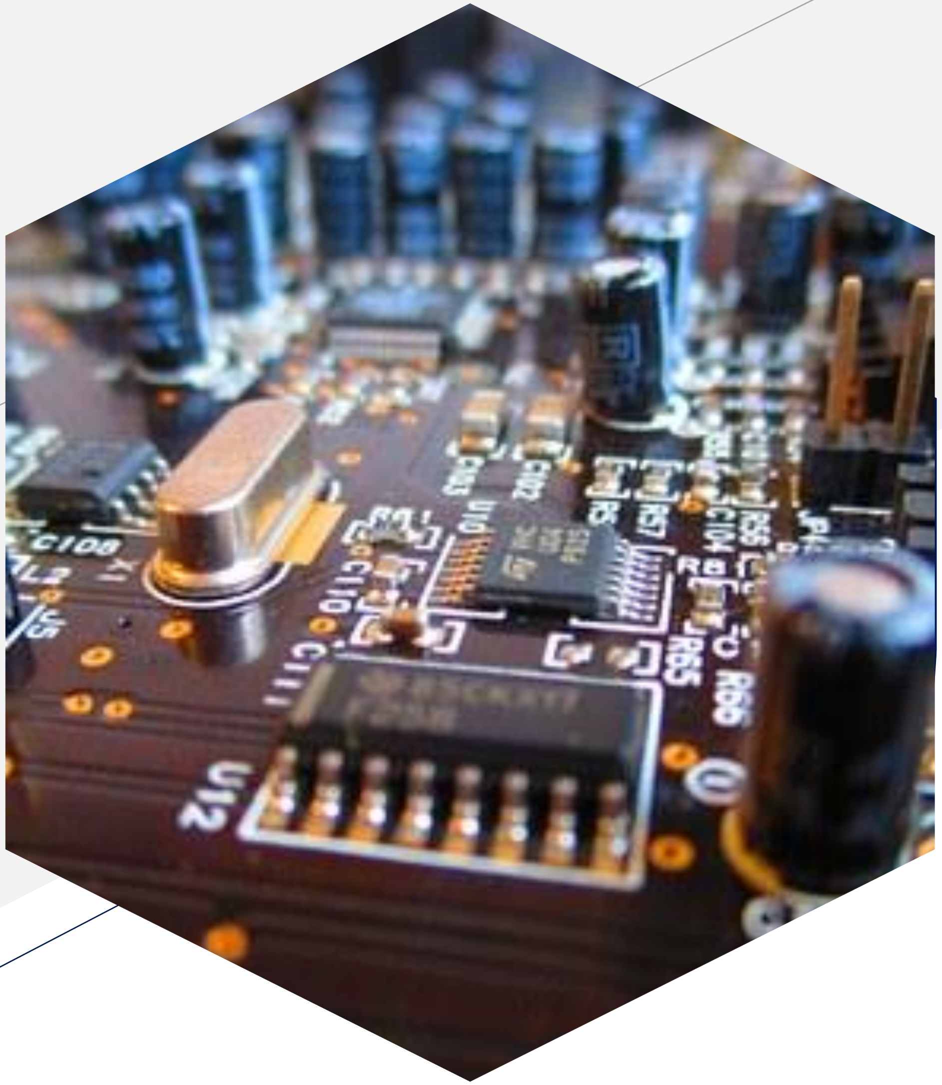


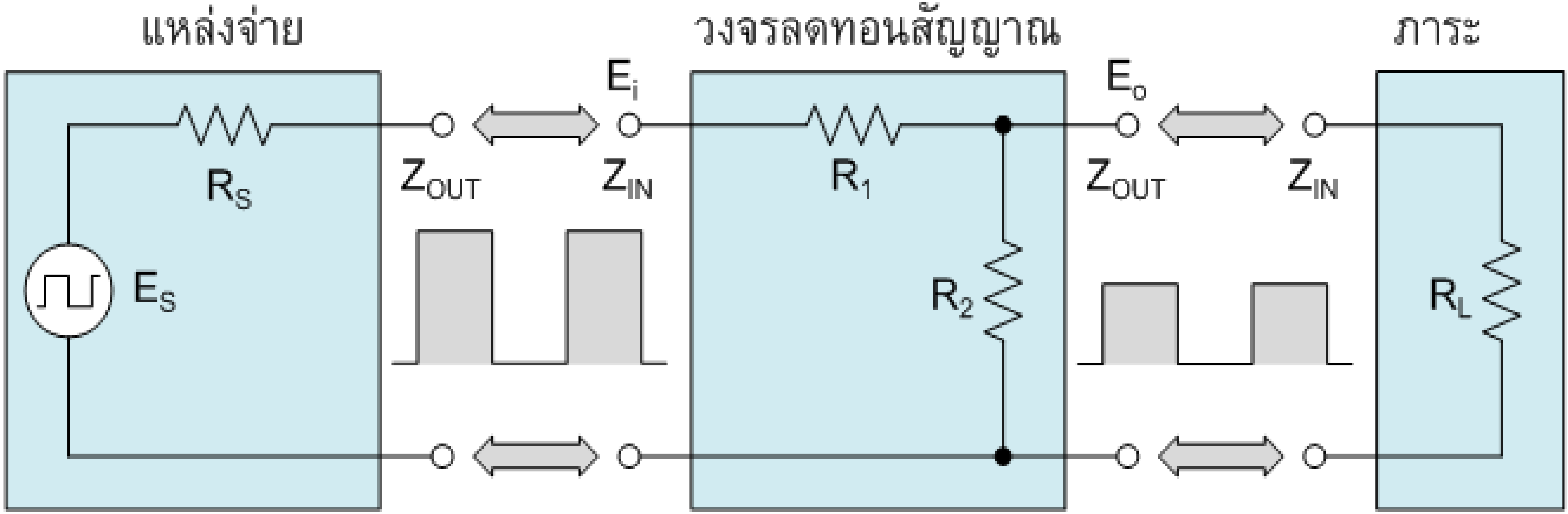
หน่วยที่ 2

วงจรลดรูปสัญญาณ
และวงจรแปลงรูปสัญญาณ

2.1 วงจรลดรูปสัญญาณ

วงจรลดรูปสัญญาณ หรือ **วงจรลดทอนสัญญาณ** อาจเรียกว่า **ตัวลดทอน** คือวงจรลดขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาให้ได้ค่าออกเอาต์พุตมีค่าน้อยลงตามต้องการ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบวงจรเป็นตัวต้านทานบริสุทธิ์ อย่างเดียว ไม่มีค่าความจุ (C) ค่าความเหนี่ยวนำ(L)

FR


แหล่งจ่าย
วงจรลดทอนสัญญาณ
ภาระ
E_i
E_o
R_S
Z_{OUT}
Z_{IN}
R_1
Z_{OUT}
Z_{IN}
E_S
R_2
R_L

การหาค่าการลดทอนสัญญาณของวงจรลดทอน หาได้ดังนี้

