงดันของวงจรฮาร์ฟบริดจ์ ไว้ด้วยกัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-9



ภาพประกอบที่ 2-9 วงจรฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

โดยการทำงานของฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ นั้น จะทำงานโดยที่มอสเฟสกำลัง M_1 นำกระแสพร้อมกับ M_2 และ M_3 นำกระแสพร้อมกับ M_4 โดยแต่ละคู่จะผลัดกันทำงาน ซึ่งจากการทำงานในลักษณะเช่นนี้ จะทำให้แรงดันที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง มีแรงดันเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง V_{in} อีกทั้งกระแสที่ไหลผ่านก็ยังเท่ากับวงจรพุช-พูลอีกด้วย แต่ข้อเสียของวงจรนี้ก็คือ ต้องใช้มอสเฟส ถึง 4 ตัว และเนื่องจากต้องให้คู่มอสเฟส ทำงานไม่พร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องแยกใช้วงจรขับเกทของมอสเฟส แต่ละคู่ออกจากกันโดยเด็ดขาด

วงจรกรองแรงดันด้านเอาท์พุท ของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่ง แบบฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ หรือแบบ ฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ นิยมจะใช้โครงสร้างวงจร ตามภาพประกอบที่ 2-10 จากทฤษฎีพื้นฐานแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$V_L = L\frac{di}{dt}$$

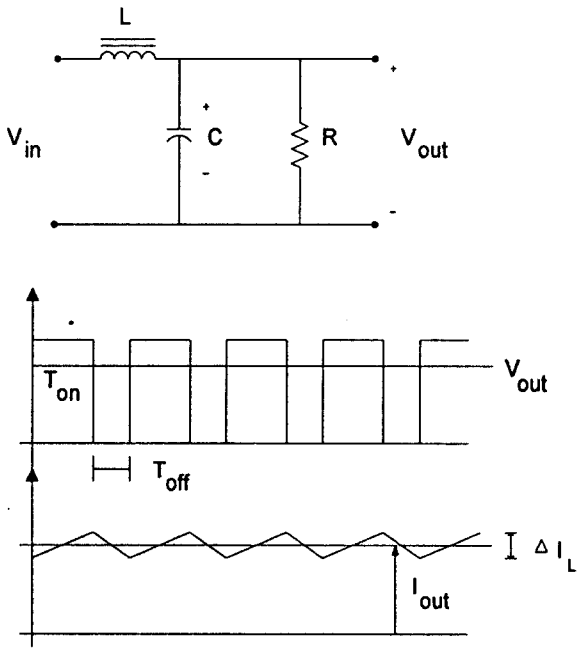
$$di = \Delta L_L$$

$$dt = t_{off} = \frac{(l-D)}{2f}$$

ในกรณีของ ฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ หรือฟลูบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ แรงดัน V_{in} จะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดัน V_{out} ทำให้ได้สมการหาค่าความเหนี่ยวนำในวงจรกรองแรงดันด้านเอาท์พุท (L) ได้จากสมการที่ 2.4

$$L = \frac{Vout(1-D)\times 10^4}{2f\Delta I_1} \qquad (2.4)$$

จากรูป 2-10 ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้แรงดันเอาท์พุทที่ราบเรียบ ΔI_L จะต้องไม่เกิน $0.25I_{out}$



ภาพประกอบที่ 2-10 วงจรกรองแรงดันด้านเอาท์พุท

2.2.6 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด จะพบว่ารอบๆแกนปิด จะเกิดการเหนี่ยวนำฟลักซ์ขึ้นภายในแกน และถ้าเพิ่มจำนวนขดลวดอีกขดหนึ่ง ให้พันอยู่ในแกนเดียวกันฟลักซ์ จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันและกระแสไหลที่ขดลวดที่สอง เราเรียกขดลวดที่หนึ่งว่า ขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดที่สองที่พันเพิ่มเข้าไปว่า ขดลวดทุติยภูมิ

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะมีแรงดันเอาท์พุทสูงหรือต่ำ เกิดจากสัดส่วนการพัน โดย

กำหนดจากสมการที่ 2.5

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

ดังนั้นหม้อแปลงก็จะสามารถทำงานเป็น Step-up หรือ Step-down ได้โดยสามารถทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ นั้นสูงกว่า หรือต่ำกว่าที่ขดลวดปฐมภูมิ และถ้าเพิ่มขดลวดทุติยภูมิ มิอีกหลายๆ ขด เราก็จะได้แรงดันเอาท์พุทอีกหลายระดับตามสัดส่วนการพันเช่นกัน ประโยชน์ที่สำคัญอีกข้อหนึ่ง โดยใช้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ

จากความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง สมการที่ 2.6

$$e = NA_e\left(\frac{dB}{dt}\right)\times 10^{-8} \qquad (2.6)$$

เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ (B) ที่แน่นอนได้ โดยกำหนดการทำงานของหม้อแปลงให้อยู่ในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ดังสมการที่ 2.7

$$B_{\max} = \frac{V_p \times 10^8}{KfN_pA_e} \qquad (2.7)$$

ปกติแล้วผู้ออกแบบหม้อแปลงมักจะกำหนด B_{max} ด้วยตนเอง ภายในบริเวณเชิงเส้นตรงของกราฟ B-H จุดที่เหมาะสมที่สุดก็คือ $B_{\max} = \frac{B_{sat}}{2}$ จากสมการที่ 2.7 จะได้จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ จากสมการที่ 2.8

$$N_p = \frac{(V_p)10^8}{4fB_{\max}A_e} \qquad (2.8)$$

ในกรณีเลือกแกนนั้นก็ยังมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ อีก 2 ตัวแปรก็คือ พื้นที่การพันของแกน (หรือบอบบิ้น) ซึ่งต้องเลือกให้กว้างพอกับขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด winding loss น้อยที่สุด และตัวแปรสองคือ Core's Power Handing Capability

สมการของตัวพารามิเตอร์มีดังสมการที่ 2.9

$$P_{out} = (1.16B_{\max} fdA_e A_e)10^{-9} \quad (2.9)$$

เมื่อ P_{out} คือ power handing of core, W

ผู้ผลิตบางรายใช้สัญลักษณ์ W_a สำหรับพื้นที่หน้าต่างของบอบบิ้น แทนสัญลักษณ์ A_e โดยปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยใน Circular Mils Per Ampere ใช้สัญลักษณ์เป็น D โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์กับ d ได้ดังสมการที่ 2.10

$$d = \frac{1.27\times10^{6}}{D} \quad (2.10)$$

แทนสมการทั้งสองข้างต้นจะได้สมการที่ 2.11

$$P_{out} = \frac{(1.47fB_{\max} A_e A_e)10^{-3}}{D} \quad (2.11)$$

สมการที่ 2.12 เป็นสมการที่ใช้กันมากในการคำนวณ และเลือกขนาดของแกนหม้อแปลง

$$A_e A_e = \frac{(0.68P_{out} D)10^{3}}{fB_{\max}} cm^{4} \quad (2.12)$$

ความหนาแน่นกระแส (D) จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเส้นลวด ที่ความหนาแน่นกระแส 1000 centimeter per ampere(cm/A) ในทางปฏิบัติ จะใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำกว่า ค่าที่ใช้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย

ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิ่ง

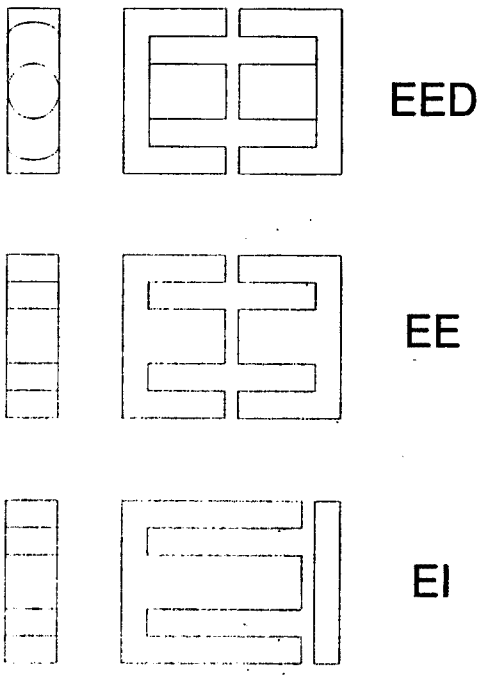
หม้อแปลงสวิตชิ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลท์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าต่ำที่เอาท์พุท และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุท และแรงดันเอาท์พุทที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิ่งมีรายละเอียดดังนี้

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลั๊กซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง

ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เก๊าส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิ่งจึงนิยมใช้แกนเป็นแกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่งโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอรีไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบเพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้ ตัวอย่างของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.11 รูปแบบของแกนเฟอร์ไรต์

แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ไม่ต้องการกำลังสูงไม่เกิน 125 วัตต์ และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวดลอดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่ เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงๆ แกนที่นิยมใช้กันมากสำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ต้องการกำลังงานสูง จะเป็นแกนแบบ EI, EE และ ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแกนแบบ

POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยม

บอบบิ้น

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูง และไม่ติดไฟบอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดงเพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดตับแผ่น PCB

ลวดทองแดงอาบน้ำยา

การพันขดลวดทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ ในขณะที่หม้อแปลงทำงาน สำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่งกระแสสลับที่ไหลผ่านขดลวดนั้นมีความถี่สูง ที่ความถี่สูงๆ ลวดทองแดงจะนำกระแสได้เพียงที่ผิว ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดในการนำกระแสของลวดทองแดงลดลง การสูญเสียในขดลวดจะมีมากขึ้น รวมทั้งการเรียงซ้อนกันของขดลวดก็มีผลทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในขดลวดได้เช่นเดียวกัน กำลังงานที่สูญเสียเหล่านี้จะทำให้ขดลวดร้อย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงทำงาน การกำหนดขนาดและวิธีการพันขดลวดจึงต้องทำอย่างเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงให้มีค่าน้อยที่สุด

เทปฉนวน

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิ่ง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ โดยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจะเป็นพวกไมลาร์ หรือโพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลง สวิตชิ่งเป็นหลัก

เทปฉนวนสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มตามวัสดุที่ใช้ อัตราทนอุณหภูมิขณะใช้งานของมันดังแสดงในตารางที่ 2.1 การเลือกใช้เทปฉนวนไม่ว่าจะเป็นกลุ่มใด จะต้องเลือกใช้ให้มีอัตราทนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุดคือ กลุ่ม H นั้นมีอัตราทนอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งาน

เพียง 180 องศา อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดในหม้อแปลงจึงไม่ควรเกิน 130 องศา ในทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยควรกำหนดอุณภูมิสูงสุดของหม้อแปลงสวิตชิ่งไว้ไม่เกิน 85 องศา ตามอัตราทนอุณหภูมิปกติ (typical ambient temperature) ของเทปฉนวน

อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในการณีที่หม้อแปลงหรือวงจรทำงานผิดปกติอาจทำให้เกิดความร้อนสูงในขดลวดเช่นกรณีการลัดวงจร ดังนั้นเทปฉนวนจะต้องทำจากวัสดุไม่ติดไฟเพื่อป้องกันการลุดติดไฟที่เทปฉนวน ตัวอย่างรายละเอียดคุณสมบัติของเทปฉนวน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดกลุ่มของเทปฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (Thermal strength)

Class off insulation	Typical ambient Temperature in °C	Maximum operating Temperature in °C
0	40	90
A	40	105
B	75	130
F	75	155
H	85	180

2.2.7 ทรานซิสเตอร์กำลัง

ในระบบแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ส่วนมากมักจะใช้ทรานซิสเตอร์กำลังราวๆ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ในสภาวะปัจจุบัน มอสเฟตได้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว แต่ข้อดีของทรานซิสเตอร์กำลังก็มีอยู่ คือ มีอัตราทนแรงดันสูงและมีราคาถูก

การออกแบบทรานซิสเตอร์กำลังนั้นต้องคำนึงถึงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์กำลังตัวนั้นๆ ด้วย เพราะทรานซิสเตอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยกระแส โดยกระแสควบคุมนั้นได้จากสมการที่ 2.13

$$I_b > \frac{I_c}{h_{fe}} \qquad (2.13)$$

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลัง

กำลังงานสูญเสียเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching loss) และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (Saturation loss) แต่กำลังงานสูญเสียนั้นจะเกิดขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นหลัก

การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าน้อยที่สุดจะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังมีประสิทธิภาพสูงสุดด และจะช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นที่ทรานซิสเตอร์กำลังขณะทำงานด้วย

การพิจารณาในการเลือกใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลัง

ควรพิจารณาดังนี้ คือ

- อัตราทนแรงดันและกระแสสูงสุด
- ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ
- อัตราทนกำลังสูญเสีย

