# บทที่ 2
# ความรู้เกี่ยวกับอุลตร้าโซนิคและหลักการที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 คลื่นอุลตร้าโซนิค

**คลื่นอุลตร้าโซนิค คือ ศาสตร์ที่เกี่ยวกับคลื่นเสียงที่อยู่เหนือขอบเขตการได้ยินของมนุษย์** ความถี่ของคลื่นเสียงจะเป็นตัวกำหนดระดับความสูงต่ำของเสียง ความถี่ต่ำทำให้เกิดเสียงทุ้มหรือเบส ความถี่สูงทำให้เกิดเสียงสูงหรือทรัมโบ ส่วนอุลตร้าซาวด์คือเสียงสูงในระดับที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน ความถี่ของเสียงซึ่งสูงกว่า 18,000 rps จะถูกเรียกว่าอุลตร้าโซนิค ความถี่ของเสียงที่ถูกใช้เพื่อทำความสะอาดจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20,000 rps จนถึง 100,000 rps ช่วงของความถี่ที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำความสะอาดโดยทั่วไปอยู่ในช่วงระหว่าง 20 kHz ถึง 50 kHz

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอุลตร้าโซนิคมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้น ๆ เช่น ที่คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 m. เศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่นแต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตร้าโซนิค อย่างเช่น 40 kHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 mm. เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มาก คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมาเครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเลใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้วความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz ก็มีใช้กันในหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

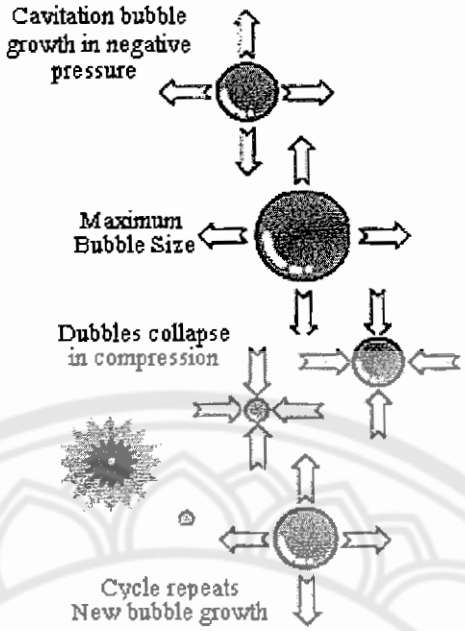
## 2.2 การทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค

เทคโนโลยีการทำความสะอาดกำลังอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงการใช้ไอระเหยจำพวกตัวทำละลายที่มีส่วนผสมของคลอรีน และฟลูออรีนในการทำความสะอาดซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานสำหรับอุตสาหกรรมส่วนมากกำลังถูกลดความนิยมลง โดยเฉพาะการนำไปใช้ในประโยชน์นิเวศวิทยา ในขณะที่การทำความสะอาดเป็นที่ต้องการมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการทำความสะอาดเป็นเรื่องสำคัญเสมอ ผู้ประกอบการได้ให้การสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านนี้มากขึ้น มันดูเหมือนว่าการจะพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้ จำเป็นต้องใส่ใจเรื่องความสะอาดเป็นอย่างมาก ส่งผลให้อุตสาหกรรมด้านการทำความสะอาดก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วในหลายปีที่ผ่านมา ความก้าวหน้าในหลาย ๆ ด้านล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีอุลตร้าโซนิค

อุตสาหกรรมด้านการทำความสะอาดที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมกำลังเข้ามาแทนที่การใช้ตัวทำลายในการกำจัดสิ่งสกปรก แม้ว่าการใช้เคมีภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมันปิโตรเลียม หรือน้ำเป็นส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ประสิทธิภาพการทำความสะอาดจะต่ำกว่าการใช้ตัวทำลาย ทำให้ไม่เพียงพอสำหรับการใช้งานบางด้าน และในขณะนี้พลังงานอุลตร้าโซนิคได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการทำความสะอาด เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

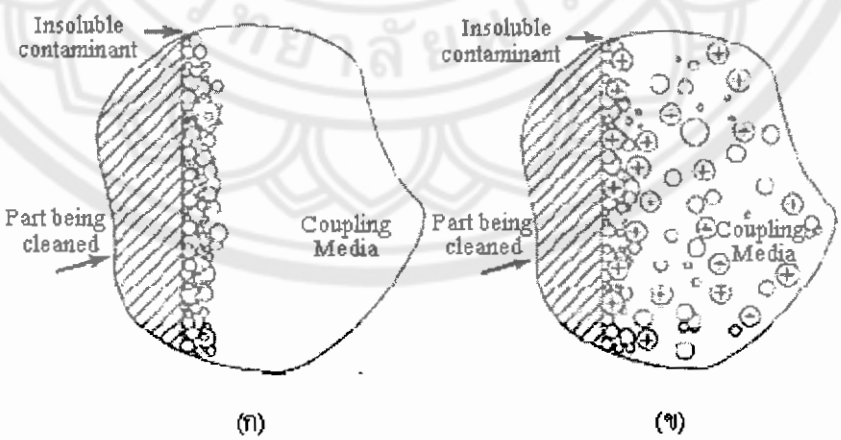
### 2.2.1 การเกิดฟองอากาศในของเหลว

ในตัวกลางแบบ Elastic เช่น อากาศ หรือของแข็งเกือบทุกชนิด จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องขณะที่คลื่นเสียงเดินทางผ่าน ส่วนในตัวกลางแบบ Non-elastic เช่น น้ำหรือของเหลวส่วนใหญ่ การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่างค่อเนื่องตราบเท่าที่ความเข้มของเสียงยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อความเข้มของเสียงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ขนาดของความดันแบบ Negative ในบริเวณที่เกิด Rarefaction จะมากพอที่จะทำให้ของเหลวเกิดการแตกตัวและเกิดฟองอากาศขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Cavitation ซึ่งในขณะที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านของเหลว ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะหดตัว และขยายตัวกลับไปกลับมา เนื่องจากอิทธิพลของความดัน Positive และเมื่อมันขยายตัวจนมีขนาดที่ไม่เสถียรภาพมันจะระเบิด ซึ่งจะเรียกการระเบิดนี้ว่า Implosion และการระเบิดนี้จะทำให้เกิด Shock wave ขึ้น ถ้าฟองอากาศจำนวนมากในของเหลวถูกกระตุ้นให้เกิดการระเบิดพร้อมกันด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค จะทำให้เกิดความดันที่สูงกว่า 10,000 PSI และอุณหภูมิที่สูงกว่า 10,000$^{\circ}F$ ณ จุดที่เกิดการระเบิดดังรูปที่ 2.1