$$E_o = E_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad V \qquad \text{......(2-1)}$$

หรือ

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad \text{......(2-2)}$$

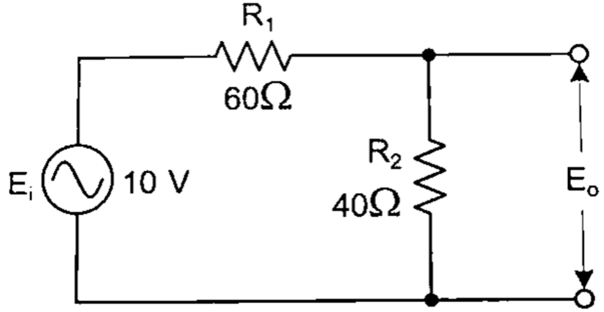
เมื่อ E_o = แรงดันออกเอาต์พุตของวงจรลดทอนสัญญาณ หน่วย V

E_i = แรงดันป้อนเข้าอินพุตของวงจรลดทอนสัญญาณ หน่วย V

$\frac{E_o}{E_i}$ = ตัวประกอบการลดทอน (Attenuation Factor)

R_1 = ความต้านทานต่ออนุกรมของวงจรลดทอนสัญญาณ หน่วย Ω

R_2 = ความต้านทานต่อขนานของวงจรลดทอนสัญญาณ หน่วย Ω



ป้อนสัญญาณไฟสลับอินพุตมีแรงดัน 10 V เขาเบเนวงจรลดทอนสญญาณ จงหาค่าระดับสัญญาณไฟสลับออกเอาต์พุต และค่าตัวประกอบการลดทอน

วิธีทำ

Eo = $Ei \dfrac{R2}{R1+R2}$

Eo = ?