โดยทั่วไปผู้ผลิตมักจะให้กราฟแสดงพิกัดปลอดภัย SOA(Safe Operating Area) มาพร้อมกับข้อมูลอุปกรณ์ กราฟ SOA จะมี 2 ลักษณะคือ FBSOA(Forward Bias Safe Operating Area) และ RBSOA(Reverse Bias Safe Operating Area)

FBSOA และช่วงเวลาขณะเริ่มนำกระแส

การออกแบบควรพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ที่จะเกิดกับทรานซิสเตอร์กำลังขณะเริ่มนำกระแสด้วย โดยต้องจำกัดค่าแรงดันตกคร่อมและกระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส ให้มีค่าอยู่ภายใต้พื้นที่ของกราฟ FBSOA

RBSOA และช่วงเวลาขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เมื่อทรานซิสเตอร์กำลังเริ่มหยุดนำกระแส พิกัดความปลอดภัยจะแสดงโดยกราฟ RBSOA และขึ้นอยู่กับแรงดันไบแอสกลับของทรานซิสเตอร์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแสด้วย ดังนั้นช่วงนี้ควรให้ความระมัดระวัง

2.2.8 มอสเฟตกำลัง

ในปัจจุบัน มอสเฟตได้มีบทบาทมากในวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง เพราะสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง และใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น มอสเฟตกำลังจะใช้แรงดันเป็นตัวควบคุมการทำงานและเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์กำลังขณะอิ่มตัวจะได้

$$g_m = \frac{I}{R_{DS(on)}} \qquad (2.14)$$

$$I_D = \frac{g_m}{2}\left(V_{GS} - V_T\right) \qquad (2.15)$$

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของมอสเฟตกำลัง

มี 2 ลักษณะเช่นเดียวกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะและกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่ช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟตกำลังจะสั้นกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นในตัวมอสเฟตกำลัง แต่จะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสสูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง

เงื่อนไขของวงจรขับมอสเฟตกำลัง

ค่าความจุไฟฟ้า (Mosfet Capacitor) เนื่องจากโครงสร้างภายในตัวมอสเฟตกำลัง เหมือนมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขา ตัวเก็บประจุจะทำให้มอสเฟตกำลังต้องเก็บประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุก่อน เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขาเกท (V_{GS}) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันเริ่มทำงาน ส่วนในการที่จะทำให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส ก็จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกทลดลงต่ำกว่าแรงดันเริ่มทำงาน จึงเป็นผลให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส

ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่อยู่ในตัวมอสเฟตกำลังนี้ จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของตัวมอสเฟตกำลังเอง ดังนั้นการขับมอสเฟตกำลังให้นำกระแสได้นั้น จะต้องมีการเก็บประจุและคายประจุที่ขาเกท และต้องให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกทมีค่ามากพอ เพื่อที่มอสเฟตกำลังจะได้ทำงานเต็มประสิทธิภาพ

2.2.9 ไดโอดในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง

เนื่องจากไดโอดอยู่ด้านเอาท์พุท จะต้องทำงานที่ความถี่สูงจึงเกิดกำลังงานสูญเสียทั้งขณะนำกระแส และขณะเปลี่ยนสถานะ ส่วนการใช้งานไดโอดที่ความถี่ต่ำ ๆ กำลังงานสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นขณะนำกระแสเท่านั้น ดังที่เราทราบว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าความถี่ในการทำงานตั้งแต่ 20 กิโลเฮิรต์ขึ้นไป การเลือกใช้ชนิดของไดโอดจึงต้องมีคุณสมบัติดังนี้ มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ มีช่วงเวลาคืนตัวสั้น และสามารถทนกำลังได้สูงไดโอดที่ใช้งานในวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปไม่สามารถนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากมีช่วงเวลาคืนตัวมาก ดังนั้นการเลือกใช้งานจากไดโอด 3 ชนิด คือ

