บทที่ 3

โครงสร้างและหลักการแก้ไขตัวประกอบกำลังของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

สำหรับรถไฟฟ้าโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัค–บูสต์

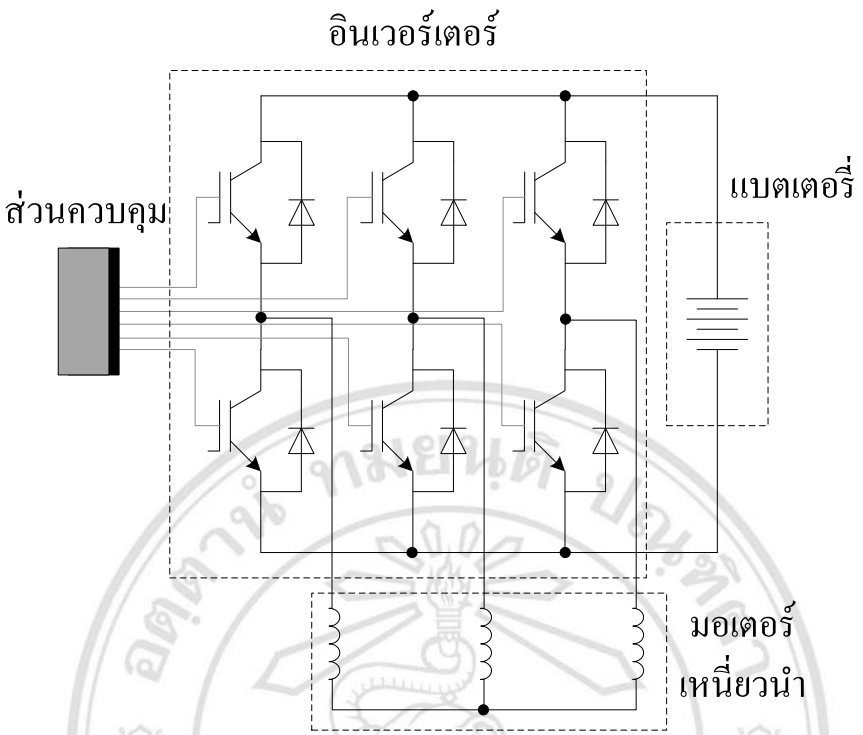
3.1 บทนำ

การชาร์จพลังงานให้กับแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะไฟฟ้านั้นจำเป็นจะต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังอย่างวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ เพื่อทำหน้าที่ในการแปลงผันปริมาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแส ซึ่งได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมากจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับทั่วไป ให้เป็นปริมาณไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการปรับขนาดให้เหมาะสมสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ ดังนั้นคอนเวอร์เวอร์เตอร์ที่นำมาใช้จึงต้องมีคุณภาพที่ดีและสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบทนี้จึงได้นำเสนอโครงสร้างของระบบชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า ที่ได้มีการปรับเปลี่ยนโหมดการทำงานจากโครงสร้างวงจรกำลังเดิมของรถไฟฟ้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์ และมีการปรับแก้ตัวประกอบกำลัง โดยสามารถแปลงผันพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถรับแรงดันด้านอินพุตได้ในช่วงกว้างและจ่ายแรงดันทางด้านเอาท์พุตได้หลายระดับ โดยได้แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์, หลักการและเงื่อนไขการทำงาน, และเทคนิคการควบคุมและการปรับแก้ตัวประกอบกำลังสำหรับคอนเวอร์เตอร์

3.2 โครงสร้างของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์

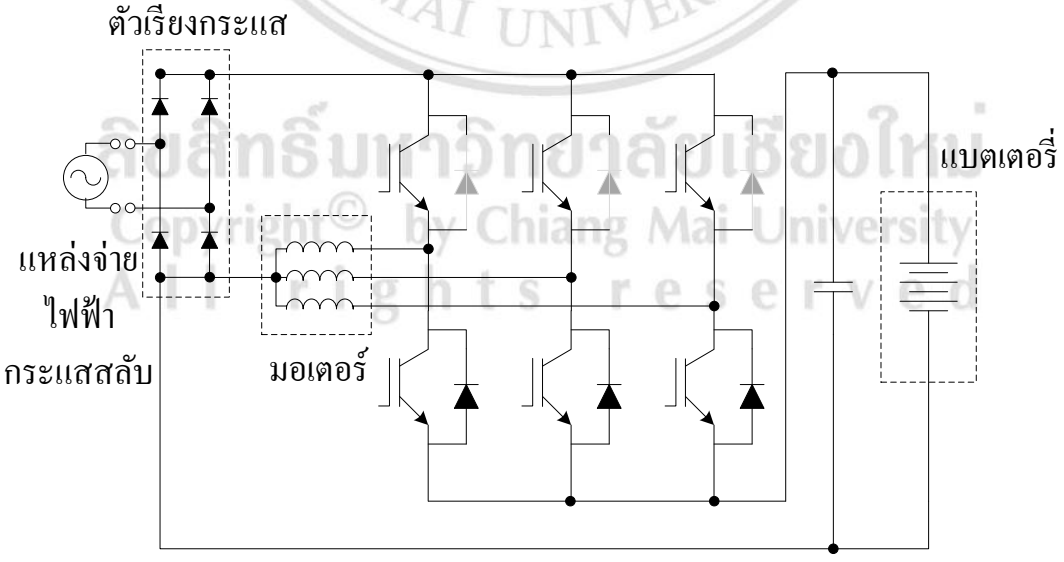
เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบและโครงสร้างวงจรกำลังของรถไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นตัวขับเคลื่อน และมีการใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จะสามารถแบ่งส่วนประกอบหลักได้ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วย มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ภายในจะมีขดลวดเหนี่ยวนำ 3 ชุด อินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยชุดสวิตช์กำลัง 6 ตัว ชุดควบคุมการทำงาน และส่วนประกอบสุดท้ายก็คือแบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งต้นพลังงานสำหรับรถไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างวงจรกำลังของรถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำ

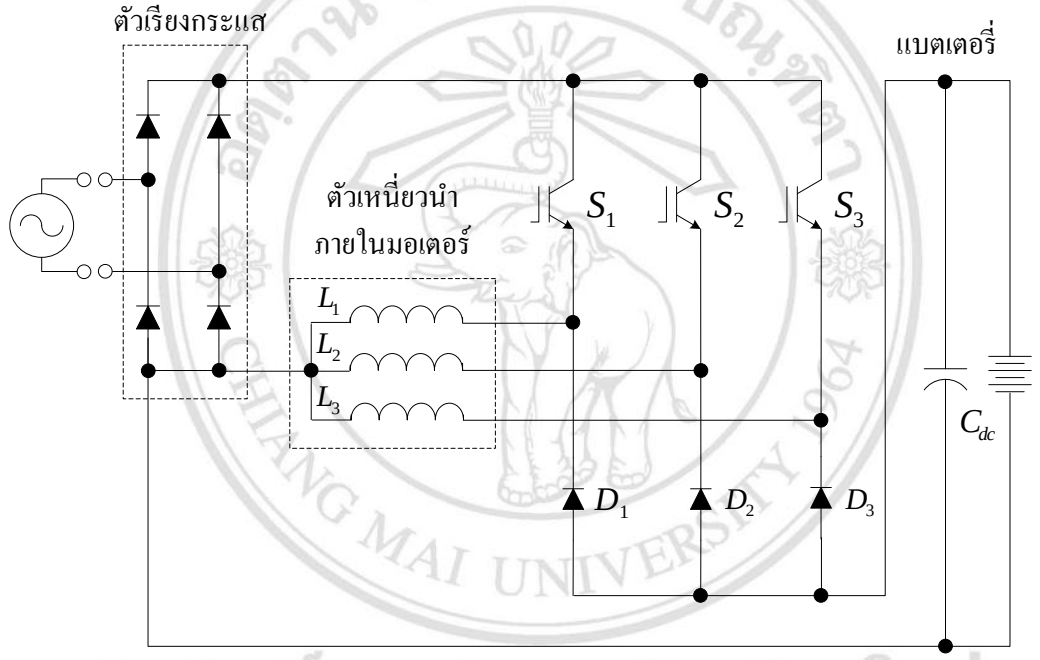
จากภาพที่ 3.1 วงจรกำลังจะทำงานก็ต่อเมื่อรถไฟฟ้าถูกใช้งาน และเมื่อรถไฟฟ้าจอดอยู่กับที่หรือไม่ได้ถูกใช้งาน จะสามารถนำอุปกรณ์กำลังดังกล่าวมาใช้งานให้เป็นระบบชาร์จแบตเตอรี่ โดยการเพิ่มชุดตัวเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเข้าไปดังภาพที่ 3.2



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.2 ระบบชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัค–บูสต์

คอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์ ซึ่งจุดเด่นของคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้คือสามารถทำงานได้ตลอดช่วงคลื่นของแรงดันสัญญาณไซน์ โดยจะส่งผลดีต่อการควบคุมให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบสูงได้ แต่จะมีข้อด้อยในส่วนของแรงดันทางด้านเอาท์พุตที่จะกลับขั้ว แต่สามารถแก้ได้โดยการต่อวงจรดังในภาพที่ 3.2 ที่เสนอไปข้างต้น ซึ่งการชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้บัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอจะใช้ขดลวดเหนี่ยวนำภายในตัวมอเตอร์ทำหน้าที่ในการสะสมพลังงาน และเป็นส่วนหนึ่งของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ในการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถลดหรือเพิ่มแรงดันเฉลี่ยทางด้านเอาท์พุตเหมาะสมสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ได้ โดยจะแสดงโครงสร้างเทียบเคียงและรายละเอียดอุปกรณ์ของระบบที่นำเสนอในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ไดอะแกรมเทียบเคียงเครื่องชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัค–บูสต์