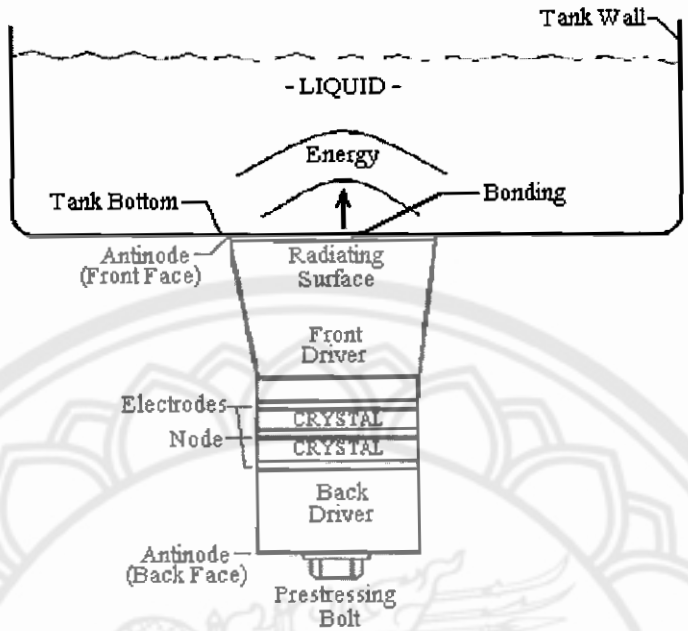

**รูปที่ 2.1** การแตกตัวของฟองอากาศในของเหลว

คลื่นอุลตร้าโซนิคช่วยเพิ่มความเร็วในการทำความสะอาดโดยการละลายสิ่งสกปรกบางประเภท เกิดจากการเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ ของอนุภาคเล็ก ๆ ด้วยแรงไอออนิค ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้น สิ่งสกปรกเหล่านี้ สามารถถูกกำจัดได้โดยการทำลายแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคคลื่นอุลตร้าโซนิคจะสร้าง Cavitation และ Implosion เพื่อไปทำลายแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเล็ก ทำให้สิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละออง หลุดออกจากพื้นผิวของชิ้นส่วน และเพื่อให้การกำจัดสิ่งสรกปรกมีประสิทธิภาพ ตัวกลาง (Coupling medium) ที่ใช้ต้องสามารถทำให้อนุภาคเล็ก ๆ เปียกได้




**รูปที่ 2.2** (ก) อนุภาคของสิ่งสกปรกที่ยึดติดอยู่ และ (ข) อนุภาคของสิ่งสกปรกปั่นป่วน

### 2.2.2 หลักการทำความสะอาด




**รูปที่ 2.3** แสดงการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนจากทรานสดิวเซอร์ไปยังน้ำ

จากรูปที่ 2.3 อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลเมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าที่มีความถี่เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ จะทำให้อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์สั่นด้วยความถี่เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ มีตัวกลางในการส่งผ่านพลังงานเป็นของเหลว อนุภาคของของเหลวเกิดส่วนที่ถูกบีบอัดและมีส่วนที่ถูกขยายสลับกันไปถ่ายทอดต่อไปเรื่อย ๆ ทำให้เกิดฟองอากาศเข้าทำความสะอาดซอกเล็ก ๆ ได้

## 2.3 อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)

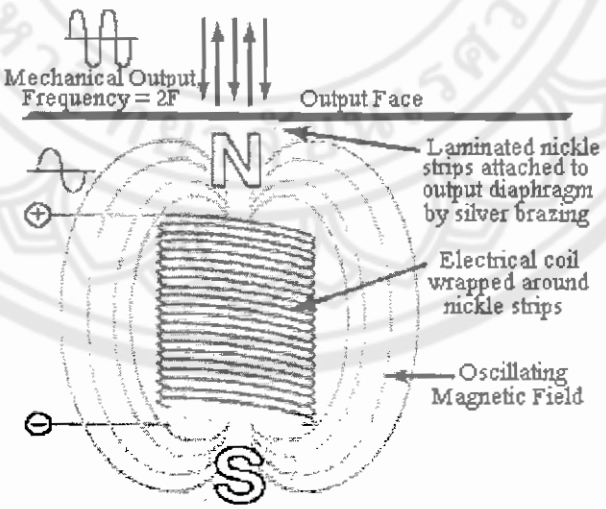
อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศได้ หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้ ในปัจจุบันอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่

**แบบแมกนีโตสตริคทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่**

**แบบเปียโซอิเลคทริค (Piezoelectric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง**

### 2.3.1 แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์

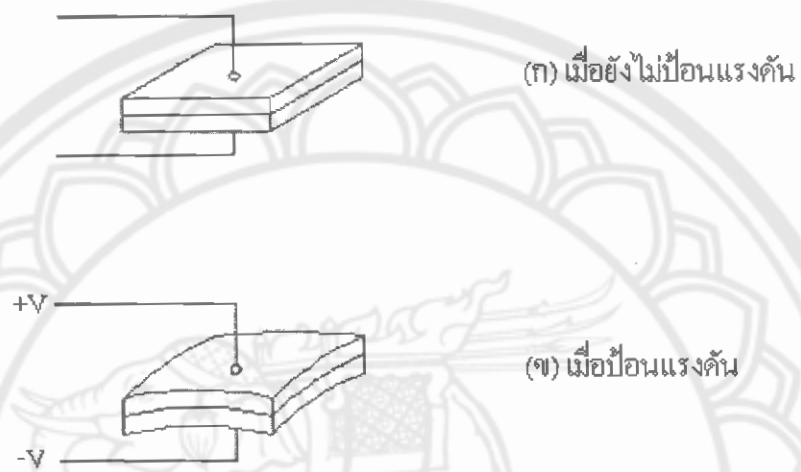
ใช้วิธีการที่เรียกว่า Magnetostriction โดยการนำวัสดุบางชนิดไปวางในสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ วัสดุจะขยายและหดตัวทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจาก Ultrasonic generator จะถูกส่งเข้าสู่ทรานสดิวเซอร์ผ่านทางขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับขึ้น และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้แท่งนิกเกิลหรือวัสดุประเภทแมกนีโตสตริคทีฟ อื่น ๆ ให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูง ระดับอุลตร้าโซนิค ความถี่ของพลังงานไฟฟ้าที่เข้าสู่ทรานสดิวเซอร์ เป็น 0.5 เท่าของความถี่ของการสั่นสะเทือน แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ เป็นตัวเลือกอันดับหนึ่ง สำหรับการใช้งานที่ต้องการพลังงานสูง เช่น การทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขนาดของอุปกรณ์รวมทั้งความสลับซับซ้อนในการทำงานของกระแสไฟฟ้าและแม่เหล็ก ทำให้ แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์แทบจะไม่ได้ถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการความถี่สูงเกิน 20 kHz เลย แต่ในทางกลับกัน เปียโซอิเลคทริกทรานสดิวเซอร์ สามารถใช้งานได้ดี สำหรับงานที่ต้องการความถี่สูงระดับ MHz โดยทั่วไป แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า เปียโซอิเลคทริคทรานสดิวเซอร์ด้วยเหตุผลจากหลักความจริงที่ว่าแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ต้องเปลี่ยนพลังงานถึง 2 ทอด คือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแม่เหล็ก และเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไปเป็นพลังงานกลอีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในแต่ละครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน นอกจากนั้นปรากฏการณ์บางอย่างที่เกิดจากแม่เหล็กยังลดประสิทธิภาพของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ลงอีกด้วย ดังรูปที่ 2.4




**รูปที่ 2.4** แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์

### 2.3.2 เปียโซอิเลคทริคทรานสดิวเซอร์

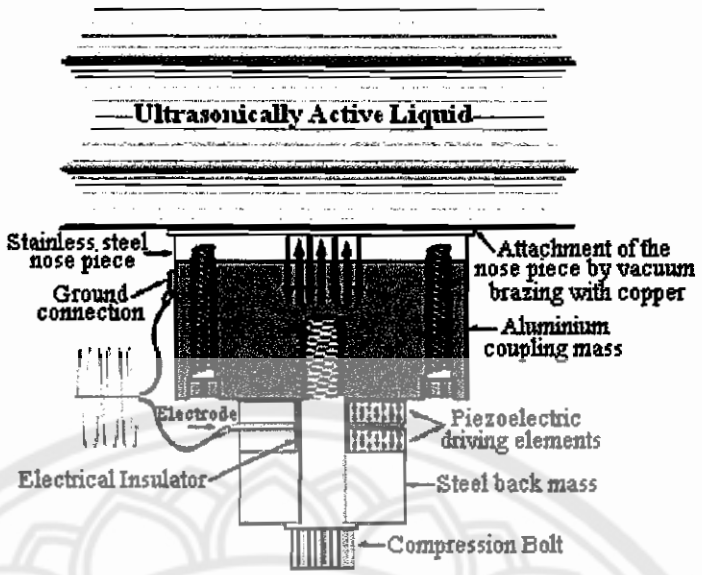
ภายในตัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริค แบบที่มีใช้กันในปัจจุบันซึ่งได้รับการพัฒนากันมาในระดับหนึ่งแล้ว จะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ชิ้นสารเซรามิคนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิค 2 ชิ้น ประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกันดังรูปที่ 2.5



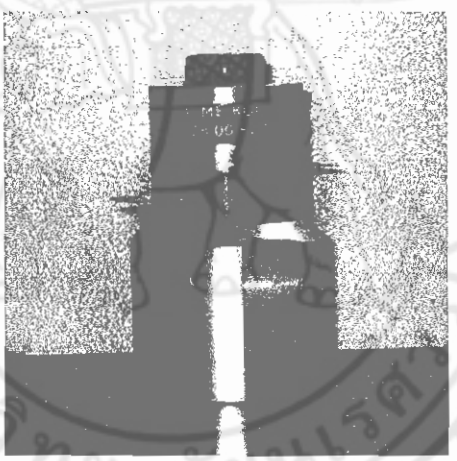

**รูปที่ 2.5** แสดงภาพจำลองอย่างง่ายของเปียโซอิเลคทริคคริสตอลในการกำเนิดคลื่น

เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิคดังรูป (ข) จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบ เกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไปโดยทั่ว ๆ ไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาท์พุทจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้มาก

ในทำนองกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นสารเซรามิคเข้ามาจะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคตริคก็คือมีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 MW เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานทางด้านไฟสลับจะลดลงซึ่งได้แสดงภาพจำลองการทำงานและลักษณะของเปียโซอิเลคทริคทรานสดิวเซอร์ ดังรูปที่ 2.6 และ รูปที่ 2.7



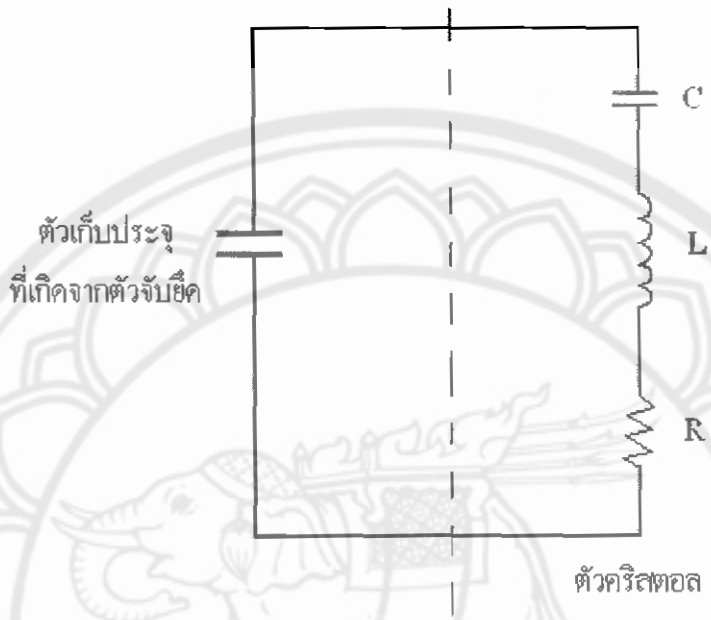

**รูปที่ 2.6** เปียโซอิเลคทริคทรานสดิวเซอร์



**รูปที่ 2.7** หัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

คริสตอลที่ใช้งานทั่วไปทำมาจากผลึกควอตซ์เมื่อมีแรงดันตกคร่อมผลึกควอตซ์ก็จะเกิดการสั่นความถี่ที่สั่นได้จะมีค่าเกือบคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของผลึกนั้น ความถี่ที่เกิดขึ้นจะยังเปลี่ยนแปลงไปอีกเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิ

คริสตอลมีสมบัติคล้ายกับวงจรเรโซแนนซ์ สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.8

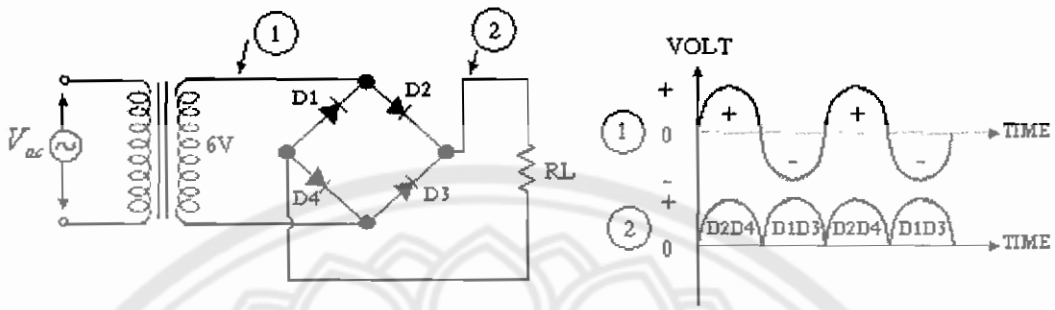



**รูปที่ 2.8** แสดงวงจรสมมูลของคริสตอล

ผลึกควอตซ์เป็นวัสดุจำพวกซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีลักษณะเหมือนแก้วในส่วนของผลึกจะมีรูปร่างเป็น 6 ด้านเหมือนปริซึม ความหนาของแผ่นคริสตอลจะเป็นตัวกำหนดความถี่ของการเรโซแนนซ์ ถ้าแผ่นคริสตอลยิ่งบางก็จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าสูง

## 2.4 วงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge rectifier)

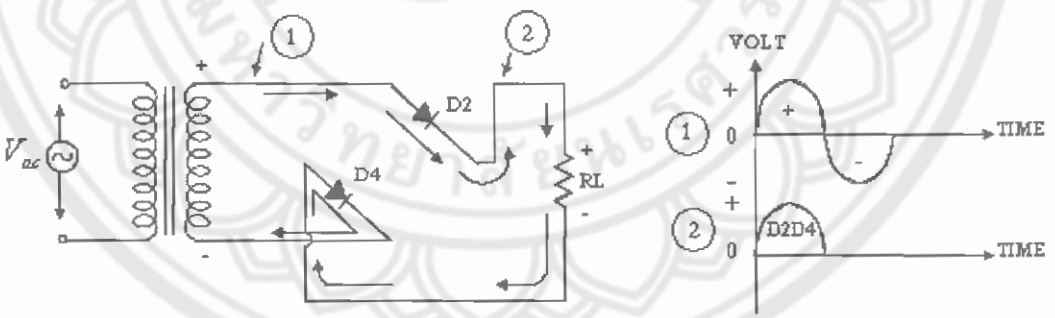
การทำงานของบริดจ์เรียงกระแส แต่ละครึ่งสัญญาณของแรงดันไฟสลับ ไดโอดจะทำงานครั้งละ 2 ตัว สลับกันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา วงจรและการทำงานอธิบายได้ดังนี้




(ก) แรงดันไฟสลับช่วงบวกป้อนเข้ามา (ข) ไดโอด $D_2, D_4$ นำกระแส

**รูปที่ 2.9** วงจรและแรงดันไฟสลับที่จุดต่าง ๆ ของเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์

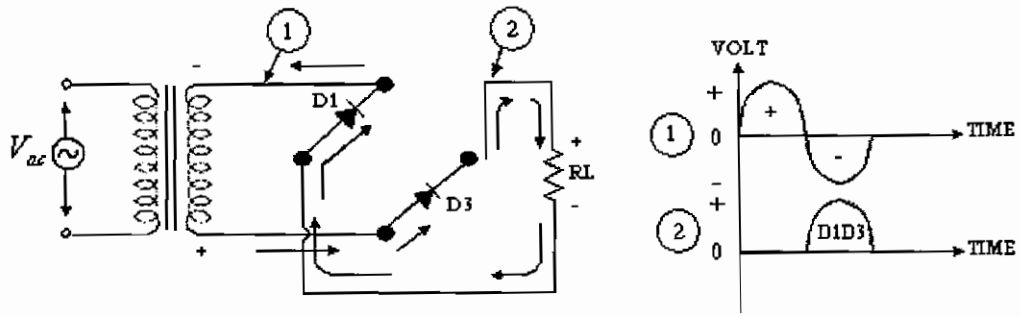
จากรูปที่ 2.9 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ และแรงดันไฟสลับที่จุดต่าง ๆ ของวงจรซึ่งจะได้แรงดันไฟสลับแต่ละจุดเหมือนกับเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทุกประการ เพียงแต่ในจุดที่ 2 แรงดันไฟสลับช่วงบวกที่ได้จะต้องผ่านไดโอดทำหน้าที่เรียงกระแสครั้งละ 2 ตัว $D_2, D_4$ ทำงานครั้งหนึ่ง และ $D_1, D_3$ ทำงานอีกครั้งหนึ่งสลับกันไป สามารถอธิบายการทำงานแต่ละครั้งได้ดังนี้




(ก) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (ข) แรงดันไฟสลับแต่ละจุด

**รูปที่ 2.10** ขณะจ่ายแรงดันไฟสลับไบอัสตรงให้ไดโอด $D_2, D_4$

จากรูปที่ 2.10 เมื่อจ่ายแรงดันไฟสลับเข้ามาที่ขดลวดทุติยภูมิ ด้านบนบวก ด้านล่างลบ จ่ายไบอัสให้ไดโอดทั้ง 4 ตัว ไดโอดตัวที่ได้รับไบอัสตรง คือ ไดโอด $D_2, D_4$ มีกระแสไหลจากขั้วบวกด้านบน ผ่านไดโอด $D_2$ ผ่านโหลด $R_L$ ผ่านไดโอด $D_4$ ครบวงจรที่ขั้วลบด้านล่าง มีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมโหลด $R_L$ บนบวกล่างลบ ได้แรงดันไฟสลับช่วงบวกออกด้านขาออก




(ก) แรงดันไฟสลับช่วงลบป้อนเข้ามา (ข) ไดโอด $D_1, D_3$ นำกระแส

**รูปที่ 2.11** ขณะจ่ายแรงดันไฟสลับไบอัสตรงให้ไดโอด $D_1, D_3$

จากรูปที่ 2.11 เมื่อจ่ายไฟสลับมาที่ขดลวดทุติยภูมิ ด้านบนลบ ด้านล่างบวก จ่ายเป็นไบอัสให้ไดโอดทั้ง 4 ตัว ไดโอดตัวที่ได้รับไบอัสตรง คือ ไดโอด $D_1, D_3$ มีกระแสไหลจากบวกด้านล่างผ่านไดโอด $D_3$ ผ่านโหลด $R_L$ ผ่านไดโอด $D_1$ ครบวงจรที่ขั้วลบด้านบน มีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมโหลด $R_L$ บนบวกล่างลบ ได้แรงดันไฟสลับขาออกช่วงบวก

การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ จะทำงานทุกครั้งของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามา ไดโอด $D_2, D_4$ และไดโอด $D_1, D_3$ จะทำงานสลับกันครั้งละครึ่งสัญญาณ ไดโอด $D_2, D_4$ จะทำงานเมื่อจ่ายบวกเข้าด้านบน จ่ายลบเข้าด้านล่างขดลวดทุติยภูมิ ไดโอด $D_1, D_3$ จะทำงานเมื่อจ่ายลบเข้าด้านบน จ่ายบวกเข้าด้านล่าง ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นแรงดันไฟตรงกระเพื่อมแบบเต็มคลื่น แสดงดังรูปที่ 2.9 (ข) ตำแหน่งที่ 2

## 2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นออสซิลเลเตอร์

ในทางอิเล็กทรอนิกส์ ออสซิลเลเตอร์มีความหมายถึงการเปลี่ยนไปมาของแรงดันหรือกระแส ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด หรือก็คือเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนั่นเอง

วงจรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่จะให้สัญญาณรูปซายน์ ดังนั้นวงจรออสซิลเลเตอร์จึงถูกนำมาใช้งานในด้านวงจรเครื่องส่ง วงจรสร้างสัญญาณ วงจรต้นกำเนิดสัญญาณความถี่ต่าง ๆ และยังเป็นวงจรในส่วนประกอบย่อยของวงจรอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก

การกำเนิดสัญญาณด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์มีได้หลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีลักษณะสำคัญพิเศษอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น ให้ความถี่ต่ำ ๆ ดี หรือให้ความถี่สูง ๆ ดี เสถียรภาพทางความถี่ดี การปรับความถี่ เป็นไปได้ยากหรือง่าย

วงจรออสซิลเลเตอร์ จะกำเนิดสัญญาณออกมาตลอดเวลา โดยมีขนาดและความถี่คงที่ ชนิดของการออสซิลเลเตอร์แบ่งได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น

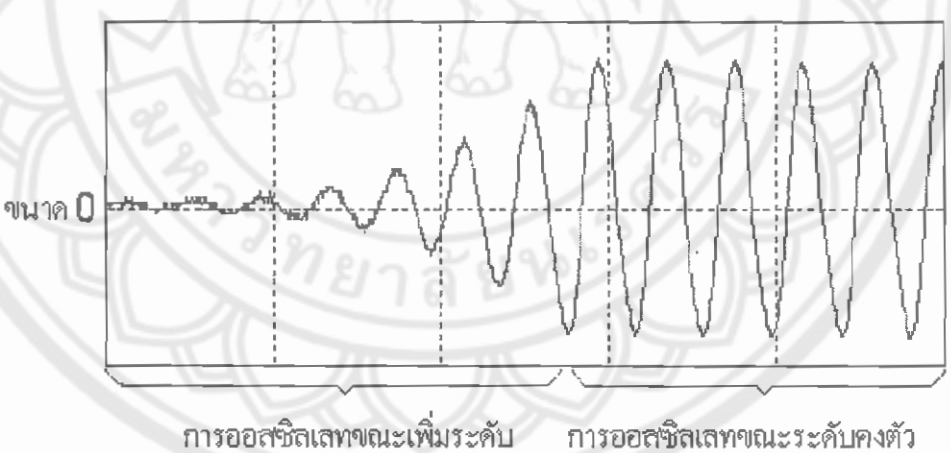
1. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC เช่น ฮาร์ทเลย์ออสซิลเลเตอร์ คอลพิทท์ออสซิลเลเตอร์ การใช้งานเป็นแบบที่นิยมใช้ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ง่าย ใช้ในย่านความถี่สูงแต่เสถียรภาพของความถี่ไม่ดี

2. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ RC เช่น แบบเลื่อนเฟส หรือ แบบเวนบริดจ์ สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ ใช้งานในช่วงความถี่ต่ำ แต่เสถียรภาพของความถี่ไม่ดี

3. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอล (Crystal) ใช้ในย่านความถี่สูง เสถียรภาพของความถี่ดี แต่การเปลี่ยนแปลงความถี่ทำได้ยาก

### 2.5.1 หลักการเบื้องต้นของการเกิดออสซิลเลท

ในวงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปที่ใช้งานกันอยู่ จะมีการออสซิเลทได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องมีการป้อนสัญญาณแรงดันขาเข้าเข้าไปแม้แต่น้อย ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดการออสซิลเลทในขณะเริ่มต้นคือ สัญญาณรบกวนที่มีอยู่ภายในอุปกรณ์แล้วถูกขยาย โดยผลอันนี้จะทำให้กำลังงานป้อนไปให้วงจรเกิดการออสซิลเลทได้ ขนาดของการเกิดออสซิลเลทจะเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.12 และการออสซิลเลทในลักษณะแรกนี้เรียกว่า การออสซิลเลทในช่วงเริ่มแรก หลังจากผ่านช่วงนี้ไปขนาดของสัญญาณจะเริ่มคงที่สภาวะนี้เรียกว่าการออสซิลเลทแบบต่อเนื่องและการออสซิลเลทจะเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟเลี้ยงวงจร



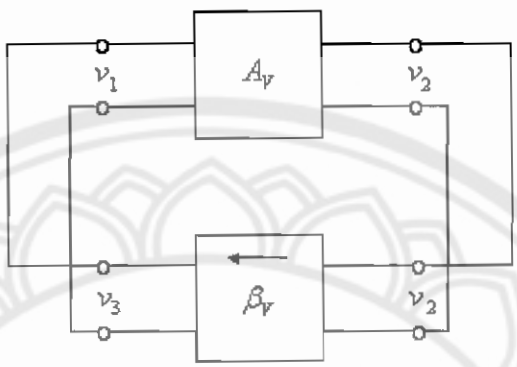

**รูปที่ 2.12** สัญญาณออสซิลเลท

วงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปมักจะมีการออสซิลเลทที่ความถี่เดียว ทั้งนี้เพราะวงจรป้อนกลับที่สัญญาณจากขาออกมายังสัญญาณขาเข้า มักจะเป็นวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวก R, L ซึ่งก็เป็นที่แน่นอนว่าอุปกรณ์ L และ C ย่อมให้ผลทางด้านเฟส นั้นคือจะมีความถี่ที่เป็นผลทำให้เฟสที่ได้กลับมาเสริมกับสัญญาณขาเข้าเกิดการออสซิลเลท หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สัญญาณขาออกเมื่อ

ผ่านวงจรป้อนกลับแล้ว จะเป็นผลทำให้ผลคูณของ $A_V$ เดิม กับค่า $\beta_V$ ของวงจรป้อนกลับมีค่าเป็น 1 พอดี

### 2.5.2 ข้อกำหนดของการเกิดออสซิลเลท

1. กรณีของอุปกรณ์ที่ทำงานในลักษณะของศักย์ไฟฟ้า




**รูปที่ 2.13** วงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีการป้อนกลับในลักษณะของศักย์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.13 เมื่ออัตราการขยายศักย์ไฟฟ้าสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณมีค่าเป็น $A_V$ และศักย์ไฟฟ้าของการป้อนกลับของวงจรป้อนกลับมีค่าเป็น $\beta_V$ แล้วจะได้ว่า

$$A_V = \frac{v_2}{v_1} \tag{2.1}$$

$$\beta_v = \frac{v_3}{v_2} \tag{2.2}$$

ถ้า $v_1 < v_3$ การออสซิลเลทจะเริ่มเกิดขึ้น และผลคูณของ $A_v\beta_v$ จะเป็น

$$A_v\beta_v = \frac{v_3}{v_1} > 1 \tag{2.3}$$

สมการที่ (2.3) เรียกว่าข้อกำหนดของการเกิดการออสซิลเลท เมื่อขนาดของการออสซิลเลทมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจุดสัญญาณออกของวงจรขยายสัญญาณ เข้าสู่สภาวะของการอิ่มตัว ทำให้ค่า $A_V$ ลดลง ยังผลให้ข้อกำหนดต่อไปเกิดขึ้น

$$A_v\beta_v = 1 \tag{2.4}$$

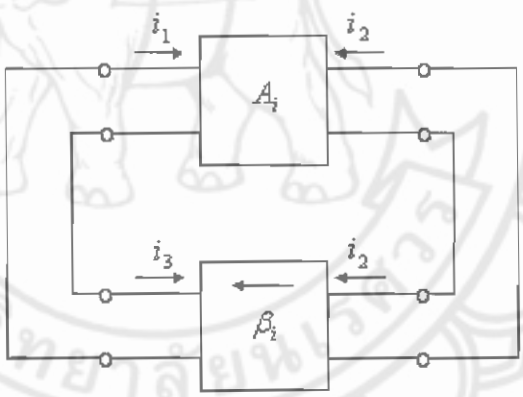
เมื่อเกิดการออสซิลเลทแบบต่อเนื่องแล้ว ขนาดของศักย์ไฟฟ้าสัญญาณที่ได้จะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการที่ (2.4) จึงเรียกว่าข้อกำหนดของการออสซิลเลทแบบต่อเนื่อง เนื่องจากค่าของ $A_v$ และ $\beta_v$ จะเป็นเลขจำนวนประกอบ (Complex) คำตอบที่ได้จึงมีสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นจำนวนจริง: $R_e(A_v\beta_v)$ และอีกส่วนหนึ่งเป็นจำนวนจินตภาพ: $I_m(A_v\beta_v)$ แสดงได้ดังนี้

$$R_e(A_v\beta_v) = 1 \quad \text{(ข้อกำหนดของขนาดศักย์ไฟฟ้า)} \tag{2.5}$$

$$I_m(A_v\beta_v) = 0 \quad \text{(ข้อกำหนดของความถี่)} \tag{2.6}$$

จากสมการที่ (2.5) เรียกว่า ข้อกำหนดขนาดศักย์ไฟฟ้าสัญญาณ ซึ่งใช้หาค่าของ $A_v$ และ $\beta_v$ ที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลทแบบต่อเนื่อง

2. กรณีของอุปกรณ์ที่ทำงานในลักษณะของกระแส




**รูปที่ 2.14** วงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีการป้อนกลับในลักษณะของกระแส

จากรูปที่ 2.14 ค่า $A_i$ และ $\beta_i$ จะเป็น

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} \tag{2.7}$$

$$\beta_i = \frac{i_3}{i_2} \tag{2.8}$$

การออสซิลเลทจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ $i_1 < i_3$ และที่ $i_1 = i_3$ การออสซิลเลทจะเริ่มมีค่าคงที่ ดังนี้

$$A_i\beta_i = \frac{i_3}{i_1} > 1 \text{ (ข้อกำหนดของการเริ่มออสซิลเลท)} \qquad (2.9)$$

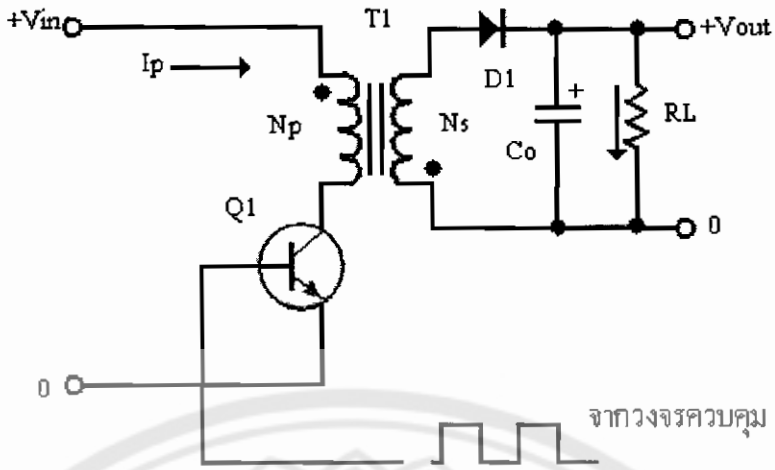
$$A_i\beta_i = \frac{i_3}{i_1} = 1 \text{ (ข้อกำหนดของการออสซิลเลทแบบต่อเนื่อง)} \qquad (2.10)$$

การพิจารณาในรูปของเฟสกับการป้อนกลับ สัญญาณป้อนกลับจากขาออกจะกลับเฟส $180^{\circ}$ แล้วป้อนผ่านเข้ามาทางสัญญาณขาเข้าใหม่ ดังนั้นสัญญาณที่เข้ามาจะมีทิศทางเสริมกับสัญญาณที่ป้อนกลับ ซึ่งถ้าเฟสที่ป้อนกลับเข้ามาไม่ตรงกับเฟสของวงจรขยายก็จะไม่เกิดการออสซิลเลท (โดยปกติในวงจรขยายทั่วไป สัญญาณขาออกจะมีเฟสต่างจากสัญญาณขาเข้า $180^{\circ}$ อยู่แล้ว)

สัญญาณขาออกที่ได้จะกลับเฟสแล้วมาเสริมกับสัญญาณขาเข้าของวงจรขยายทำให้สัญญาณขาเข้ามีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สัญญาณขาออกที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อป้อนกลับเข้ามาเสริมอีกก็จะให้สัญญาณขาออกใหญ่ขึ้นอย่างไม่มีที่สิ้นสุด โดยปกติการเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะถูกจำกัดที่ค่าแรงดันค่าหนึ่ง ดังนั้นค่าที่ป้อนกลับมาก็เสมือนกับการป้อนกลับด้วยค่าคงที่ วงจรจึงให้สัญญาณขาออกได้ที่ระดับแรงดันเสมือนกับคงที่คือการออสซิลเลทนั้นเอง

## 2.6 พื้นฐานการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.15 แสดงวงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ ทรานซิสเตอร์กำลัง $Q_1$ จะทำงานโดยนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไป เมื่อ $Q_1$ นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ $(I_p)$ แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิพันอยู่ในลักษณะกลับทิศกัน ดังนั้นในขณะที่ $Q_1$ นำกระแส ไดโอด $D_1$ จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด $R_L$ พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง เมื่อ $Q_1$ หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ ไดโอด $D_1$ จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ที่ขดลวดปฐมภูมิจะถูกถ่ายเทไปยังขดลวดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและตัวเก็บประจุแรงดันขาออก $C_o$ ได้




**รูปที่ 2.15** วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \qquad (2.11)$$

โดยที่ $T$ คือ คาบเวลาการทำงานของ $Q_1$ เป็นวินาที

$t_{ON}$ คือ ช่วงเวลาที่ $Q_1$ นำกระแส เป็นวินาที

$N_p$ คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ เป็นรอบ

$N_s$ คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ เป็นรอบ

$V_{out}$ คือ แรงดันที่ขาออกของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์

$V_{in}$ คือ แรงดันที่ขาเข้าของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์

$V_{CE(sat)}$ คือ แรงดันตกคร่อม $Q_1$ ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็นโวลต์

$V_D$ คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด $D_1$ ขณะนำกระแส เป็นโวลต์

จะเห็นได้ว่า วงจรจะสามารถคงค่าแรงดันเอาไว้ได้ด้วยการเพิ่มหรือลดช่วงเวลานำกระแส ($t_{ON}$) ของทรานซิสเตอร์กำลัง $Q_1$ เท่านั้น ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาเข้าหรือมีการเปลี่ยนแปลงโหลดก็ตาม

### 2.6.1 ลักษณะกระแสและแรงดันภายในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

กระแสที่ไหลผ่าน $Q_1$ และขดลวดปฐมภูมิ ขณะที่ $Q_1$ นำกระแสนั้น จะเป็นลักษณะของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} \tag{2.12}$$

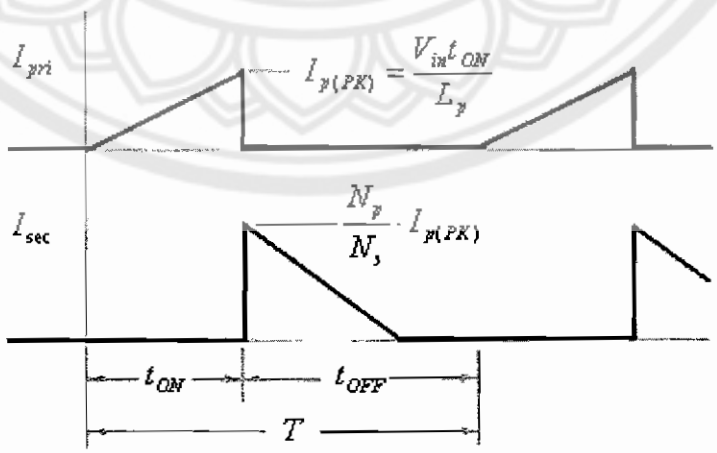
ดังนั้น กระแส $I_p$ จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามเวลาและมีค่าสูงสุดเมื่อ $Q_1$ เริ่มหยุดนำกระแส ที่เวลา $t = t_{ON}$ ดังนั้น กระแสสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ

$$I_{p(PK)} = \frac{(V_{in} - V_{CE(sat)})}{L_p} t_{ON} \tag{2.13}$$

โดยที่ $I_{p(PK)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ เป็นแอมแปร์

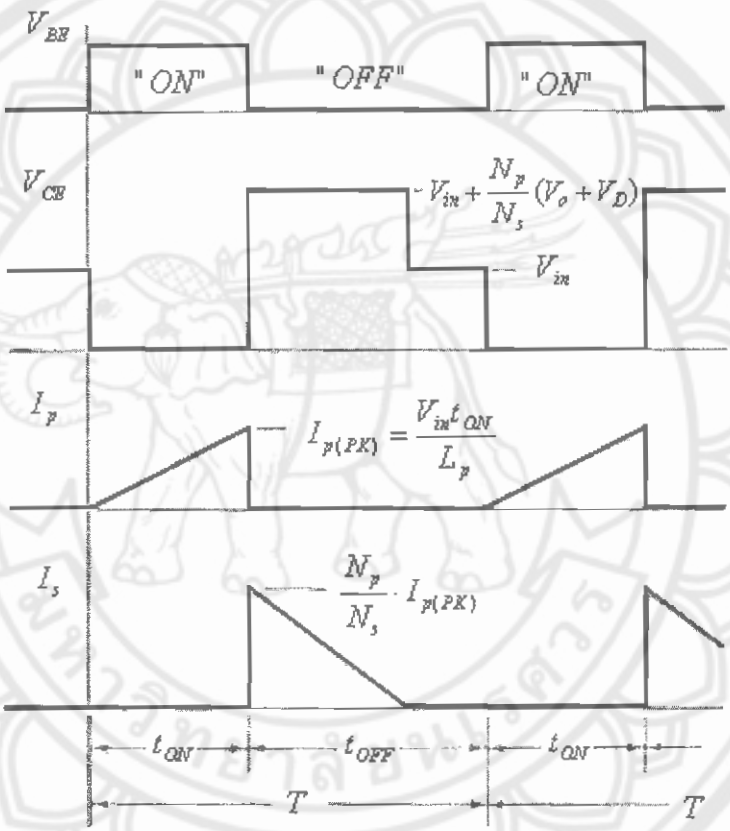
$L_p$ คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ เป็นเฮนรี่

เมื่อ $Q_1$ เริ่มหยุดนำกระแส ขดลวดทุติยภูมิเริ่มมีกระแสไหล แต่เนื่องจากกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดไม่ได้ กระแสที่ขดลวดทุติยภูมิ $(I_s)$ จะต้องเริ่มต้นที่ค่าสูงสุดของกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิ $I_{p(PK)}$ โดยมีค่าเป็นสัดส่วนตามอัตราส่วนจำนวนรอบ $\frac{N_s}{N_p}$ ดังนั้นกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าเริ่มต้นที่ $I_s = (\frac{N_p}{N_s}) I_{p(PK)}$ และมีค่าลดลงตามเวลา ลักษณะของกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิตามเวลาจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.16




**รูปที่ 2.16** แสดงลักษณะของกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิและที่ขดลวดทุติยภูมิขณะที่วงจรทำงาน

เมื่อมีกระแสไหลที่ขดลวดทุติยภูมิในขณะที่ $Q_1$ หยุดนำกระแส จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิด้วย เนื่องจากแรงดันตกคร่อมของขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ $V_{out}+V_D$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ $(\frac{N_p}{N_s})(V_{out}+V_D)$ ทำให้แรงดันตกคร่อม $Q_1$ ขณะหยุดนำกระแส มีค่าเป็น $V_{in}+(\frac{N_p}{N_s})(V_{out}+V_D)$ จนกระทั่งกระแสที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิมีค่าลดลงเป็นศูนย์ แรงดันที่ดกคร่อม $Q_1$ จึงลดลงมามีค่าเท่าแรงดันขาเข้า $V_{in}$ ในรูปที่ 2.17 จะแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นภายในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

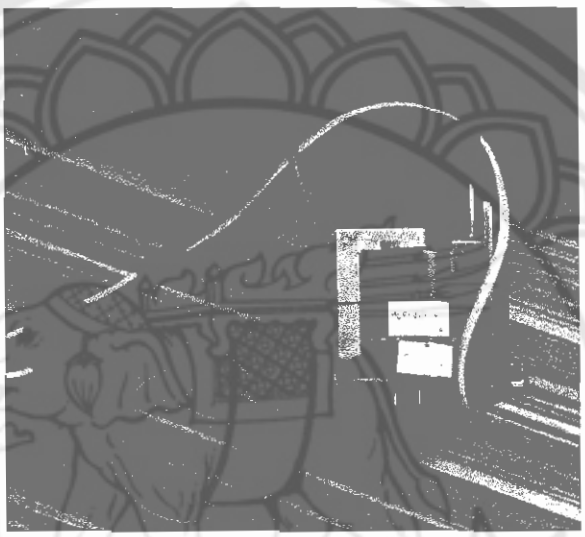



**รูปที่ 2.17** แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรขณะทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

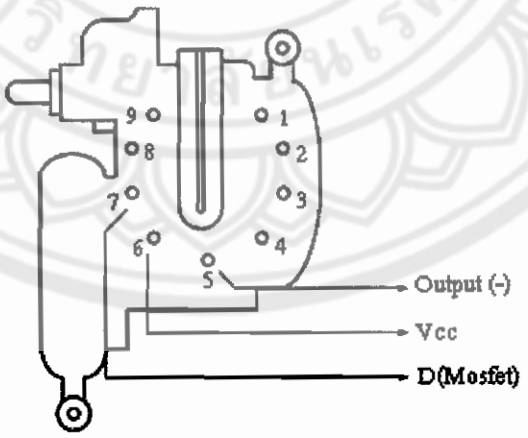
ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนักโดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 W และให้ค่าสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ (Radio Frequency Interference, RFI) และ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Interference, EMI) ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

### 2.6.2 หม้อแปลงฟลายแบค

เนื่องจากใช้หม้อแปลงสำเร็จรูปจึงไม่สามารถหาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงได้จาก $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$ ทำให้สามารถประมาณอัตราส่วนของแรงดัน $\frac{V_1}{V_2}$ ได้โดยจะใช้ค่าผลการทดลองขณะ No-load คิดที่ Duty cycle 10% สามารถคำนวณอัตราส่วนแรงดัน $\frac{V_1}{V_2}$ ได้เท่ากับ 1:195.12 V นั้นหมายความว่า จ่าย $V_{in}$ เท่ากับ 1 V จะได้ $V_{out}$ เท่ากับ 295.12 V โดยหม้อแปลงฟลายแบคเบอร์ TLF14649 จะมีลักษณะการต่อวงจรภายใน ดังรูปที่ 2.18 และรูปที่ 2.19



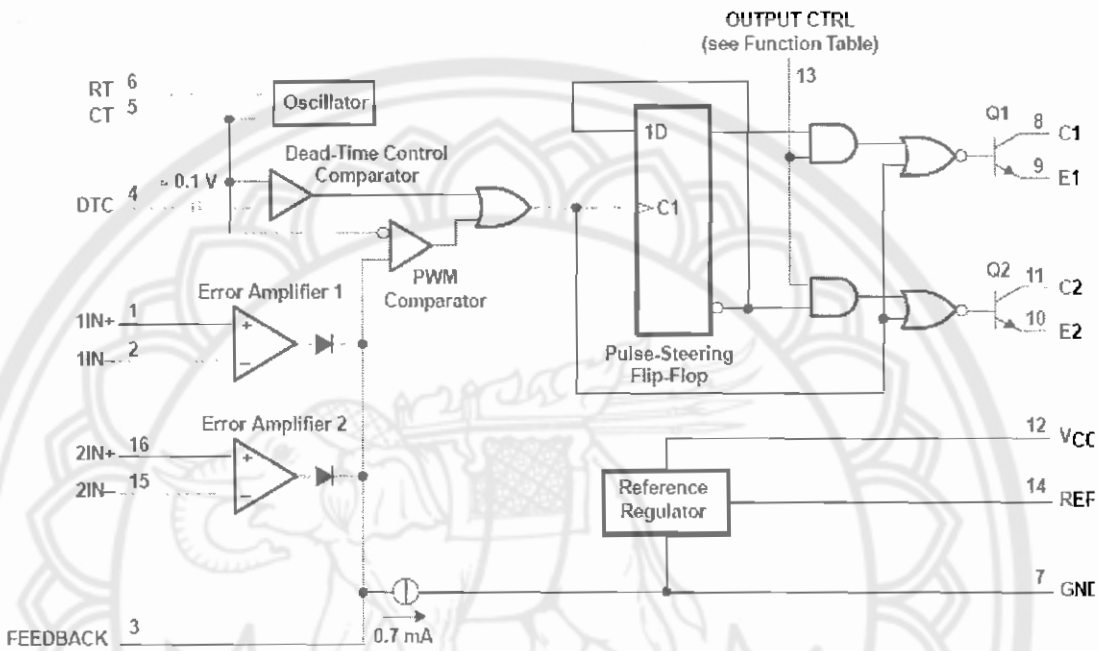
**รูปที่ 2.18** หม้อแปลงฟลายแบคเบอร์ TLF14649




**รูปที่ 2.19** ลักษณะการต่อวงจรภายในของหม้อแปลงฟลายแบคเบอร์ TLF14649

## 2.7 ไอซีเบอร์ TL494 สำหรับโหมดควบคุมจากแรงดัน

ไอซีเบอร์ TL494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494 แสดงในรูปที่ 2.20 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

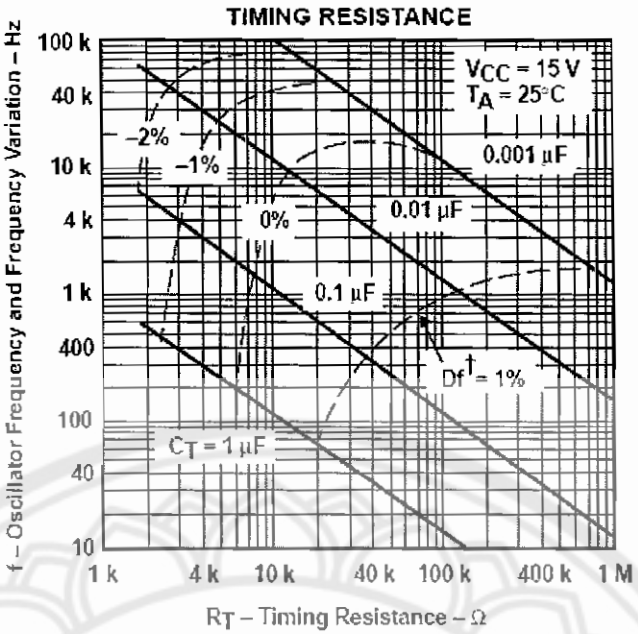



**รูปที่ 2.20** แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL494

### 2.7.1 การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของรูปคลื่นแรงดันขาออกกำหนดโดยค่าของ $R_T$ และ $C_T$ จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซีดังรูปที่ 2.21 ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = \frac{R_T C_T}{1.1} \tag{2.14}$$

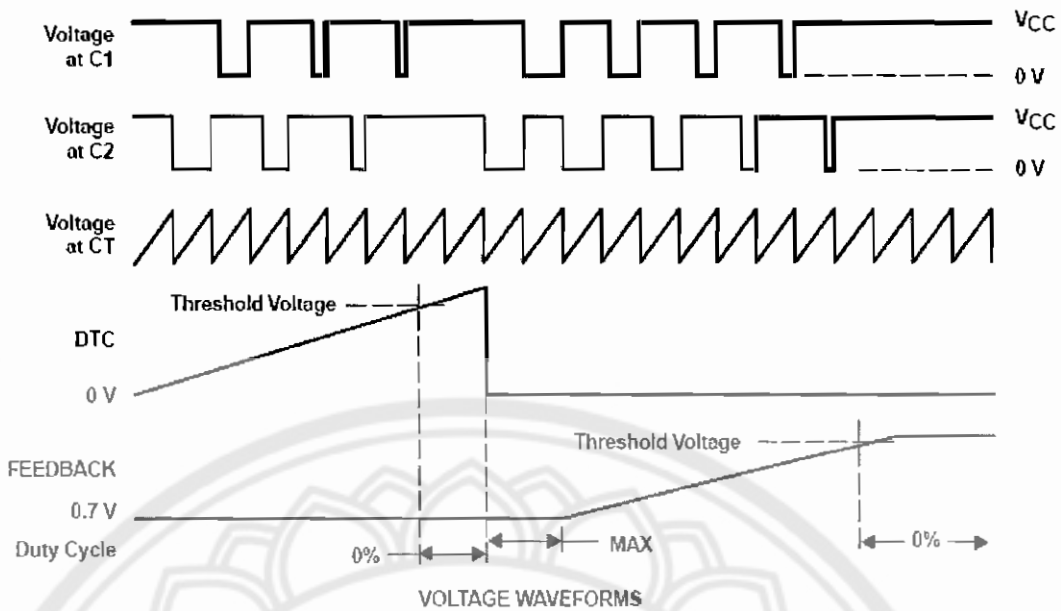



**รูปที่ 2.21** แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่

### 2.7.2 การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างรูปคลื่นแรงดันขาออกของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amplifier) ทั้ง 2 ตัวที่ตัวเปรียบเทียบสัญญาณ PWM ส่วน NOR เกทที่ควบคุมทรานซิสเตอร์แรงดันขาออก $Q_1$ และ $Q_2$ จะทำงานก็ต่อเมื่อ $C_k$ จะเป็น "Low" ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก วงจรขยายความแตกต่าง ทั้ง 2 ตัว นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างรูปคลื่นแรงดันขาออกของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลง ความกว้างของรูปคลื่นแรงดันขาออกของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างรูปคลื่นแรงดันขาออกของไอซีนี้สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือม่ค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วย การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 V จนถึง 3.5 V ส่วน วงจรขยายความแตกต่าง ทั้งสองตัวจะมีช่วงของแรงดันขาเข้าคอมมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง $(V_{CC} - 2)$ V และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่ขาออกของคอนเวอร์เตอร์ได้ วงจรขยายความแตกต่าง ทั้ง 2 ตัวจะให้แรงดันขาออกในลักษณะให้สถานะ "High" (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา Non-inverting ของตัวเปรียบเทียบสัญญาณ PWM การต่อกันในลักษณะนี้ วงจรขยายความแตกต่าง ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างรูปคลื่นแรงดันขาออกต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของแรงดันขาออกพัลส์ของไอซี ดังรูปที่ 2.22




**รูปที่ 2.22** แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494

### 2.7.3 การกำหนดค่าเวลาเผื่อ $T_D$

TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเผื่อ $t_D$ ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 V ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตาม หากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 V ค่าเวลาเผื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4% ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 mV ต่ออยู่ภายใน ดังนั้นช่วงเวลา $t_{ON}$ สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (output control) เข้ากับขา 14 ($+5V_{ref}$) และมีค่าเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

### 2.7.4 การเลือกใช้ $Q_1$ และ $Q_2$ ที่แรงดันขาออกของไอซี

แรงดันขาออก $Q_1$ และ $Q_2$ ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกันหรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output control) โดยขณะที่ $C_T$ ดิสชาร์จ แรงดันขาออกของตัวเปรียบเทียบสัญญาณ Dead-Time จะให้พัลส์ออกมา $C_k$ จะมีสถานะเป็น "High" และหยุดการทำงานของ $Q_1$ และ $Q_2$ ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น "High" โดยการต่อเข้ากับขา 4 ($+5V_{ref}$) $Q_1$ และ $Q_2$ จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ Flip-Flop เพื่อใช้ขับคอนเวอร์เตอร์แบบพุช-พูล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานเป็น "Low" โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิก Flip-Flop) $Q_1$ และ $Q_2$ จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน $Q_1$ และ $Q_2$ เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลา)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \le V_{CC} \le 40$ V มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ V และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 mA เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง ±1.5% ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 mV เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70°C

14345022
ปร.
ส1697
2550