- Fast Recovery Diode
- Ultra Fast Recovery Diode
- Schottky Diode

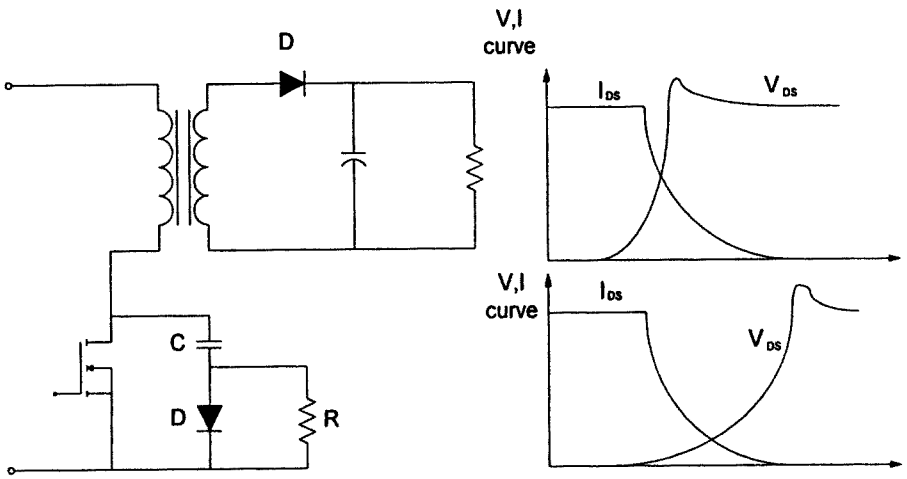
2.3 วงจรสนับเบอร์ (Snubbers)

เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในวงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเสียหายของสวิตชิ่งกำลัง อาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส และวงจรสนับ

เบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

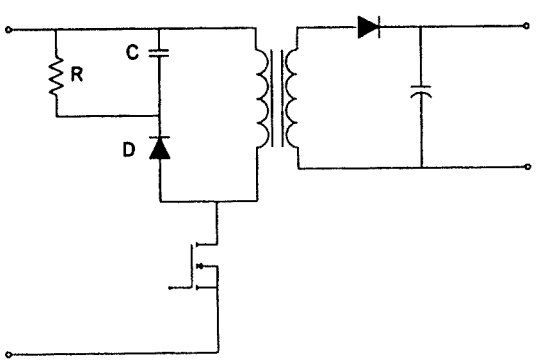
การใส่วงจรสนับเบอร์เข้าไปในส่วนนี้ก็เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสีย ซึ่งจะควบคุมแรงดันที่ตกคร่อม drain และ source ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวสวิตช์กำลังนั้นลดลงได้ทันกัน ลักษณะการต่อวงจรเป็นดังภาพประกอบที่ 2-12



ภาพประกอบที่ 2-12 ผลของการต่อวงจรสนับเบอร์

วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

โดยทั่วไปการพังเสียหายของสวิตช์กำลังนั้น ส่วนมากมักจะมาจากการทำงานที่เกินพิกัดความปลอดภัย ซึ่ง spice voltage ขณะหยุดนำกระแส มักทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมสวิตช์กำลังขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงจนเกินแรงดันสูงสุดที่ตัวมันจะทนได้ วงจรในส่วนนี้จะเป็นวงจรที่ป้องกัน spice voltage ที่เกิดขึ้น ไม่ให้เกินพิกัดความปลอดภัยของตัวสวิตช์กำลัง โดยมีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 2-13



ภาพประกอบที่ 2-13 วงจรสนับเบอร์

2.4 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

ตัวประมวลสัญญาณที่ใช้งานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีอย่างหลากหลาย ทั้งนี้ในงานการควบคุมระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิ่งงานวิจัยนี้มีการเลือกย่านความถี่ในการสวิตชิ่ง ณ ระดับเกิน 100 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งการใช้งานนี้นั้นจะต้องคำนึงถึง ความสามารถในการประมวลผลตัวนั้นๆ การวิจัยนี้เลือกที่จะใช้ตัวประมวลผลของบริษัท Phillips รุ่น LPC2138 ซึ่งให้ความถี่ในการสวิตชิ่งที่สูงมากเมื่อเทียบกับรุ่นอื่นๆ

ตัวประมวลผลนี้มีช่อง พีดับเบิลยูเอ็ม อยู่ทั้งหมด 6 ช่องซึ่งสามารถบังคับได้เป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยมี GPIO ที่สามารถเลือกใช้งานได้อีกจำนวน 32 ช่อง การต่อสัญญาณเชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์อินเตอร์เฟสกับกับตัวประมวลสัญญาณนี้สามารถต่อผ่าน Serial port (UART0,1) รวมถึงความสามารถของการรับค่า ADC ในตัวซึ่งมีขนาด 10 บิท 10 ช่อง