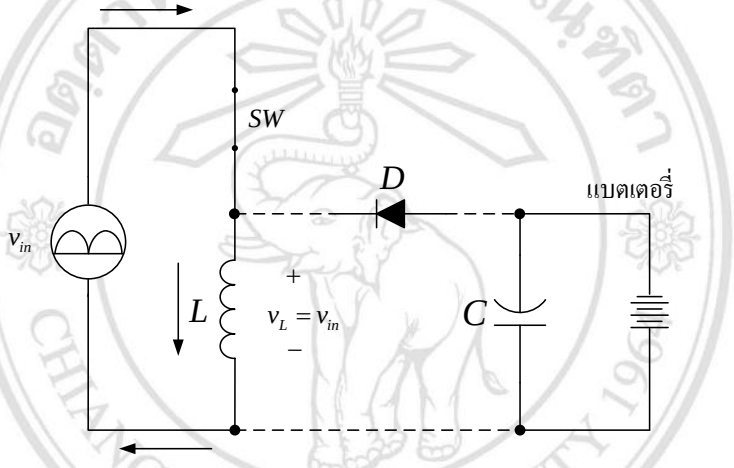
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 3.3 ที่แสดงไดอะแกรมโครงสร้างเทียบเคียงระบบชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์ สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า จะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสสลับ, วงจรเรียงกระแส, สวิตช์กำลัง S_1, S_2 และ S_3 ในลักษณะ 3 กิ่ง โดยในแต่ละกิ่งจะถูกต่อเชื่อมโยงกับขดลวดเหนี่ยวนำ L_1,L_2 และ L_3 ของมอเตอร์ไฟฟ้า และสุดท้ายคือไดโอดกำลัง D_1,D_2 และ D_3 โดยโครงสร้างดังกล่าวจะถูกใช้ในลักษณะที่เป็นดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ที่มีคุณสมบัติลดหรือเพิ่มแรงดันและกระแส โดยแรงดันไฟฟ้าที่คอนเวอร์เตอร์ได้รับจะมาจากตัวเรียงกระแสที่ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากแหล่งจ่ายกระแสสลับให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์สัมบูรณ์

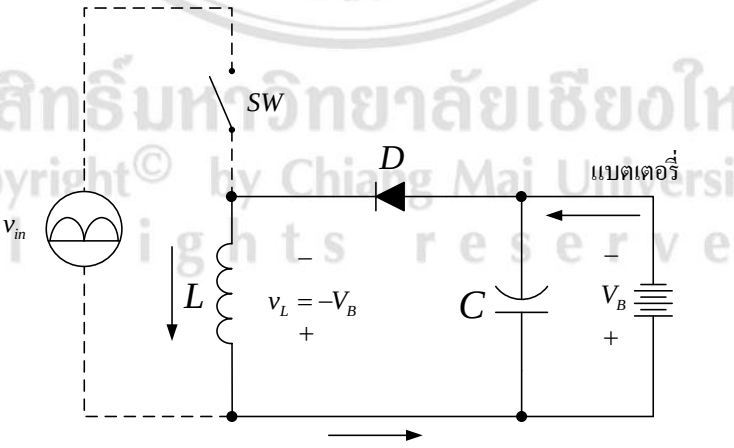
จากนั้นพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกส่งไปยังคอนเวอร์เตอร์ที่ในตอนนี้เชื่อมต่อกับวงจรกำลังของรถไฟฟ้า ซึ่งจะถูกควบคุมให้สร้างพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการประจุกระแสให้กับแบตเตอรี่

3.3 การวิเคราะห์การทำงานของคอนเวอร์เตอร์บัค-บูสต์

การวิเคราะห์การทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้บัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ จะกำหนดให้สวิตช์กำลังและอุปกรณ์พาสซีฟต่างๆ ทำงานในแบบอุดมคติ ซึ่งสามารถวิเคราะห์โหมดการทำงานของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์สำหรับระบบที่นำเสนอในภาวะคงตัวและทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง โดยจะยกตัวอย่างการทำงานของระบบดังกล่าวใน 1 กิ่งเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจดังแสดงในภาพที่ 3.4



(ก)

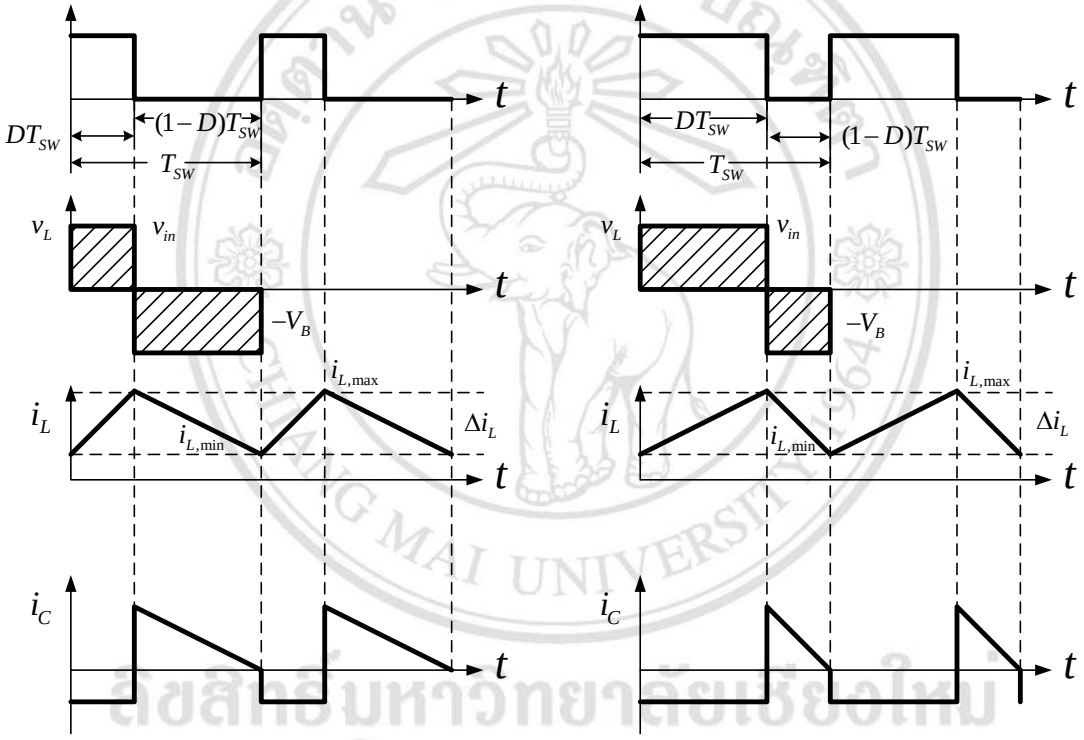


(ข)

ภาพที่ 3.4 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่
(ก) เมื่อสวิตซ์นำกระแส (ข) เมื่อสวิตซ์หยุดนำกระแส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 3.4 (ก) เมื่อสวิตซ์นำกระแส (ON) จะทำให้กระแสไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำและทำการสะสมพลังงานไว้ที่ตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่ไดโอดตอนนี้ได้รับการไบแอสกลับจึงไม่มีกระแสไหลผ่านจนกระทั่งเมื่อสวิตซ์หยุดนำกระแส (OFF) ดังภาพที่ 3.4 (ข) ในขณะนี้ไดโอดจะได้รับการไปแอสตรงและมีกระแสไหลผ่าน จากนั้นขดลวดเหนี่ยวนำจะเกิดการยุบตัวลงของสนามแม่เหล็กรอบๆขดลวดและจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้ไปให้กับแบตเตอรี่ จึงส่งผลให้มีแรงดันตกคร่อมที่แบตเตอรี่ V_B ในลักษณะที่มีขั้วตรงข้ามกับขั้วของแรงดันที่ถูกแปลงผันโดยวงจรเรียงกระแส และจากการทำงานในลักษณะดังกล่าวของวงจรจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสเกิดขึ้น ซึ่งถ้าสวิตซ์มีการเปิดและปิดสวิตซ์กำลังของวงจรอย่างต่อเนื่องจะส่งผลทำให้แรงดันและกระแสที่ได้มีลักษณะเป็นคลื่นพัลส์



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.5 คลื่นกระแสและแรงดันของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

(ก) โหมดการทำงานแบบบัค (ข) โหมดการทำงานแบบบูสต์

จากจากรูปที่ 3.5 (ก) และ (ข) เมื่อพิจารณาแรงดันตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ v_L ขณะทำการสวิตช์ใน 1 คาบเวลาของการสวิตช์ความถี่สูง T_{SW} โดยแยกการพิจารณาตามช่วงเวลาการนำกระแสและหยุดนำกระแสของสวิตซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พิจารณาขณะสวิตซ์นำกระแส (ON); $0 \le t \le DT_{SW}$

$$v_L = v_{in} = L\frac{di_L}{dt} \tag{3.1}$$

$$\frac{di_L}{dt}(t) = v_{in} > 0$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_0^t v_{in}dt + I_{L,\min}$$

$$i_L(DT_{SW}) = I_{L,\max} = \frac{1}{L}\int_0^{DT_{SW}} v_{in}dt + I_{L,\min}$$

คำนวณหาค่ากระแสกระเพื่อมได้จาก

$$\Delta i_L = I_{L,\max} - I_{L,\min} = \frac{v_{in}}{L}DT_{SW} \tag{3.2}$$

พิจารณาขณะสวิตซ์หยุดนำกระแส (OFF); $DT_{SW} \le t \le T_{SW}$

$$v_L = -V_B = L\frac{di}{dt}(t) \tag{3.3}$$

$$\frac{di_L}{dt}(t) = \frac{-V_B}{L} < 0$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_{DT_{SW}}^t -V_B dt + I_{L,\max}$$

$$i_L(T_{SW}) = I_{L,\max} = \frac{1}{L}\int_{DT_{SW}}^{T_{SW}} -V_B dt + I_{L,\max}$$

คำนวณหาค่ากระแสกระเพื่อมได้จาก

$$\Delta i_L = I_{L,\min} - I_{L,\max} = \frac{-V_B}{L}(1-D)T_{SW} \tag{3.4}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แทนค่าจากสมการ (3.2) และ (3.4)

$$v_{in}DT_{SW} + (-V_B)(1-D)T_{SW} = 0 \tag{3.5}$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต v_{in} และแรงดันเอาต์พุต V_b ของคอนเวอร์เตอร์แบบบัค–บูสต์สามารถหาได้จาก

$$\frac{V_B}{v_{in}} = \frac{D}{1-D} \tag{3.6}$$

เมื่อ V_B คือ แรงดันด้านเอาท์พุตที่ตกคร่อมแบตเตอรี่

v_{in} คือ ค่าแรงดันด้านอินพุตที่ผ่านตัวเรียงกระแสแล้ว

D คือ ดิวตี้ไซเคิลของคอนเวอร์เตอร์

i_L คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยว

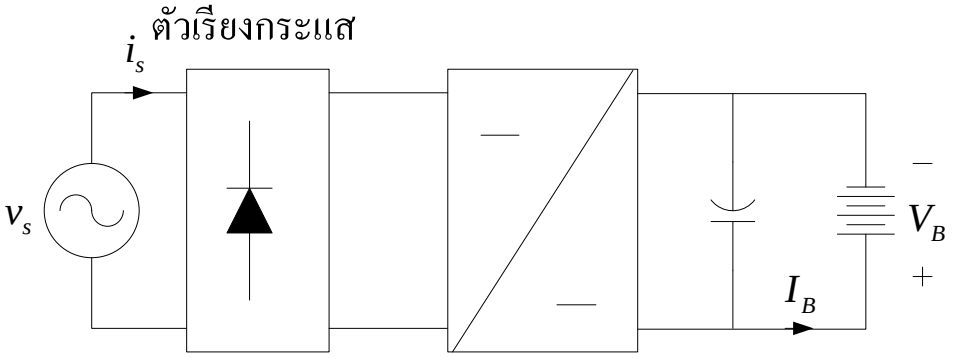
จากสมการ (3.6) จะเห็นว่าคอนเวอร์เตอร์สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ที่นำเสนอ สามารถลดหรือเพิ่มได้ตามค่าดิวตี้ไซเคิลของคอนเวอร์เตอร์ โดยจะสามารถแบ่งโหมดการทำงานตามค่าดิวตี้ไซเคิลได้เป็น 2 โหมดการทำงานคือ โหมดการทำงานแบบบัค $(0 \le D < 0.5)$ และโหมดการทำงานแบบบูสต์ $(0.5 < D \le 1)$

3.4 การออกแบบคอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์

สำหรับการออกแบบคอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์นั้นจะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยสมมุติให้ประสิทธิภาพ (η) ของระบบเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบทำงานแบบอุดมคติ ซึ่งจะสามารถกำลังไฟฟ้าอินพุตได้เท่ากับ

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{P_o}{1} \Rightarrow P_{in} = P_o \tag{3.7}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.6 คอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์

ภาพที่ 3.6 แสดงไดอะแกรมของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวเรียงกระแสทางด้านอินพุต ส่วนของคอนเวอร์เตอร์ และภาคเอาท์พุตที่เป็นแบตเตอรี่

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3.6 จะสามารถหากระแสอินพุตได้จาก

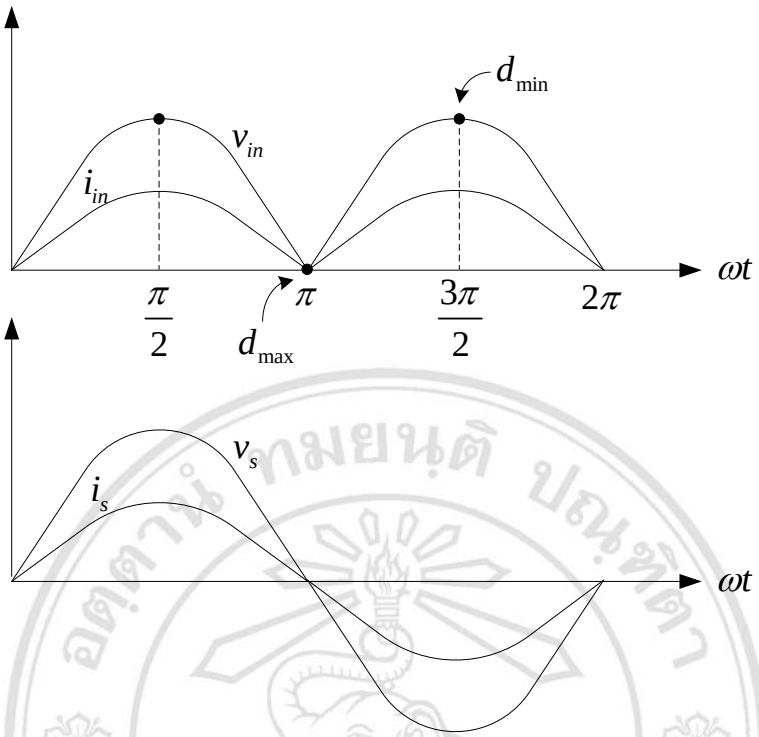
$$i_{in} = \frac{P_{in}}{v_s} \tag{3.8}$$

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการทำงานของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่การทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง โดยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะทำงานได้ในโหมดกระแสไหลต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องนั้น สามารถดูได้จากค่าของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำและความถี่ในการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3.7 พิจารณารูปคลื่นแรงดันหลังจากที่ผ่านวงจรเรียงกระแส v_{in} โดยที่ $v_{in} = |v_s|$ และ $v_s = v_m \sin \omega t$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} v_{in} &= |v_s| \\ v_s &= v_m |\sin \omega t| \end{aligned} \tag{3.9}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.7 คลื่นกระแสและแรงดันของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

และเมื่อเทียบกับสมการที่ (3.6) จะได้ว่า

$$\frac{V_B}{v_{in}} = \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{V_B}{|v_s|} = \frac{V_B}{v_m|\sin\omega t|}$$

$$\frac{V_B}{v_m|\sin\omega t|} = \frac{D(t)}{1-D(t)} \tag{3.10}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ

$$D(t) = \frac{V_B}{V_B + v_m|\sin\omega t|} \tag{3.11}$$

เมื่อพิจารณาที่ค่าดิวตี้ไซเคิลของคอนเวอร์เตอร์ตามรูปคลื่นที่ได้ ณ เวลาใดๆใน 1 คาบเวลาจะเห็นว่าค่าดิวตี้ต่ำสุดและค่าดิวตี้สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์คือ

Max duty ($d_{\max}$) คือ $d_{\max} \Rightarrow \omega t = 0,\ \pi$ และ 2π

Min duty (d_{min}) คือ $d_{\min} \Rightarrow \omega t = \frac{\pi}{2}$ และ $\frac{3\pi}{2}$

จากสมการที่ (3.11) เมื่อแทนค่าดิวตี้ตามช่วงเวลาเข้าไปจะเห็นว่าที่ดิวตี้ต่ำสุดในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำสำหรับคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่องคือ

$$D(t) = d_{\min} = \frac{V_B}{V_B + v_m} \tag{3.12}$$

โดยที่ $v_m = \sqrt{2} \times v_s$ ดังนั้นจะได้ดิวตี้ต่ำสุดเท่ากับ

$$d_{\min} = \frac{V_B}{V_B + (\sqrt{2} \times v_s)} \tag{3.13}$$

จากรูปแบบการทำงานและเงื่อนไขที่กำหนดจะเห็นว่าในขณะที่ บัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานที่โหมดการทำงานแบบบัค $I_L = I_O$ หรือในงานวิจัยนี้ $I_L = I_B$ กล่าวคือ พิจารณาจากกฎการแปลงผันพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ดังสมการ

$$\eta \cdot P_{IN} = P_O \tag{3.14}$$

เมื่อไม่คิดกำลังสูญเสียในส่วนประกอบต่างๆของคอนเวอร์เตอร์ ($\eta = 1$) จะได้

$$P_{in} = P_o$$
$$v_{in} i_{in} = V_B I_B$$
$$v_{in} D I_L = V_B I_B$$

ดังนั้นจะสามารถหากระแสตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ยได้จาก

$$I_L = \frac{P_o}{v_{in} \cdot d_{\min}} \tag{3.15}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 3.5 ที่ $t = 0$, $I_{L,\min} = 0$ และเมื่อ $t = DT_{SW}$ จะเท่ากับ $I_{L,\max}$ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด $I_{L,\max}$ ได้จาก

$$\begin{aligned} i_L(t) &= \frac{1}{L}\int_0^t V_{IN}\,dt + I_{L,\min} \\ i_L(DT_{SW}) &= \frac{1}{L}\int_0^{DT_{SW}} V_{IN}\,dt + 0 = I_{L,\max} \\ I_{L,\max} &= \frac{V_{IN}}{L} DT_{SW} \end{aligned} \tag{3.16}$$

และหาค่ากระแสตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด $I_{L,\min}$ ได้จาก

$$\begin{aligned} I_{L,\min} &= I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \\ I_{L,\min} &= I_L - \frac{V_{IN}}{2L} DT_{SW} \end{aligned} \tag{3.17}$$

โดยขนาดของตัวเหนี่ยวนำค่าต่ำสุดที่จะทำให้บัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่องหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_{L,\min} &= I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \\ I_{L,\min} &= I_L - \frac{V_{IN}}{2L} \cdot DT_{SW} < 0 \end{aligned}$$

จะได้ว่า

$$L_{\min} \geq \frac{V_{IN}}{2I_L} DT_{SW} \tag{3.18}$$

หรือ

$$L_{\min} \geq \frac{V_O}{2I_L}(1-D)T_{SW} \tag{3.19}$$

โดยเมื่อคำนวณค่า I_L ได้แล้ว จะสามารถหาความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่จะทำให้บัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่องจากสมการ (3.19) จะได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$L_{\min} \geq \frac{V_O}{2I_L}(1-D(t))T_{SW}$$

$$L_{\min} \geq \frac{V_B}{2I_L}(1-d_{\min})T_{SW}$$

$$L_{\min} \geq \frac{V_B}{2I_L f_S}(1-d_{\min})$$

แต่เนื่องจากการจำลองเป็นการจำลองการทำงานในระบบ 3 เฟส จะได้

$$L_{\min} \geq 3 \cdot \frac{V_B}{2I_L f_S}(1-d_{\min}) \tag{3.20}$$

โดยการพิจารณาค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้จากมอเตอร์จะต้องให้ได้ค่า $L_{motor} \geq L_{\min}$ จากที่คำนวณได้ ซึ่งจะทำให้ค่าตัวเหนี่ยวนำนั้นเหมาะสมกับระบบและเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและการจำลองการทำงาน จึงใช้ตัวต้านทาน (R) มาเป็นโหลดทางด้านเอาท์พุตแทนโหลดแบตเตอรี่ จากนั้นเพื่อให้เป็นไปตามพิกัดการชาร์จที่กำหนดจะสามารถหาค่าตัวต้านทานด้านเอาท์พุตเท่ากับ

$$R = \frac{V_B^2}{P_o} \tag{3.21}$$

และเพื่อให้แรงดันทางด้านเอาท์พุตมีความกระเพื่อมลดลง สามารถออกแบบตัวเก็บประจุเอาท์พุตเพื่อทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณกระเพื่อมทางด้านเอาท์พุตจากสมการที่ (3.22)

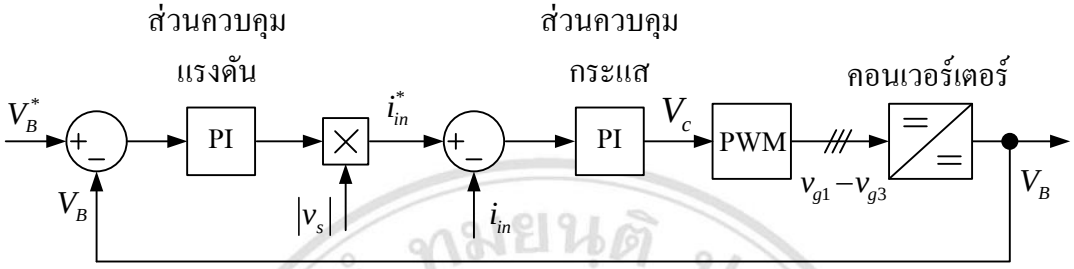
$$C_{out} \geq \frac{\frac{P_O}{V_O}}{2\pi f \times \Delta V} \tag{3.22}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 หลักการควบคุมการปรับแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าจะหมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ถูกส่งผ่านจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด ซึ่งจะยึดถือค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถใช้งานได้สูงสุดเป็นหลัก แต่เนื่องจากการชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้คอนเวอร์เตอร์สำหรับรถไฟฟ้าได้มีการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกอุปกรณ์สวิตชิ่ง และส่วนหน้าของวงจรยังมีการใช้ตัวเรียงกระแสซึ่งประกอบด้วยไดโอดที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น จึงส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบชาร์จแบตเตอรี่มีค่าต่ำและมีความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสที่สูง ดังนั้นในส่วนของการปรับแก้ตัวประกอบกำลังของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้

คอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์จะใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบมีการป้อนกลับแรงดันและกระแสสำหรับควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง เพื่อทำการปรับค่าตัวประกอบกำลังและการคงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตสำหรับทำการชาร์จแบตเตอรี่



ภาพที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณควบคุมบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณควบคุมแบบมีการป้อนกลับแรงดันและกระแส ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือในส่วนควบคุมกระแส และส่วนของการควบคุมแรงดัน โดยการสร้างสัญญาณขับนำสวิตซ์จะใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีการป้อนกลับแรงดันและกระแสสำหรับควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจรสร้างสัญญาณควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดัน V_B ที่เอาต์พุต เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_B^* ของวงจรที่ตัวควบคุมแรงดัน เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต

$$V_B^* - V_B = V_{ctrl} \tag{3.23}$$

เมื่อ V_B^* คือ แรงดันเอาท์พุตอ้างอิง

V_{ctrl} คือ ค่าแรงดันเอาท์พุตที่เปลี่ยนแปลงไป

ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความต่างโดยการคูณกับค่าอินพุตไซน์สัมบูรณ์

$$V_{ctrl} \times |v_s| = i_{in}^* \tag{3.24}$$

เมื่อ $|v_s|$ คือ แรงดันอินพุตไซน์สัมบูรณ์

i_{in}^* คือ กระแสอินพุตอ้างอิง

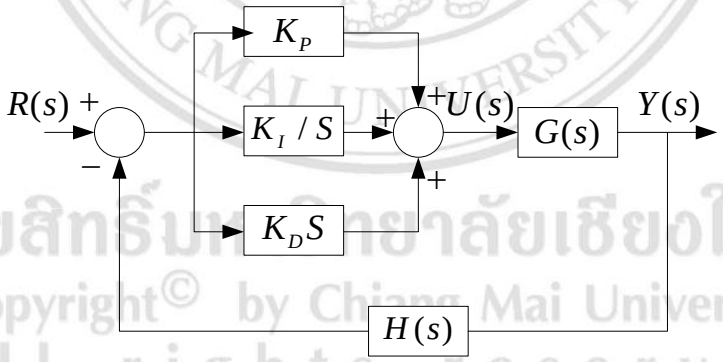
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นจะได้ค่ากระแส i_{in}^{*} เพื่อที่จะถูกส่งต่อไปยังตัวควบคุมกระแสเพื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสอินพุต i_{in}

$$i_{in}^{*} - i_{in} = i_{ctrl} \tag{3.25}$$

จากนั้นในส่วนของการมอดูเลตความกว้างพัลส์จะได้รับค่าแรงดัน V_C จากวงจรขยายความต่าง และทำการเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อย โดยเอาต์พุตที่ได้จากวงจรจะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์เปลี่ยนแปลงไปตามความกว้างของแรงดันที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งค่าความกว้างของพัลส์ที่ได้นี้จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการนำกระแสของสวิตซ์กำลังในคอนเวอร์เตอร์

ซึ่งการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) เป็นระบบควบคุมที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ P-Proportional, I-Integral, และ D-Derivative ซึ่งการออกแบบจะหาค่าตัวแปรของตัวควบคุมที่เหมาะสมเพื่อให้ระบบมีการตอบสนองตามที่ต้องการ กล่าวคือ เสถียรภาพของระบบควบคุม ค่าผลต่างระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตของการควบคุมที่สภาวะคงตัว ซึ่งสามารถแสดงไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 3.9



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบพีไอดี

จากภาพที่ 3.9 สามารถหาค่า Transfer Function ต่างๆของตัวควบคุมและระบบได้จาก

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{3.26}$$

เมื่อแปลงให้อยู่ใน S-Domain โดย Laplace Transform จะได้

$$U(s)=(K_P+\frac{K_I}{S}+K_DS)E(s) \tag{3.27}$$

ดังนั้นจะได้ PID Controller Transfer function เท่ากับ

$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{K(s)G(s)}{1+K(s)G(s)} \tag{3.28}$$

3.6 สรุป

การปรับแก้ตัวประกอบกำลังของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัค-บูสต์ที่ สามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วนคือ วงจรภาคกำลังโดยในส่วนของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์จะใช้ขดลวดเหนี่ยวนำภายในตัวมอเตอร์ทำหน้าที่ในการสะสมพลังงาน และเป็นส่วนหนึ่งของบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ในการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถลดหรือเพิ่มแรงดันเฉลี่ยทางด้านเอาท์พุตให้เหมาะสมสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ได้ โดยใช้เทคนิคการสวิตช์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ความถี่สูงแบบมีการป้อนกลับในการสร้างกระแสที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์สัมบูรณ์ สำหรับเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการนำกระแสของสวิตซ์กำลังในบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์และส่งผลในส่วนของการปรับแก้ตัวประกอบกำลังของระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved