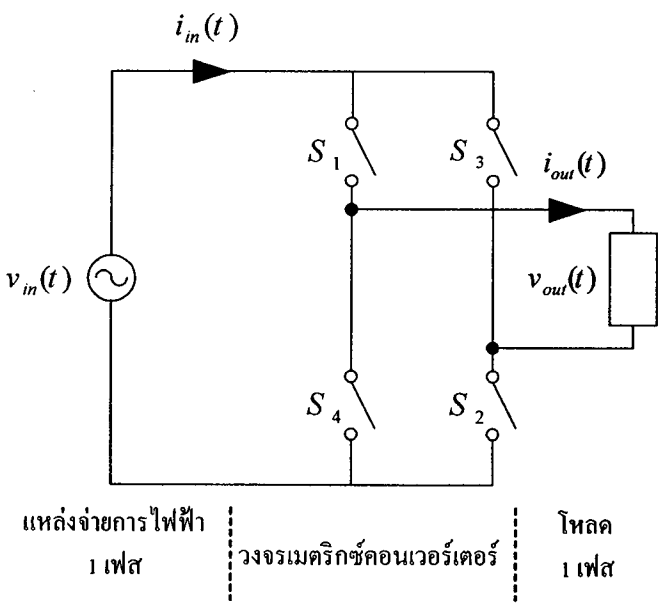
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง ลักษณะโครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ หนึ่งเฟส ซึ่งจะพิจารณาลักษณะการทำงานของสวิทช์ทั้ง 4 ชุด ที่ทำหน้าที่ตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุทตามสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้แก่สวิทช์ทั้ง 4 ชุด ในรูปของฟังก์ชั่นการสวิทช์ รวมทั้งพิจารณาลักษณะของแรงดันและกระแสด้านเอาท์พุทที่อยู่ในรูปของฟังก์ชั่นการสวิทช์ เพื่อเป็นหลักการสำหรับใช้ในการสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่เป็นเครื่องต้นแบบขึ้นมา ซึ่งรายละเอียดจะได้แสดงในหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

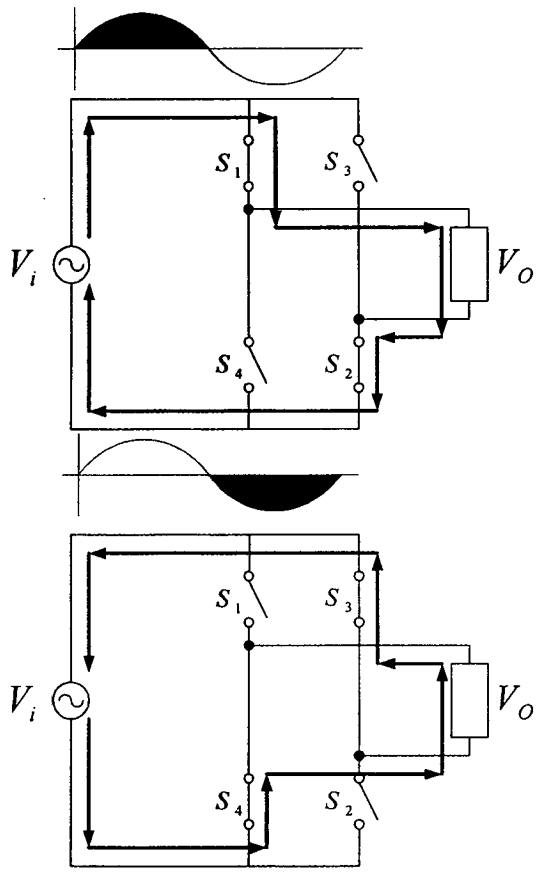
2. หลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส มีโครงสร้างของวงจรประกอบด้วยสวิทช์ 4 ชุด คือ $S_1 - S_4$ มาต่อกันในลักษณะของเมตริกซ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทมีค่าแรงดันและกระแสเท่ากับ $v_{in}(t)$ และ $i_{in}(t)$ ทำการจ่ายให้กับสวิทช์ 4 ชุด ทำหน้าที่ตัดต่อให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุทที่มีค่าแรงดันและกระแสเท่ากับ $v_{out}(t)$ และ $i_{out}(t)$ เพื่อทำการจ่ายไปยังโหลดต่อไป



รูปที่ 2.1 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 1-เฟส

สวิทช์ที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสทั้ง 4 ชุด คือ $S_1 - S_4$ ที่นำมาทำหน้าที่ตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุทนั้น สวิทช์แต่ละชุดที่ใช้เป็นสวิทช์ที่ยอมให้กระแสไหลได้สองทิศทาง (Bidirectional Switch) คือ ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชุดสวิทช์ไปยังโหลดในช่วงครึ่งไซเคิลบวกและไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชุดสวิทช์ไปยังโหลดในช่วงครึ่งไซเคิลลบแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



(ก)การไหลของกระแสในชีกบวกของแรงดันอินพุท (ข) การไหลของกระแสในชีกลบของแรงดันอินพุท

รูปที่ 2.2 การไหลของกระแสในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ที่นำเสนอดังรูปที่ 2.1 นั้น กำหนดให้ไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทมีค่าแรงดันอินพุทชั่วขณะ (Instantaneous Input Voltage) มีค่าเท่ากับ $v_i(t)$

$$v_i(t) = \sqrt{2}V_i \cos \omega_i t \qquad 2.1$$

และไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุทมีค่าแรงดันเอาท์พุทชั่วขณะ (Instantaneous Output Voltage) มีค่าเท่ากับ $v_o(t)$

$$v_o(t) = \sqrt{2}V_o \cos \omega_o t \qquad 2.2$$

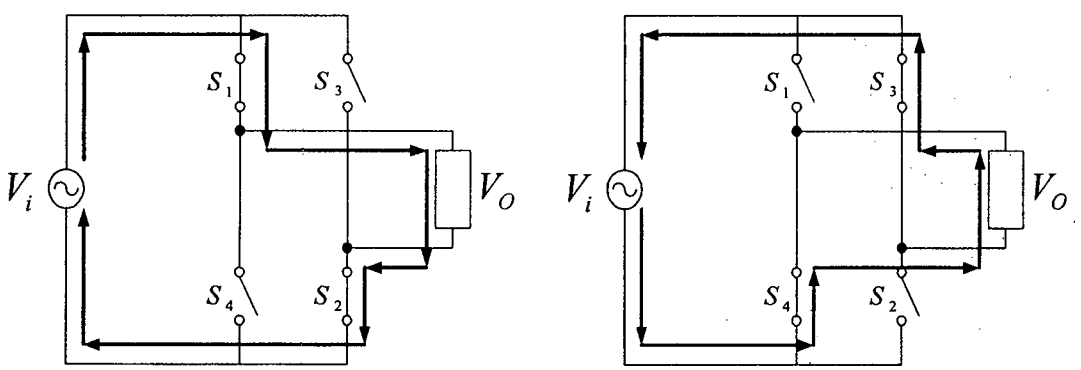
สวิทช์ทั้ง 4 ชุด ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจร มีลักษณะการทำงานของสวิทช์แต่ละชุด เพื่อให้ได้แรงดันเอาท์พุทตามที่ต้องการ ดังนี้

$$v_o(t) = \begin{cases} v_i(t) \ : \ S_1 \ \& S_2 \ = ON - Mode\ 1 \\ -v_i(t) \ : \ S_3 \ \& S_4 \ = ON - Mode\ 2 \\ 0 \ : \ S_1 \ \& S_3 \ or \ S_2 \ \& S_4 \ = ON - Mode\ 3 \end{cases} \qquad 2.3$$

และค่ากระแสอินพุทจะมีค่าเท่ากับ

$$i_i(t) = \begin{cases} i_o(t) \ \ ; \ Mode\ 1 \\ -i_o(t) \ \ ; \ Mode\ 2 \end{cases} \qquad 2.4$$

โดยที่ สวิทช์ $S_1 \ \& S_4$ และ $S_2 \ \& S_3$ จะไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นในแต่ละกิ่งของวงจรได้ และลักษณะการทำงานในแต่ละโหมดตามสมการที่ 2.3 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



(ก) โหมดการทำงานที่ 1 (ข) โหมดการทำงานที่ 2

รูปที่ 2.3 โหมดการทำงานที่ 1 และ 2 ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

จากลักษณะการทำงานของสวิทช์ทั้ง 4 ชุด ตามสมการ 2.3 พบว่ามีการทำงาน 3 โหมดการทำงาน โดยที่แต่ละโหมดการทำงานที่สามารถพิจารณาให้เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้มี 2 โหมดการทำงาน คือ การทำงานในโหมด 1 และ 2 โดยที่โหมดการทำงานที่ 3 จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นที่แหล่งจ่าย การทำงานของสวิทช์ทั้ง 4 ชุด จะทำงานที่ความถี่ในการสวิทช์ (Switching Frequency : f_s) ที่มีค่าความถี่สูง ($f_s >> f_i, f_o$ โดยที่ $f_i = \omega_i / 2\pi$ และ $f_o = \omega_o / 2\pi$) และมีค่าเวลาการทำงานของสวิทช์ (หรือค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของการสวิทช์ในแต่ละครั้ง) ในระหว่างหนึ่งไซเคิลหรือหนึ่งคาบของการสวิทช์ใดๆ ($T_s = 1/f_s$) มีค่าเท่ากับ

$$m_j^k = \frac{\Delta_j^k}{T_s} \quad 2.5$$

$$\sum_{j=1}^{2} \Delta_j = T_s \quad 2.6$$

$$m_1^k + m_2^k = 1 \quad 2.7$$

โดยที่

Δ_j^k เป็นช่วงค่าเวลาเมื่อวงจรทำงานในโหมด j ใดๆ ในระหว่างไซเคิลที่ k ใดๆ

j เป็นโหมดการทำงาน มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2

k เป็นจำนวนไซเคิลในการทำงาน มีค่าเท่ากับ $1,2,\ldots,n,\ldots\infty$

T_s เป็นคาบเวลาหรือไซเคิลของการสวิทช์

$0 \le m_j \le 1$

กรณีที่ความถี่ในการสวิทช์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าสูงๆ จะทำให้ค่าแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยในช่วงไซเคิลที่ k ใดๆ ที่มีคาบเวลาเท่ากับ T_s มีค่าเท่ากับ

$$v_{o,av}^k = (m_1^k - m_2^k) v_i^k(t) \quad 2.8$$

$$V_o \cos(\omega_o t) = (m_1 - m_2) V_i \cos(\omega_i t) \quad 2.9$$

โดยที่

$v_{o,av}^k(t)$ เป็นค่าแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยในช่วงระหว่างไซเคิลที่ k ใดๆ

$v_i^k(t)$ เป็นค่าแรงดันอินพุทในช่วงไซเคิลที่ k ใดๆ และในทางปฏิบัติมีค่าคงที่

3. สรุปท้ายบท

ในบทนี้ทำให้ทราบถึง หลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ว่ามีลักษณะการทำงานทั้งหมด 2 โหมดการทำงาน ซึ่งในแต่ละโหมดของการทำงานจะมีการทำงานของสวิทช์ทั้ง 4 ชุด แตกต่างกัน โดยสวิทช์แต่ละชุดจะทำงานตามสัญญาณพัลส์ m_1, m_2 ซึ่งคำนวณได้ตามสมการข้างต้นดังได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มจากการคำนวณนี้ จะนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มออกมา เพื่อนำไปใช้ในขับนำสวิทช์แต่ละชุดในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบต่อไป

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1976 โดย Gyugyi และ Pelly [1,2] หลักการของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ โดย Venturini และ Alessina [3, 5] ซึ่งวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการ

ลดส่วน DC link ในวงจรอินเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอโดย Ziogas [4] ซึ่งเป็นหลักการที่นำเสนอจะพิจารณาในระบบไฟฟ้าสามเฟส หลักการของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Zuckerberger [6] การประยุกต์ใช้วงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสมีมากมายหลายด้าน เช่น radio-frequency induction heating [10] และ audio power amplification [11] แต่อย่างไรก็ตามมีปริมาณงานวิจัยค่อนข้างน้อยที่จะทำการพิจารณาถึงคุณลักษณะต่างๆของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยทำทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับพาสซีฟโหลดเพื่อทำการวัดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทั้งด้านอินพุทและเอาท์พุท รวมทั้งวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และสเปกตรัมฮาร์โมนิค ที่ได้ทำการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟนี้