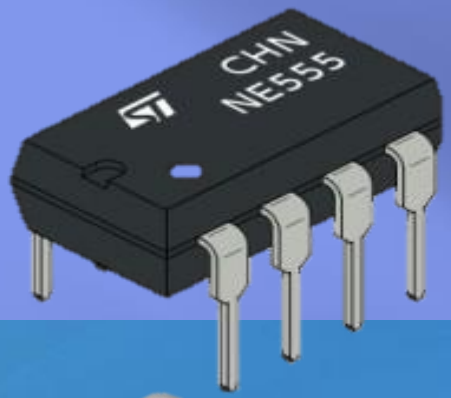
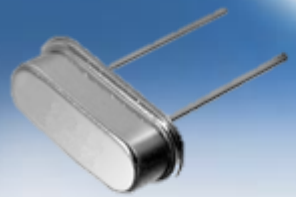


รูปร่างสัญญาณไฟฟ้า



2105-2006 วงจรพัลส์และสวิตชิง

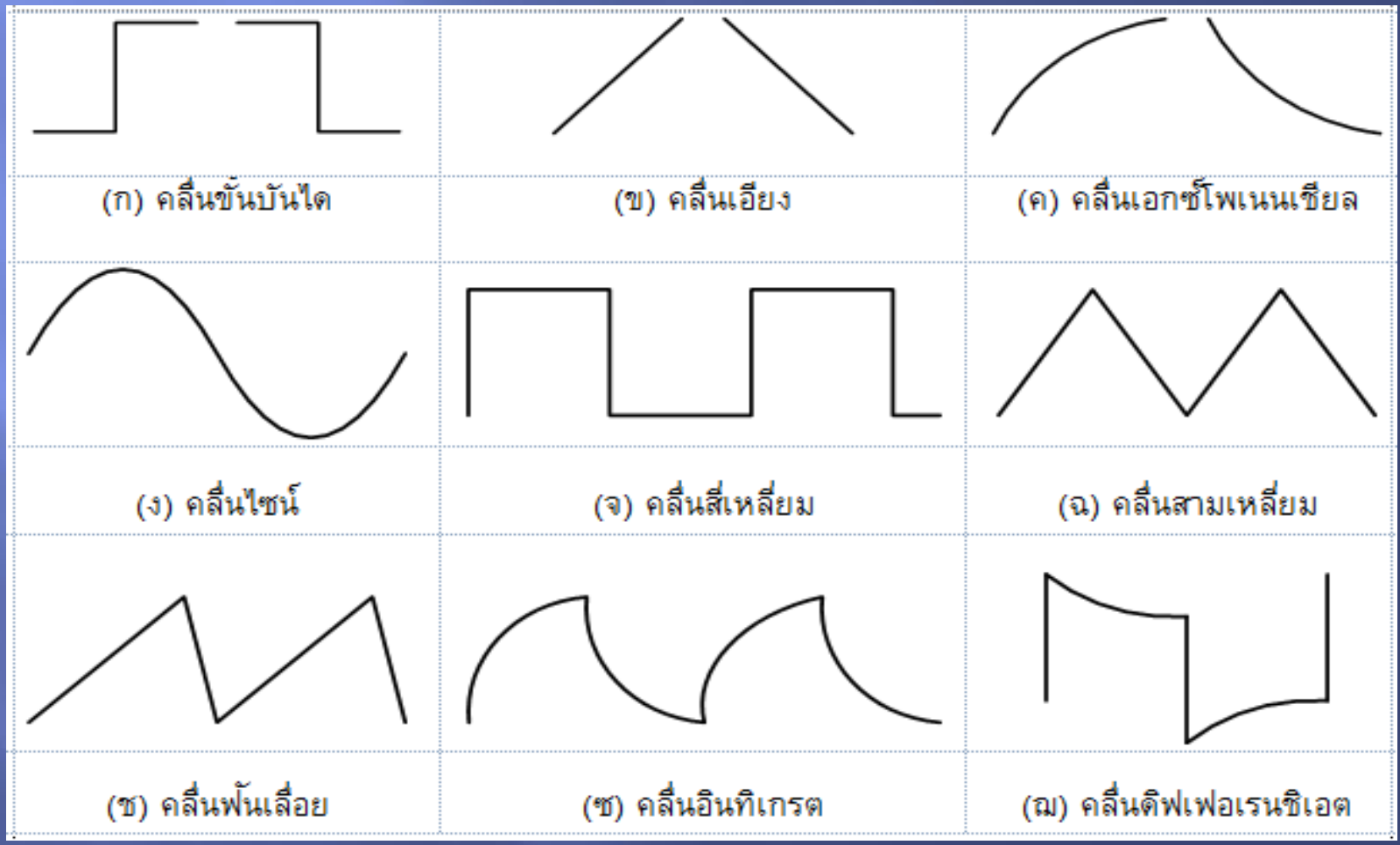
1.1 รูปคลื่นสัญญาณ

สัญญาณไฟฟ้า (Electrical Signal) ที่นำมาใช้งานมีด้วยกันหลายชนิด หลายรูปแบบ ถูกกำเนิดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่แตกต่างกันไป สัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการนำไปใช้ควบคุมการทำงาน ในหลายด้าน หลายหน้าที่ การวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และสามารถเลือกใช้งานสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องเหมาะสม รวมถึงช่วยในการวิเคราะห์ระบบการทำงาน และการควบคุมการทำงาน ให้มีความถูกต้องแม่นยำ

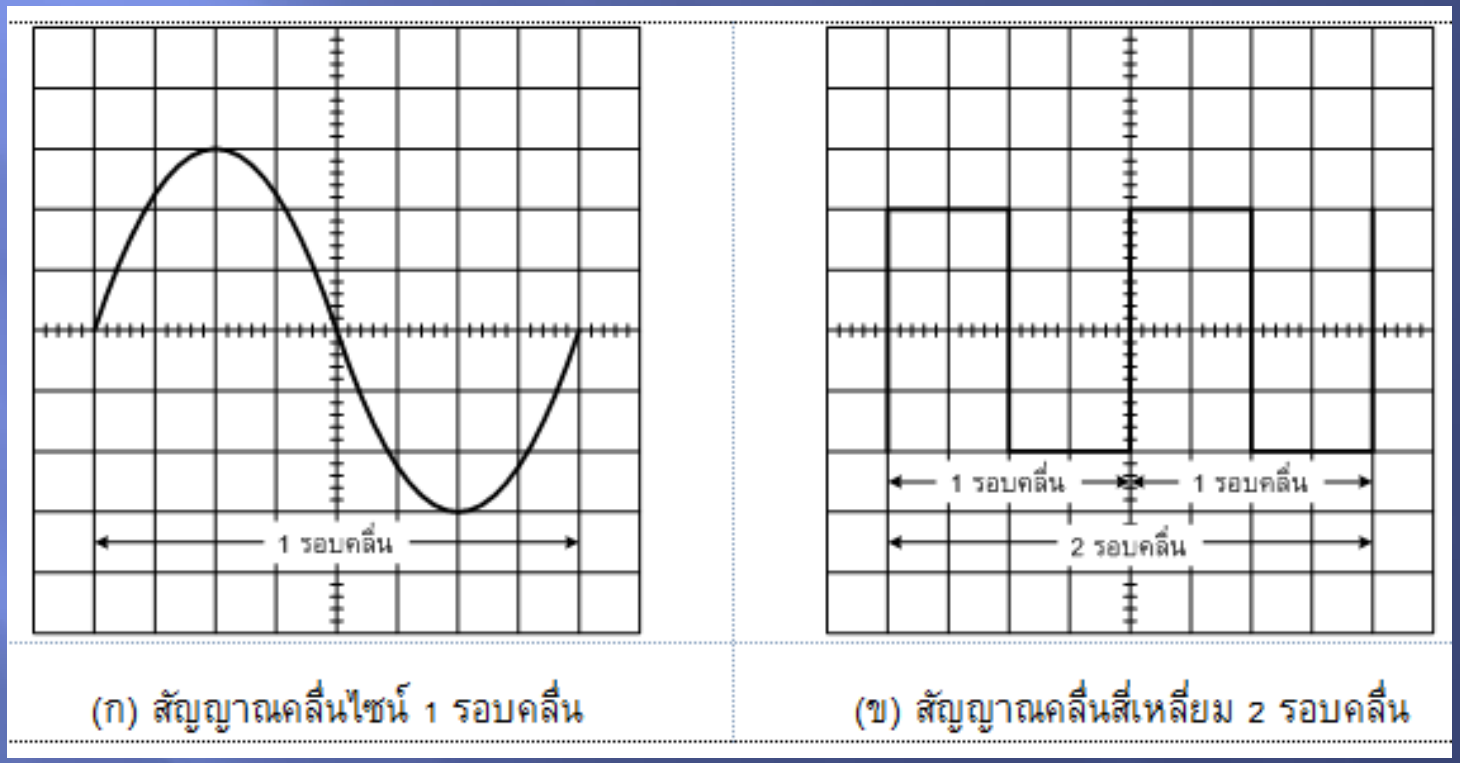
1.1 รูปคลื่นสัญญาณ (ต่อ)

การวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น ใช้หลักการวิเคราะห์ค่าด้วยคณิตศาสตร์ ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีฟูริเออร์ (Fourier Analysis) อีกวิธีหนึ่งใช้วิธีสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสอย่างต่อเนื่องในแต่ละส่วน ทำให้ทราบลักษณะและรูปร่างของสัญญาณไฟฟ้าชนิดต่างๆ ว่ามีรูปร่างที่แตกต่างกันไป สัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้มักจะถูกเรียกว่า รูปคลื่น (Wave)

รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ



รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่วัดด้วยออสซิลโลสโคป



(ก) สัญญาณคลื่นไซน์ 1 รอบคลื่น

(ข) สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม 2 รอบคลื่น

รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าแต่ละชนิดมีรูปร่างที่แตกต่างกัน สามารถวัดรูปร่างสัญญาณไฟฟ้าออกมาได้ด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่าออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

1.1 รูปคลื่นสัญญาณ (ต่อ)

รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าทุกชนิดที่วัดออกมาได้จะแสดงค่าออกมาให้เห็นเป็น 2 ลักษณะเท่านั้น คือ

1. รูปคลื่นแบบทิศทางเดียว เป็นรูปคลื่นที่แสดงค่าออกมาอย่างสม่ำเสมอ เป็นค่าบวก (+) อย่างเดียว หรือเป็นค่าลบ (–) อย่างเดียว โดยรูปคลื่นที่แสดงค่าออกมาไม่คร่อมผ่านแกนแรงดันที่ตำแหน่งศูนย์ (0) รูปคลื่นพื้นฐานแบบทิศทางเดียว

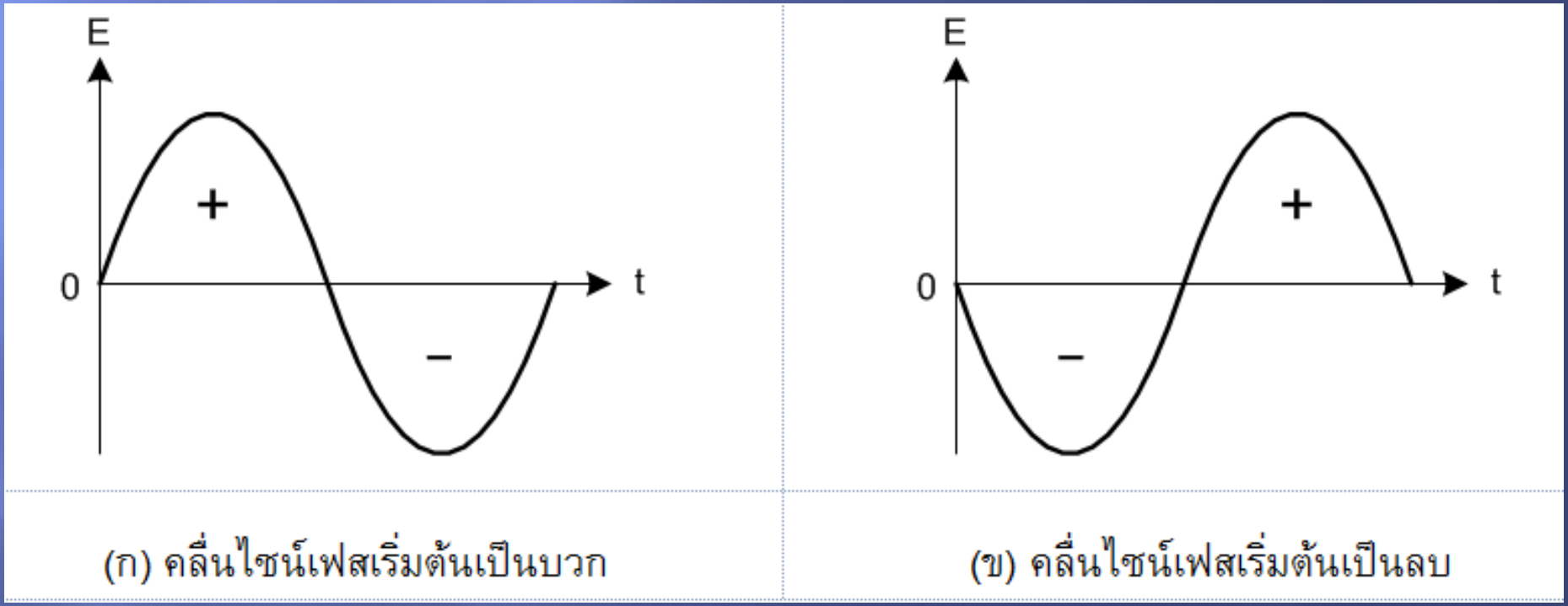
2. รูปคลื่นแบบสองทิศทาง หรือเรียกว่า รูปคลื่นสลับ รูปคลื่นที่แสดงออกมามีการเปลี่ยนแปลงไปทางด้านบวก (+) และเปลี่ยนกลับไปทางด้านลบ (–) ผ่านแกนแรงดันที่ตำแหน่งศูนย์ (0) สลับไปสลับมา รูปคลื่นแบบสองทิศทาง เช่น คลื่นไซน์

1.2 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ

1) รูปคลื่นไซน์

เป็นคลื่นพื้นฐานที่กำเนิดขึ้นได้ทั่วไป จากแหล่งกำเนิดสัญญาณหลายชนิด ทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการผลิตขึ้นมาด้วยอุปกรณ์ เครื่องกำเนิดสัญญาณ หรือจากการทำงานของเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ รวมถึงสัญญาณเสียง จากแหล่งกำเนิดเสียงลักษณะคลื่นไซน์ ระดับความแรงคลื่น (E) จะเกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปสัมพันธ์กับเวลา (t) คุณสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของคลื่นไซน์ ที่คลื่นชนิดอื่นไม่มี คือ เมื่อป้อนคลื่นไซน์เข้าวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L) ต่อร่วมกัน ลักษณะรูปร่างของคลื่นไซน์ไม่เปลี่ยนแปลงไป ยังมีรูปร่างเป็นคลื่นไซน์ตามเดิม

ความสัมพันธ์ของสัญญาณคลื่นไซน์ระหว่างความแรงคลื่นกับเวลา



(ก) คลื่นไซน์เฟสเริ่มต้นเป็นบวก

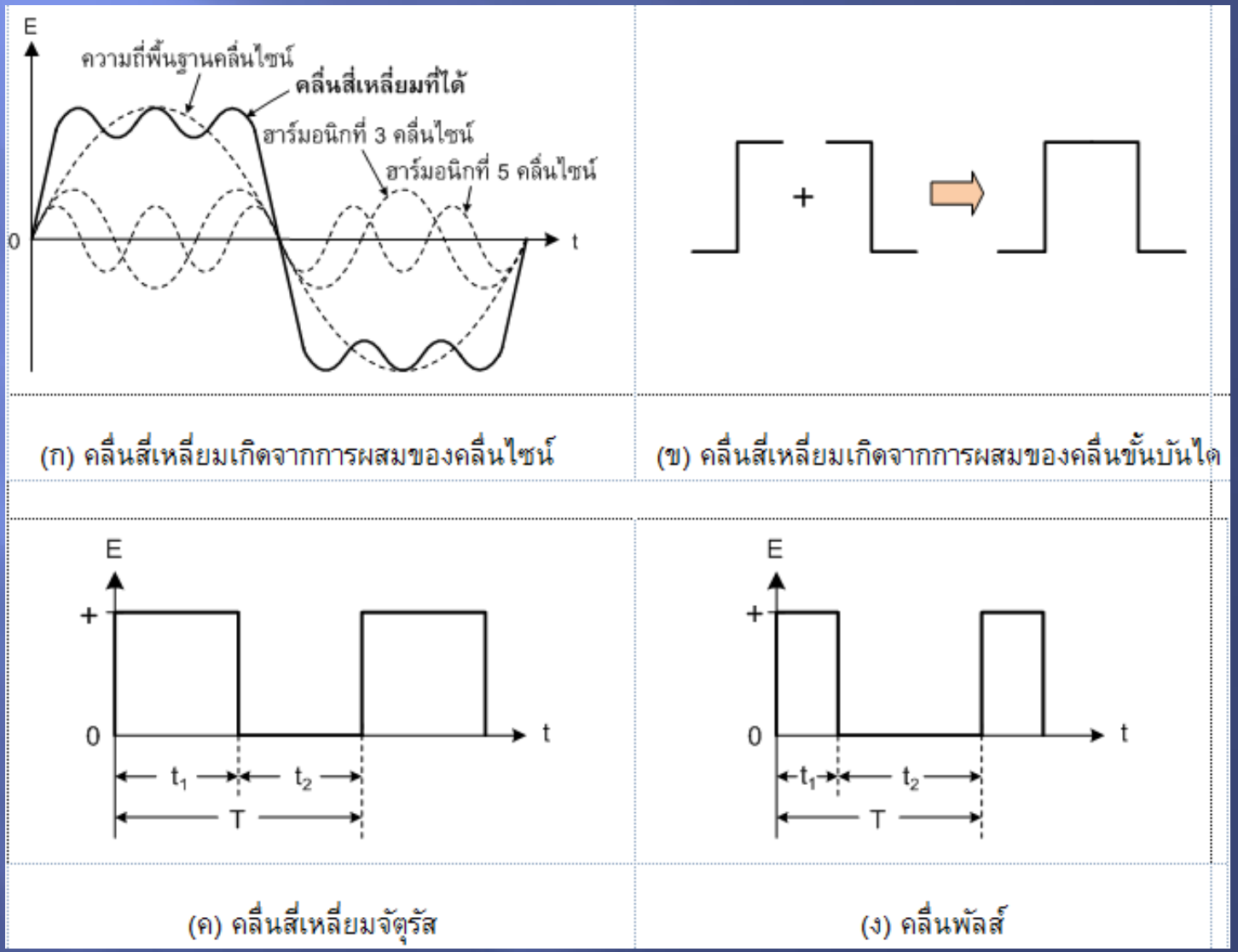
(ข) คลื่นไซน์เฟสเริ่มต้นเป็นลบ

1.2 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

2) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

เป็นคลื่นที่นิยมนำไปใช้งานกับการทำงานทางด้านดิจิตอล คลื่นชนิดนี้สามารถให้กำเนิดขึ้นจากการนำคลื่นขั้นบันไดขาขึ้น กับคลื่นขั้นบันไดขาลงมาต่อร่วมกันคลื่นสี่เหลี่ยมที่กำเนิดขึ้นมาแบ่งได้ 2 รูปแบบ คือ แบบแรกคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นคลื่นที่มีช่วงเกิดคลื่น (t1) และช่วงช่องว่างคลื่น (t2) มีเวลาเท่ากัน แบบที่สองคลื่นพัลส์ เป็นคลื่นที่มีช่วงเกิดคลื่น (t1) และช่วงช่องว่างคลื่น (t2) มีเวลาไม่เท่ากัน

สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมในรูปแบบต่าง ๆ



(ก) คลื่นสี่เหลี่ยมเกิดจากการผสมของคลื่นไซน์

(ข) คลื่นสี่เหลี่ยมเกิดจากการผสมของคลื่นขั้นบันได

(ค) คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

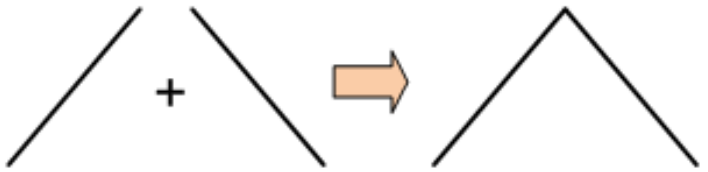
(ง) คลื่นพัลส์

1.2 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

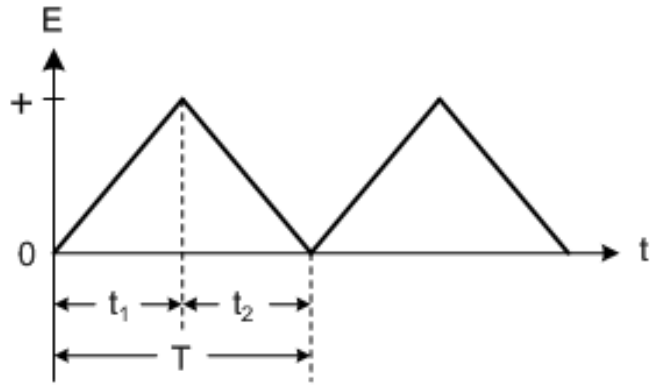
3) รูปคลื่นสามเหลี่ยม

เป็นคลื่นที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานอีกชนิดหนึ่ง คลื่นชนิดนี้สามารถให้กำเนิดขึ้นจากการนำคลื่นเอียงขาขึ้น กับคลื่นเอียงขาลงมาต่อร่วมกัน คลื่นสามเหลี่ยมที่กำเนิดขึ้นมาแบ่งได้ 2 รูปแบบ คือ แบบแรกคลื่นสามเหลี่ยมทั่วไป เป็นคลื่นที่มีช่วงเกิดคลื่นขาขึ้น (t1) และช่วงเกิดคลื่นขาลง (t2) มีเวลาเท่ากัน แบบที่สองคลื่นฟันเลื่อย เป็นคลื่นที่มีช่วงเกิดคลื่นขาขึ้น (t1) และช่วงเกิดคลื่นขาลง (t2) มีเวลาไม่เท่ากัน

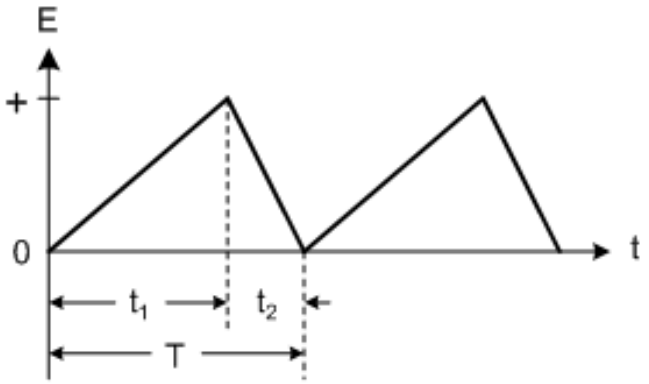
สัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมในรูปแบบต่าง ๆ



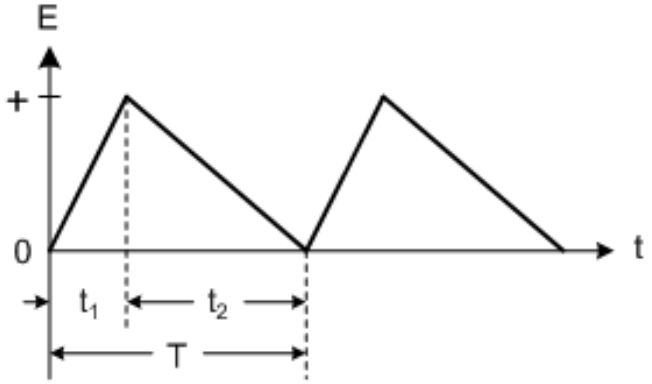
(ก) คลื่นสามเหลี่ยมเกิดจากการผสมของคลื่นเอียง



(ข) คลื่นสามเหลี่ยมทั่วไปมีเวลา $t_1 = t_2$



(ค) คลื่นฟันเลื่อยมีเวลา $t_1 > t_2$



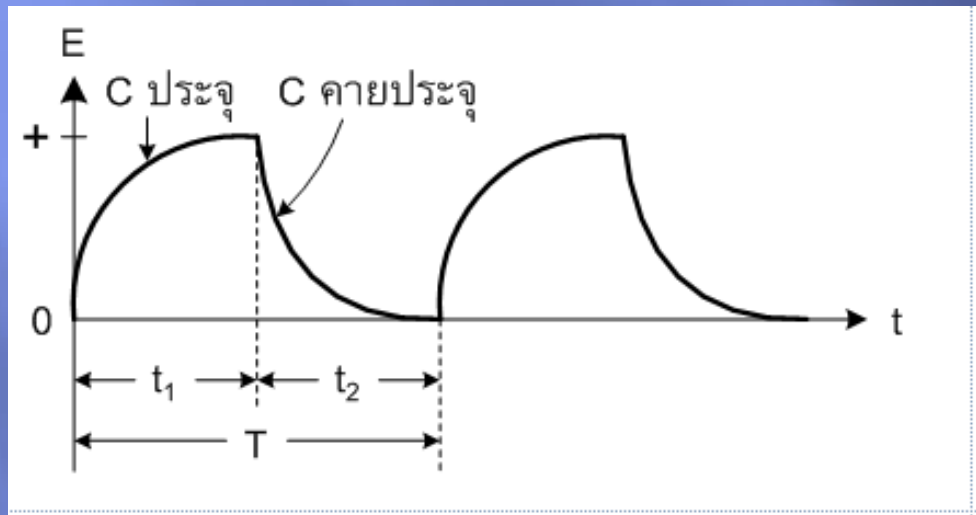
(ง) คลื่นฟันเลื่อยมีเวลา $t_1 < t_2$

1.2 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

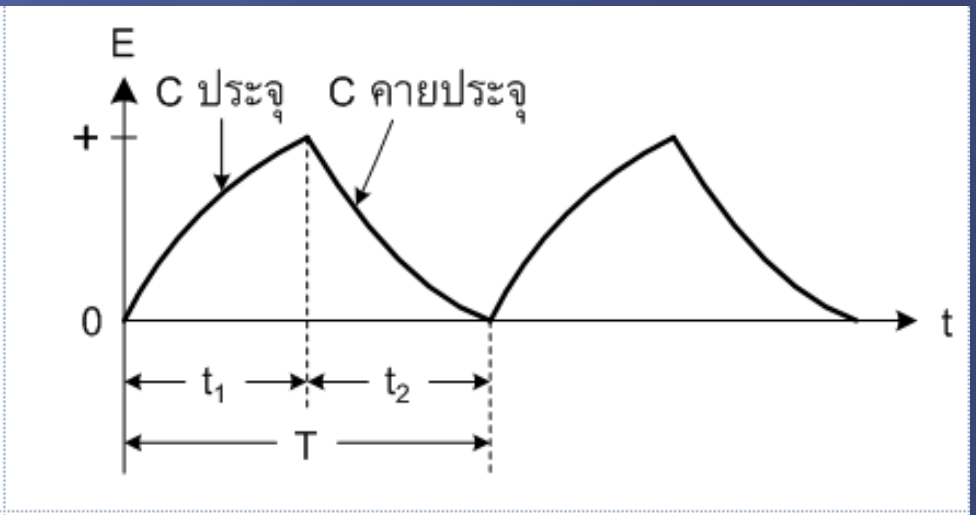
4) รูปคลื่นอินทิเกรต

เป็นคลื่นที่มีรูปร่างลักษณะแตกต่างออกไป รูปคลื่นกำเนิดขึ้นมาได้จากการนำคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดขึ้นและเอกซ์โพเนนเชียลลาดลงมาต่อร่วมกัน คลื่นอินทิเกรตเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปของคลื่นสี่เหลี่ยม ด้วยการป้อนคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านตัวเก็บประจุ (C) ในขณะที่ตัวเก็บประจุทำการประจุแรงดันเก็บไว้ จะเกิดคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดขึ้นปรากฏที่ตัวเก็บประจุ และขณะที่ตัวเก็บประจุทำการคายประจุแรงดันออกมา จะเกิดคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดลงปรากฏที่ตัวเก็บประจุ วัดคลื่นทั้งสองออกมาก็คือคลื่นอินทิเกรตนั่นเอง

ความสัมพันธ์ของสัญญาณคลื่นอินทิเกรต ระหว่างความแรงคลื่นกับเวลาคงที่



(ก) เวลาคงที่น้อย



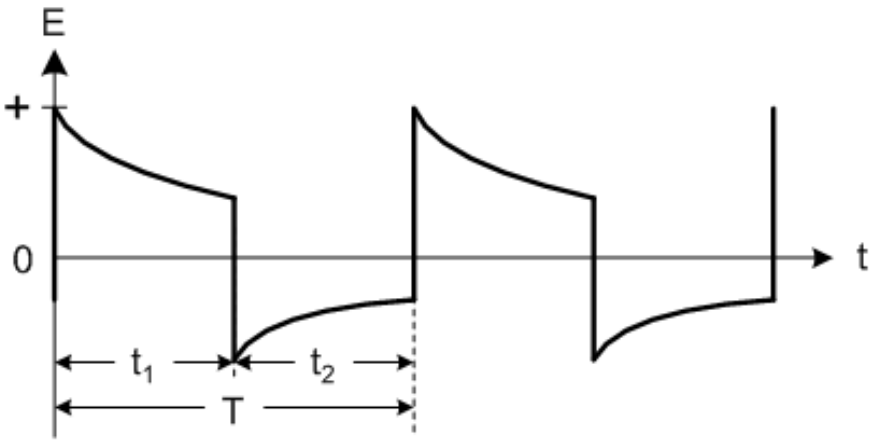
(ข) เวลาคงที่มาก

1.2 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

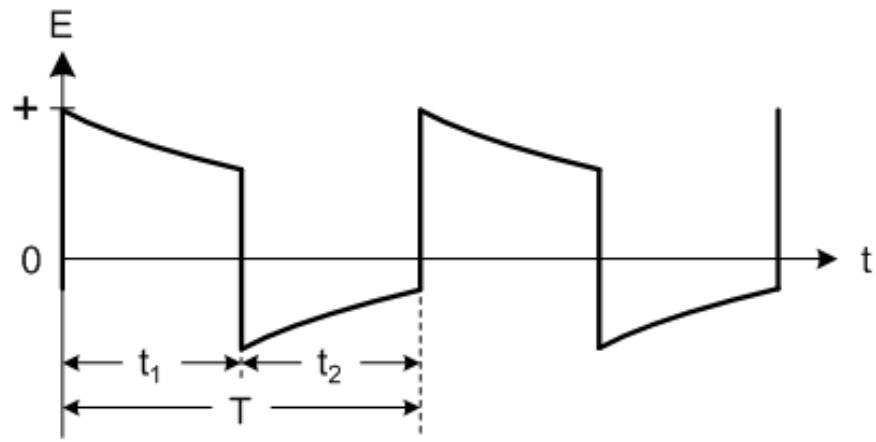
5) รูปคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต

เป็นคลื่นที่มีรูปร่างลักษณะแตกต่างออกไปอีกแบบหนึ่ง เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับคลื่นอินทิเกรต รูปคลื่นกำเนิดขึ้นมาได้จากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปของคลื่นสี่เหลี่ยม ด้วยการป้อนคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเข้าในวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ (C) ทำการวัดสัญญาณตกคร่อมตัวต้านทาน

ความสัมพันธ์ของสัญญาณคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอตระหว่างความแรงคลื่นกับเวลาคงที่

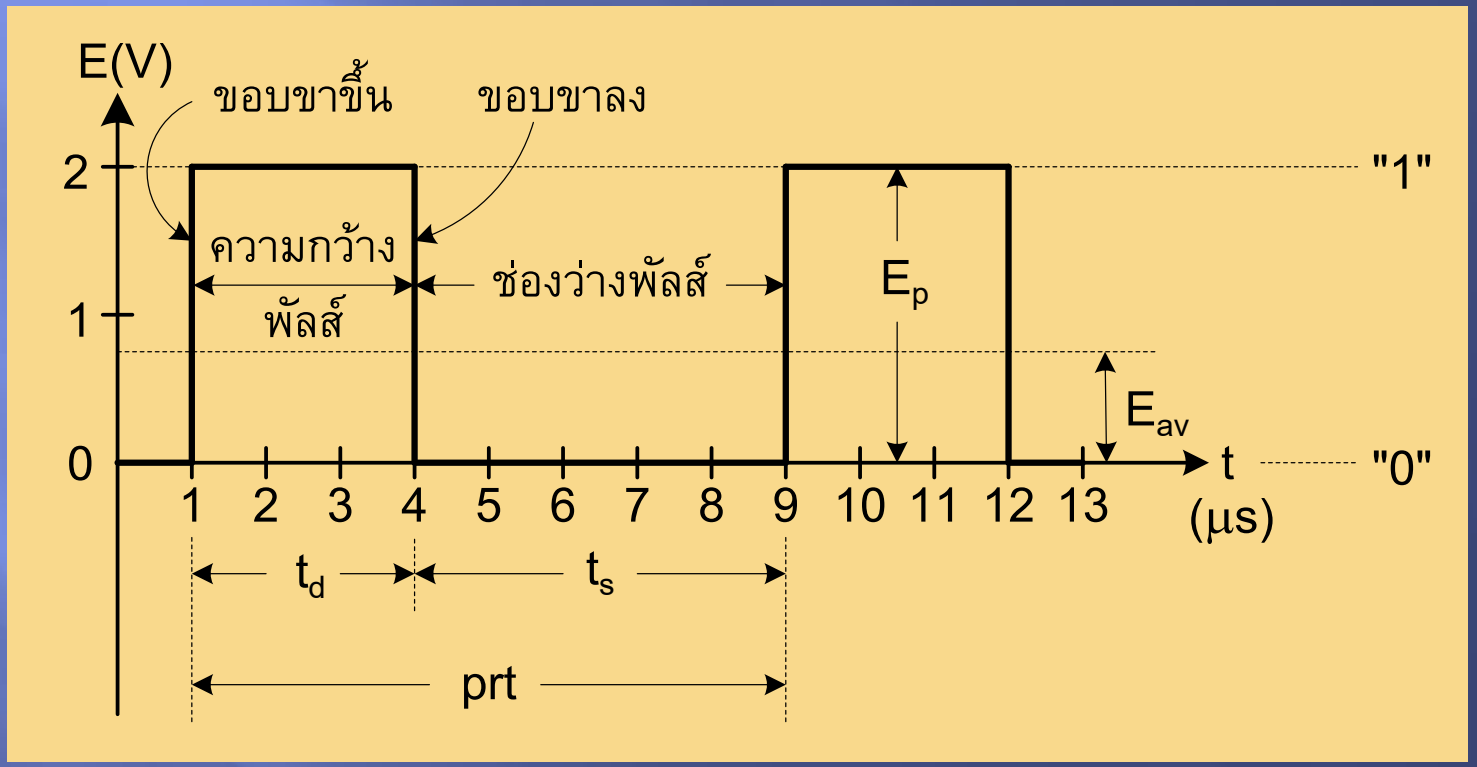


(ก) เวลาคงที่น้อย



(ข) เวลาคงที่มาก

1.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ และค่าพารามิเตอร์



รูปคลื่นพัลส์เป็นรูปคลื่นที่นำไปใช้งานทางด้านดิจิตอล คอมพิวเตอร์ และระบบควบคุมการทำงานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อย่างกว้างขวางทั่วไป

1.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ และค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

1. ขอบขาขึ้น (Leading Edge) หรือขอบหน้า เป็นขอบของพัลส์ช่วงแรกที่ปรากฏให้เห็น สัญญาณเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสู่ระดับสูง เช่น เปลี่ยนแปลงจาก 0 V ไปเป็น 2 V

2. ขอบขาลง (Trailing Edge) หรือขอบหลัง เป็นขอบของพัลส์ช่วงที่สองที่ปรากฏให้เห็น สัญญาณเปลี่ยนแปลงจากระดับสูงไปสู่ระดับต่ำ เช่น เปลี่ยนแปลงจาก 2 V ไปเป็น 0 V

3. ความกว้างพัลส์ (Pulse Width) เป็นช่วงเวลาที่เกิดพัลส์ พิจารณาจากขอบขาขึ้นพัลส์ ถึงขอบขาลงพัลส์ในพัลส์ลูกนั้น นิยมบอกค่าไว้ในรูปของเวลาพัลส์ (Pulse Duration ; td) เช่น ขอบขาขึ้นพัลส์ที่ 1μs ขอบขาลงพัลส์ที่ 4 μs ดังนั้นเวลาพัลส์ td = 3 μs

1.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ และค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

4. ช่องว่างพัลส์ (Pulse Space) เป็นช่วงเวลาที่ไม่เกิดพัลส์ พิจารณาจากขอบขาลงของพัลส์ลูกหนึ่ง ถึงขอบขาขึ้นของพัลส์ลูกต่อไป นิยมบอกค่าไว้ในรูปเวลาช่องว่างพัลส์ (Pulse Space Duration ; ts)

5. เวลาเกิดพัลส์ซ้ำ (Pulse Repetition Time) หรือ prt เป็นช่วงเวลาที่นับจากจุดเริ่มต้นของการเกิดพัลส์ลูกแรก ไปจนถึงจุดเริ่มต้นของการเกิดพัลส์ลูกต่อไป ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่าคาบเวลาพัลส์ (Pulse Period) การคิดช่วงเวลาพัลส์ในหนึ่งรอบคลื่น โดยหาค่า prt ได้จากสมการ

$$prt = t_d + t_s = T$$

1.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ และค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

6. อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (Pulse Repetition Rate) หรือ prr เป็นจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที หรืออาจเรียกว่า ความถี่ของการเกิดพัลส์ซ้ำ (Pulse Repetition Frequency) หรือ prf โดยหาค่า prr ได้จากสมการ

$$prr = \frac{1}{prt} = \frac{1}{T}$$

7. แรงดันสูงสุด (Peak Voltage) หรือ Ep เป็นระดับของแรงดันพัลส์ที่เกิดขึ้น อ่านค่าออกมาถึงค่าสูงสุด

1.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ และค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

8. แรงดันเฉลี่ย (Average Voltage) หรือ E_{av} เป็นระดับแรงดันไฟตรงที่ใช้โวลต์มิเตอร์ไฟตรงวัดค่าแรงดันพัลส์ที่เกิดขึ้นออกมา อ่านค่าออกมาได้เป็นค่าเฉลี่ย หรือใช้วิธีหาค่าโดยการนำค่าพื้นที่เกิดพัลส์ (Pulse Area ; A_p) ตั้ง หารด้วยเวลาเกิดพัลส์ซ้ำ (prt) สามารถการหาค่า E_{av} ได้จากสมการดังนี้

$$E_{av} = \frac{A_p}{prt} = \frac{t_d \times E_p}{prt}$$

9. ระดับแรงดันพัลส์ (Pulse Voltage Level) เป็นระดับแสดงสภาวะการเกิดพัลส์ มีอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับหนึ่งมีสัญญาณพัลส์ (High) หรือระดับเอนาเบิล (Enable) แสดงค่าเป็นตัวเลข “1” ถูกเรียกว่าสภาวะทำงาน อีกระดับหนึ่งไม่มีสัญญาณพัลส์ (Low) หรือระดับดิสเอเบิล (Disable) แสดงค่าเป็นตัวเลข “0” ถูกเรียกว่าสภาวะไม่ทำงาน

1.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ และค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

10. ดิวตีไซเคิล (Duty Cycle) เป็นค่าร้อยละที่บอกให้ทราบถึงอัตราส่วน ระหว่างส่วนเกิดพัลส์กับส่วนช่องว่างพัลส์มีค่าเท่าไร ค่าดิวตีไซเคิลหาได้จาก การนำค่าแรงดันเฉลี่ย (Eav) ตั้ง หารด้วยค่าแรงดันสูงสุด (Ep) และคูณด้วยร้อย ได้ค่าออกมาเป็นร้อยละ การหาค่าดิวตีไซเคิลทำได้ดังนี้

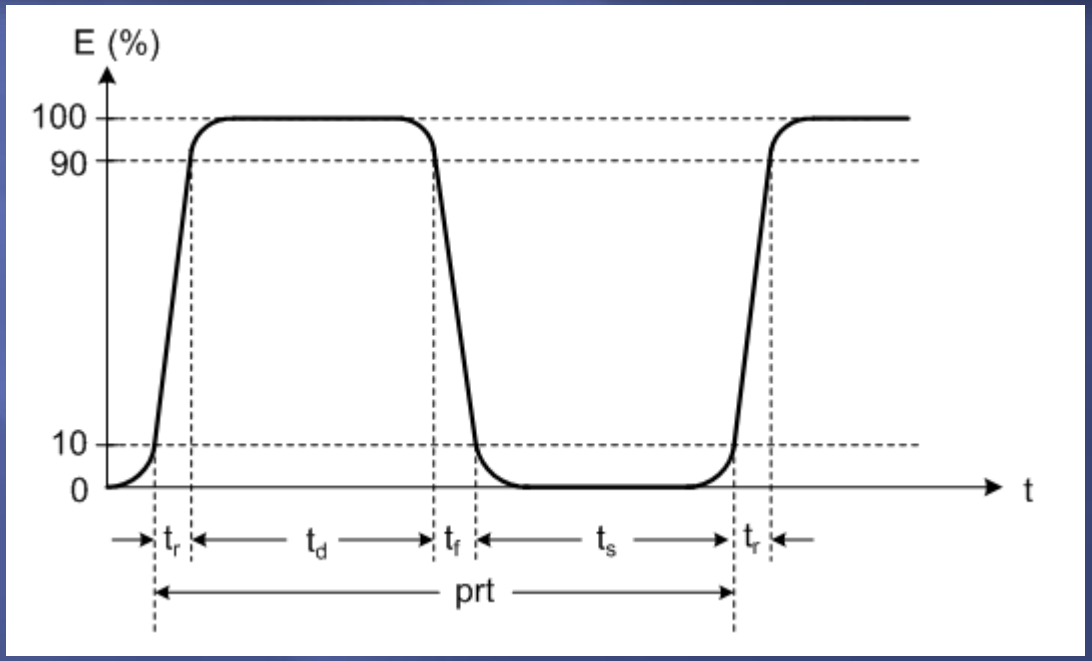
$$\text{ดิวตีไซเคิล} = \frac{E_{av}}{E_p} \times 100$$

หรือค่าดิวตีไซเคิล ยังสามารถหาค่าได้จากการนำค่าเวลาพัลส์ (td) ตั้ง หารด้วยเวลาเกิดพัลส์ซ้ำ (prt) และคูณด้วยร้อย เขียนสมการออกมาได้เป็น

$$\text{ดิวตีไซเคิล} = \frac{t_d}{prt} \times 100$$

1.4 รูปคลื่นพัลส์ใช้งานจริง

รูปคลื่นพัลส์ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานจริง มีความแตกต่างจากรูปคลื่นพัลส์ทางอุดมคติบ้าง ที่รูปคลื่นไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากจริง แต่จะเกิดความลาดเอียงของรูปคลื่นปนมาด้วย ทำให้การหาค่าลักษณะสมบัติของรูปคลื่นพัลส์จำเป็นต้องมีระดับที่เหมาะสมในการหาค่า ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน นำไปใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติของรูปคลื่นพัลส์ที่แตกต่างกันได้



1.4 รูปคลื่นพัลส์ใช้งานจริง (ต่อ)

การหาค่าคุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ใช้งานจริง จำเป็นต้องกำหนดระดับการวัดค่าที่มีมาตรฐานเดียวกัน มาตรฐานที่ใช้งานในการวัดความกว้างพัลส์และวัดค่าแรงดันพัลส์ กำหนดค่าตำแหน่งวัดไว้ที่ระดับความแรง 10 % และ 90 % ของรูปคลื่นพัลส์รูปนั้น ค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับรูปคลื่นพัลส์ใช้งานจริง มีดังนี้

1. เวลาเคลื่อนขึ้น (Rise Time) หรือ tr คิดระยะเวลาของสัญญาณพัลส์เริ่มเคลื่อนขึ้นตั้งแต่ค่าระดับแรงดันที่ 10 % จนถึงค่าระดับแรงดันที่ 90 % ของค่าแรงดันพัลส์สูงสุด บอกหน่วยออกมาเป็นวินาที (s)

2. เวลาเคลื่อนลง (Fall Time) หรือ tf คิดระยะเวลาของสัญญาณพัลส์เริ่มเคลื่อนลงจากค่าแรงดันสูงสุดของรูปคลื่นพัลส์ คิดที่ค่าเริ่มต้นที่ระดับแรงดัน 90 % จนถึงค่าระดับแรงดันที่ 10 % บอกหน่วยออกมาเป็นวินาที (s)

1.4 รูปคลื่นพัลส์ใช้งานจริง (ต่อ)

3. เวลาพัลส์ (td) คิดระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ที่ระดับแรงดันพัลส์มากกว่า 90 % ขึ้นไปของค่าแรงดันพัลส์สูงสุด บอกหน่วยออกมาเป็นวินาที (s)

4. เวลาช่องว่างพัลส์ (ts) คิดระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ช่วงลดต่ำลงที่ระดับแรงดันพัลส์น้อยกว่า 10 % ลงไปของค่าแรงดันพัลส์สูงสุด บอกหน่วยออกมาเป็นวินาที (s)

5. เวลาเกิดพัลส์ซ้ำ (prt) คิดระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ ตั้งแต่เวลาเคลื่อนขึ้นของระดับแรงดันพัลส์ที่ 10 % ขึ้นไปของพัลส์ลูกหนึ่งไปถึงเวลาเคลื่อนขึ้นที่ระดับแรงดันพัลส์ที่ 10 % ขึ้นไปของพัลส์ลูกต่อไป บอกหน่วยออกมาเป็นวินาที (s)

สูตรการคำนวณค่า prt

$$prt = t_r + t_d + t_f + t_s = T$$

เมื่อ prt = เวลาเกิดพัลส์ซ้ำ หน่วย s

tr = เวลาเคลื่อนขึ้น หน่วย s

td = เวลาพัลส์ หน่วย s

tf = เวลาเคลื่อนลง หน่วย s

ts = เวลาช่องว่างพัลส์ หน่วย s

T = เวลาหนึ่งรอบคลื่น หน่วย s