Ei = 10 V

R1 = 60Ω

R2 = 40Ω

Eo = $10 \times \dfrac{40}{60+40}$ = 10 x 0.4 = 4 V

$$\frac{Eo}{Ei} = \frac{R2}{R1+R2}$$

$$\frac{Eo}{Ei} = \frac{40}{60+40} = 0.4$$

$= 0.4 = \dfrac{1}{0.4}$ = 2.5 เท่า

สัญญาณออกเอาต์พุต = 4 V

ตัวประกอบการลดทอน = 2.5 เท่า

FR

วงจรลดทอนสัญญาณชนิดส่งผ่านอย่างเดียว **นิยมบอกค่าระดับการลดทอนออกมาในรูปตารางลอการิทึมมีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel ; dB)** ตามมาตรฐานโครงข่ายวงจรลดทอนสัญญาณเบื้องต้นในวงจรลดทอนสัญญาณแบบคงที่ จะรู้จักกันในชื่อ แพดตัวลดทอน (Attenuator Pad) มีหลากหลายค่าตั้งแต่ 0 dB ถึงมากกว่า 100 dB ส่วนแบบปรับค่าและแบบสวิตช์เลือก ปรับค่าโครงข่ายตัวต้านทานโดยปรับเพิ่มการลดทอนด้วยสวิตช์เลือกเป็นลำดับขั้น เช่นขั้นละ –2dB หรือขั้น ละ –6 dB ต่อตำแหน่งสวิตช์

2.2 ระดับการลดทอนสัญญาณ

ระดับการลดทอนสัญญาณ (Degree Attenuation) ถูกบอกค่าไว้ในรูปความดังมีหน่วยเป็น **เดซิเบล (dB)** โดยการใส่ค่าลอการิทึม (log) เข้าไปในสมการของอัตราส่วนค่าแรงดัน ค่ากระแส หรือค่ากำลังไฟฟ้า ที่วัดออกมาได้ การหาค่าระดับการลดทอนสัญญาณ หาได้ดังนี้

$$\text{ระดับการลดทอน (A)} = 10 \log_{10} \frac{P_o}{P_i} \quad \text{dB} \qquad \text{......(2-3)}$$

หรือ

$$\text{ระดับการลดทอน (A)} = 20 \log_{10} \frac{E_o}{E_i} \quad \text{dB} \qquad \text{......(2-4)}$$

เมื่อ

A	=	ระดับการลดทอนสัญญาณ	หน่วย dB
P_o	=	กำลังไฟฟ้าออกเอาต์พุตของวงจรลดทอนสัญญาณ	หน่วย W
P_i	=	กำลังไฟฟ้าป้อนเข้าอินพุตของวงจรลดทอนสัญญาณ	หน่วย W
E_o	=	แรงดันออกเอาต์พุตของวงจรลดทอนสัญญาณ	หน่วย V
E_i	=	แรงดันป้อนเข้าอินพุตของวงจรลดทอนสัญญาณ	หน่วย V

ป้อนสัญญาณอินพุตมีแรงดัน 2 V เข้าไปในวงจรลดทอนสัญญาณ วัดสัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ 0.5 V จงหาค่าระดับลดทอนสัญญาณ

วิธีทำ

จากสูตร ระดับการลดทอน (A) = 20 $log_{10} \frac{Eo}{Ei}$

A = ? dB

Eo = 0.5 V

Ei = 2 V

ระดับการลดทอน (A) = 20 $log_{10} \frac{0.5}{2}$ = 20 log_{10} 0.25

ระดับการลดทอน (A) = 20 (-0.602) = -12.04 dB

วงจรลดทอนสัญญาณ มีค่าการลดทอนที่ -32 dB วัดสัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ 50 mV จงหาค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามา

วิธีทำ

จากสูตร ระดับการลดทอน (A) = 20 $log_{10} \frac{Eo}{Ei}$

-32 = 20 $log_{10} \frac{Eo}{Ei}$

$\frac{-32}{20}$ = $log_{10} \frac{Eo}{Ei}$

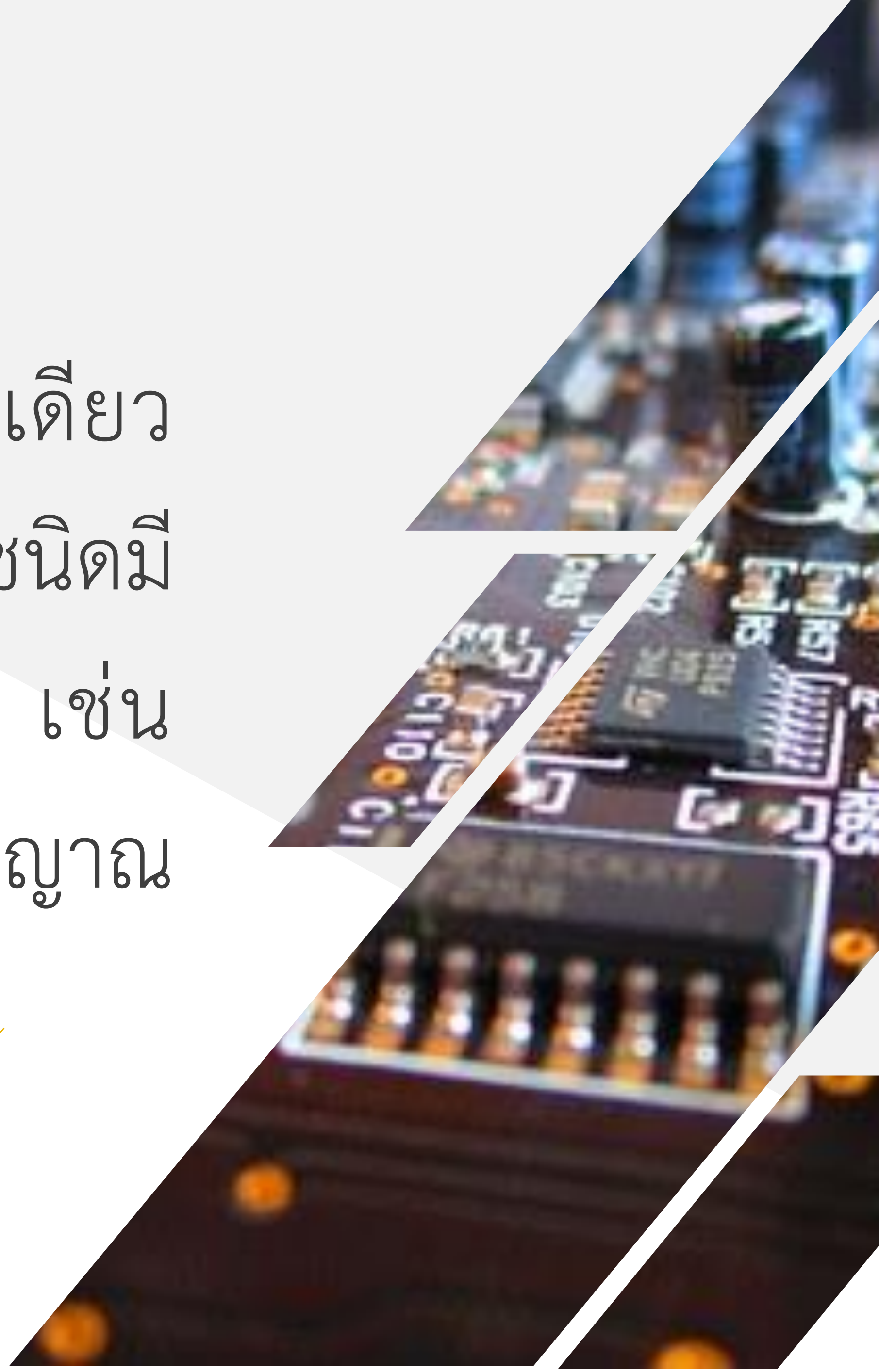
-1.6 = $log_{10} \frac{Eo}{Ei}$

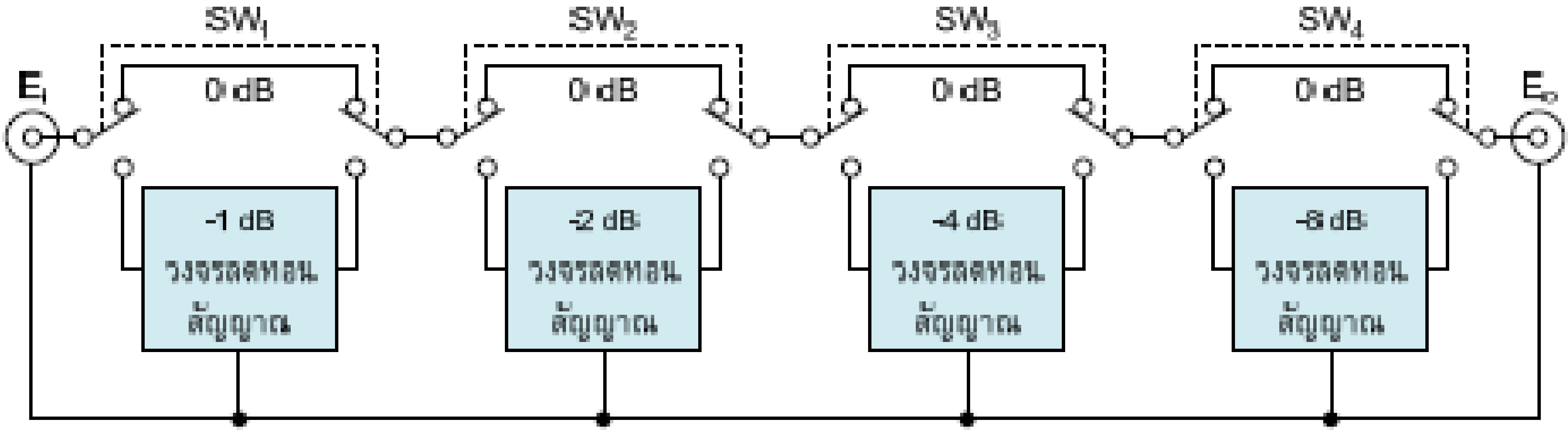
log_{10}^{-1}(-1.6) = $\frac{Eo}{Ei}$

0.025 = $\frac{Eo}{Ei}$

Ei = $\frac{Eo}{0.025}$ = $\frac{50\ x\ 10^{-3}}{0.025}$ = 2 V แรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามา = 2 V

วงจรลดทอนสัญญาณชนิดส่งผ่านอย่างเดียว วงจรประกอบด้วยตัวต้านทานอย่างเดียว(ส่วนชนิดมีการขยายวงจรจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ เฟต และ ICช่วยในการขยายสัญญาณก่อนการลดทอน)

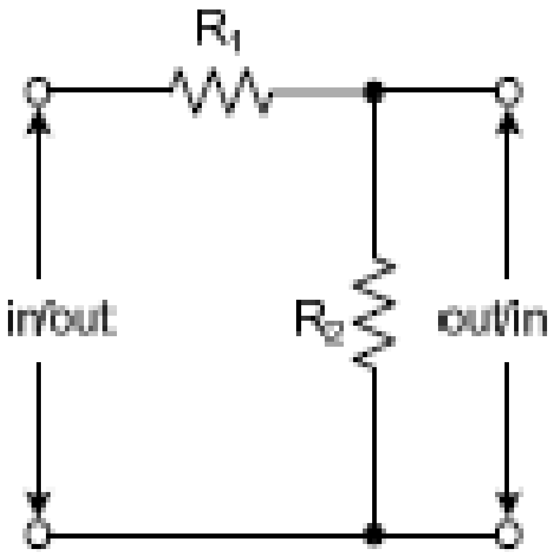



SW1
SW2
SW3
SW4
Ei
Eo
0 dB
0 dB
0 dB
0 dB
-1 dB
วงจรลดทอน
สัญญาณ
-2 dB
วงจรลดทอน
สัญญาณ
-4 dB
วงจรลดทอน
สัญญาณ
-8 dB
วงจรลดทอน
สัญญาณ

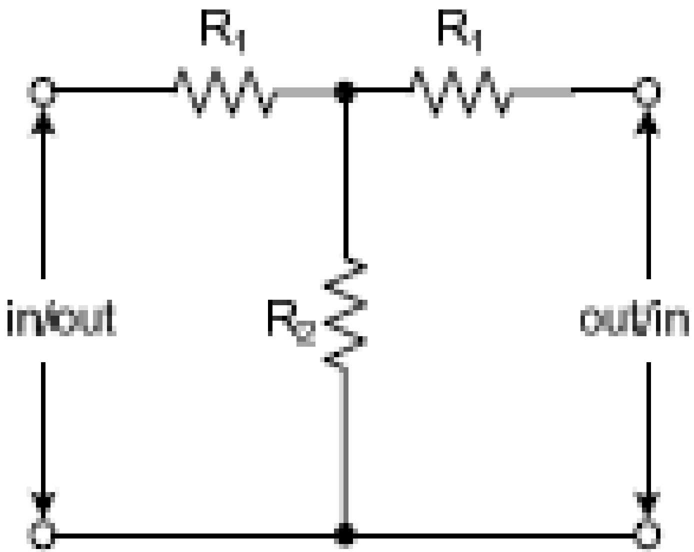
2.3 ชนิดวงจรลดทอนสัญญาณ

วงจรลดทอนสัญญาณในแบบเบื้องต้น มีลักษณะวงจรเช่นเดียวกับวงจรแบ่งแรงดันซึ่งวงจรนี้รู้จักทั่ว ไปว่าวงจรลดทอนสัญญาณชนิด L–แพด (L–pad) นอกจากนั้นยังมีวงจรลดทอนสัญญาณชนิด T–แพด (T–pad) และชนิด **π**–แพด (**π**–pad)ซึ่งวงจรจะเป็นชนิดใดก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อวงจรวงจรลดทอนสัญญาณแบบพื้นฐานทั้ง 3 ชนิด

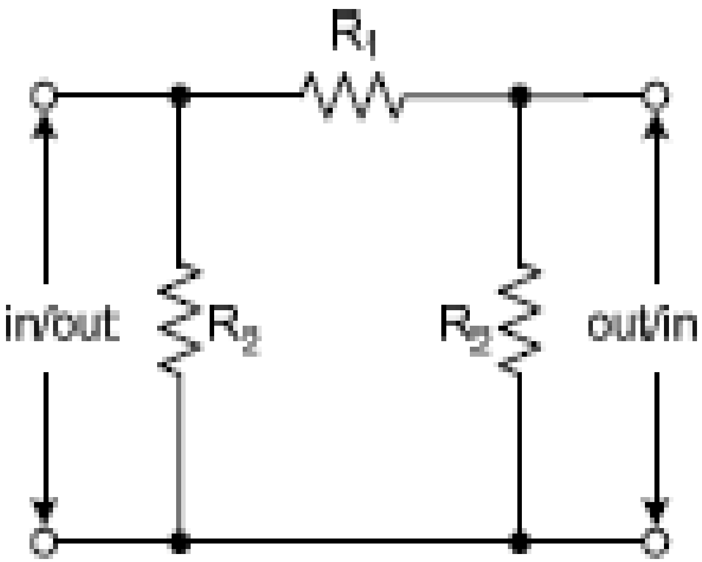
FR



(ก) ชนิด L – แพด



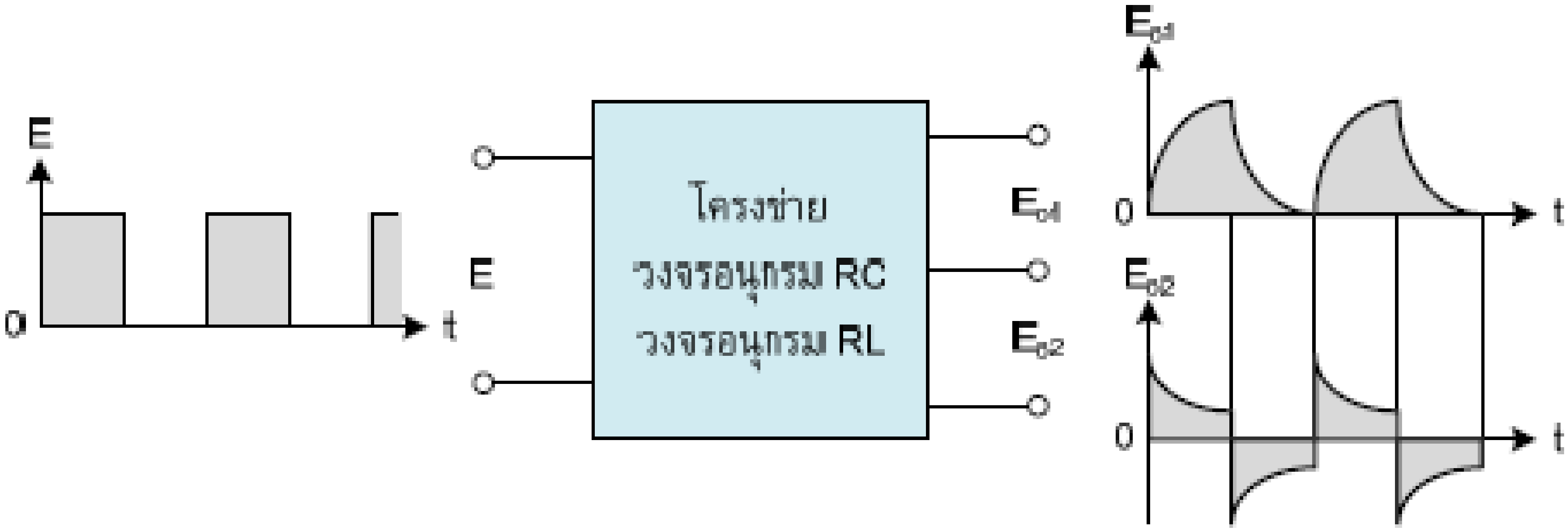
(ข) ชนิด T – แพด



(ค) ชนิด π – แพด

2.4 วงจรแปลงรูปสัญญาณ

คลื่นสี่เหลี่ยม คลื่นพัลส์ และรูปคลื่นอื่นๆ ที่มีลักษณะไม่เป็นคลื่นไซน์ (Nonsinusoidal) สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปได้ โดยป้อนคลื่นสัญญาณเหล่านี้เข้าไปในวงจรโครงข่ายที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L)หรือตัวเก็บประจุ (C)ประกอบร่วมในวงจรร่วมกับตัวต้านทาน (R)


E
0
t
E
โครงข่าย
วงจรอนุกรม RC
วงจรอนุกรม RL
E_{o1}
E_{o2}
E_{o1}
0
t
E_{o2}
0
t

ป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเข้าวงจร ทำให้สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไป ได้รูปสัญญาณออกเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต และรูปคลื่นอินติเกรต เป็นผลเกิดจากคุณสมบัติในการทำงานของอุปกรณ์ RLC ที่ต่อในวงจร

$$\tau = RC \quad s \qquad \text{......(2-5)}$$

หรือ

$$\tau = \frac{L}{R} \quad s \qquad \text{......(2-6)}$$

วงจรอนุกรมวงจรหนึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน 100 kΩ ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ 0.22uF จงหาค่าเวลาคงที่ของวงจรอนุกรม RC

วิธีทำ จากสูตร T = RC

T = ? s

R = 100 kΩ

C = 0.22 uF

T = 100 kΩ x 0.22 uF

= 100 x $\mathbf{10^{3}}$ x 0.22 x $\mathbf{10^{-6}}$

T = 22 x $\mathbf{10^{-3}}$ s = 22 ms

วงจรคงที่ของวงจรอนุกรม RC = 22 ms

วงจรอนุกรมวงจรหนึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน 200 Ω ต่อร่วมกับตัวเหนี่ยวนำ 100 mH จงหาค่าเวลาคงที่ของวงจรอนุกรม RL

วิธีทำ จากสูตร $T = \frac{L}{R}$

T = ? s

R = 200 Ω

L = 100 mH

$T = \frac{100mH}{200\Omega} = \frac{100\ x\ 10^{-3}}{200}$

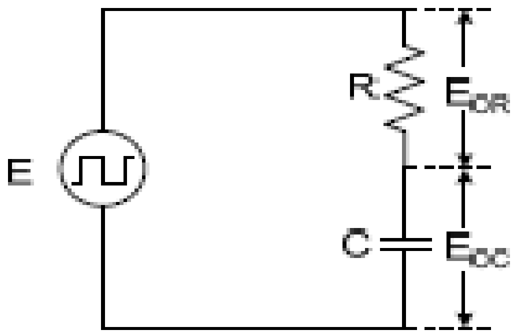
$T = 5 \times 10^{-4}$ s

$= 5 \times 10^{-4} \times 10^{6}$ us = 500 us

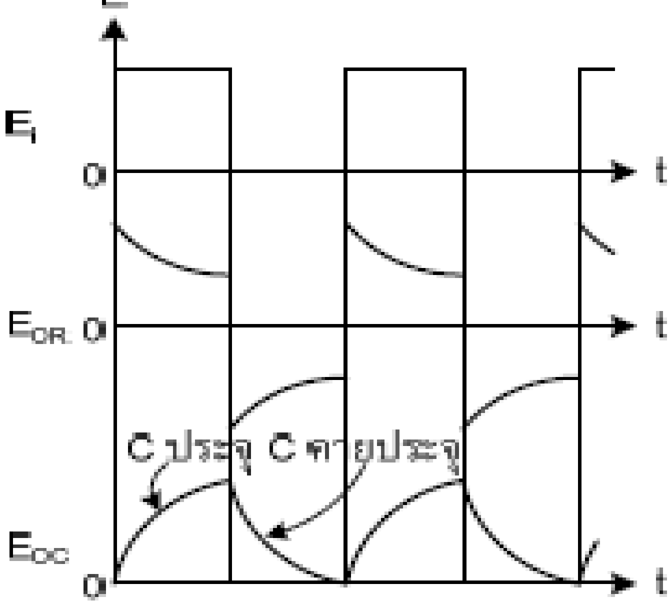
วงจรคงที่ของวงจรอนุกรม RL = 500 us

วงจรอนุกรม RC

วงจรอนุกรม RC เป็นวงจรที่นำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ และนำไปต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม การต่อดังกล่าวส่งผลต่อสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ตกคร่อมทั้ง ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป



(ก) วงจร



(ข) สัญญาณเกิดที่ตำแหน่งต่างๆ

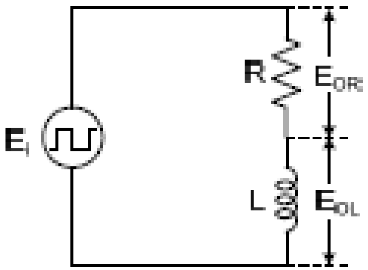
- เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเข้าวงจร สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมถูกเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากการทำงานของวงจรตัวต้านทาน ต้านการไหลของกระแสสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ที่ส่งผ่านไปให้ตัวเก็บประจุทำการประจุแรงดันของสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ในช่วงเวลาที่มีคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนเข้ามา ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมในตัวเก็บประจุค่อยๆ เพิ่มขึ้น และทำการคายประจุแรงดันออกมา ในช่วงเวลาที่งดจ่ายคลื่นสี่เหลี่ยมเข้าวงจร จนถึงช่วงเวลาที่สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมถูกป้อนเข้ามาอีกครั้ง หนึ่ง เกิดการทำงานเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้คลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณคลื่นอินติเกรต

- ตัวต้านทานทำหน้าที่ต้านการไหลของกระแสสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ในช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุยังไม่ทำการประจุแรงดันสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม มีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานมากเมื่อตัวเก็บประจุค่อยๆ ประจุแรงดันเพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะค่อยๆ ลดลง จนถึงช่วงเวลาที่งดจ่ายสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเข้ามา แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะลดลงเป็น 0 V ในช่วงเวลานี้แรงดันที่ถูกเก็บประจุไว้ในตัวเก็บประจุ จะถูกจ่ายมาตกคร่อมตัวต้านทานแทน มีขั้วแรงดันเป็นตรงข้าม ที่ระดับสูงสุดเท่ากับค่าแรงดันที่ถูกประจุไว้ในตัวเก็บประจุ แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะค่อยๆ ลดลง เมื่อตัวเก็บประจุค่อยๆ คายประจุออกมา จนถึงช่วงเวลาที่สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมถูกป้อนเข้ามาอีกครั้ง หนึ่ง เกิดการทำงานเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้คลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต
- รูปร่างสัญญาณที่เกิดขึ้นยังเปลี่ยนแปลงไปได้อีกตามค่าเวลาคงที่ (τ) ที่เกิดจากการนำค่าความต้านทานมาต่อร่วมกับค่าความจุ (τ = RC)

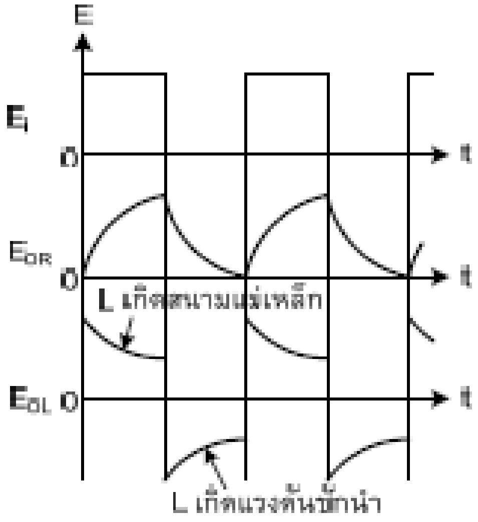
2.6

วงจรอนุกรม RL

วงจรอนุกรม RL เป็นวงจรที่นำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ และนำไปต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม การต่อดังกล่าวส่งผลต่อสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ตกคร่อมทั้ง ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป



(ก) วงจร



(ข) สัญญาณเกิดที่ตำแหน่งต่างๆ

- เมื่อป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเข้าวงจร สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมถูกเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากการทำงานของวงจร ตัวต้านทานต้านการไหลของกระแสสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ที่ส่งผ่านไปให้ตัวเหนี่ยวนำ ทำให้ตัวเหนี่ยวนำเกิดสนามแม่เหล็กพองตัวออก ในเวลาช่วงแรกตัวเหนี่ยวนำยังไม่เกิดสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำสูง เมื่อเริ่มเกิดสนามแม่เหล็ก ทำให้แรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำค่อยๆ ลดลง จนถึงช่วงเวลาที่งดจ่ายคลื่นสี่เหลี่ยมเข้าวงจร สนามแม่เหล็กในตัวเหนี่ยวนำยุบตัวลงตัดผ่านตัวเหนี่ยวนำอีกครั้ง ทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นในตัวเหนี่ยวนำมีขั้ว แรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำเป็นตรงข้ามกับครั้งแรก จ่ายไปให้ตัวต้านทาน ทำให้แรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำค่อยๆ ลดลง จนถึงช่วงเวลาที่สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมถูกป้อนเข้ามาอีกครั้ง หนึ่ง เกิดการทำงานเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้คลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต

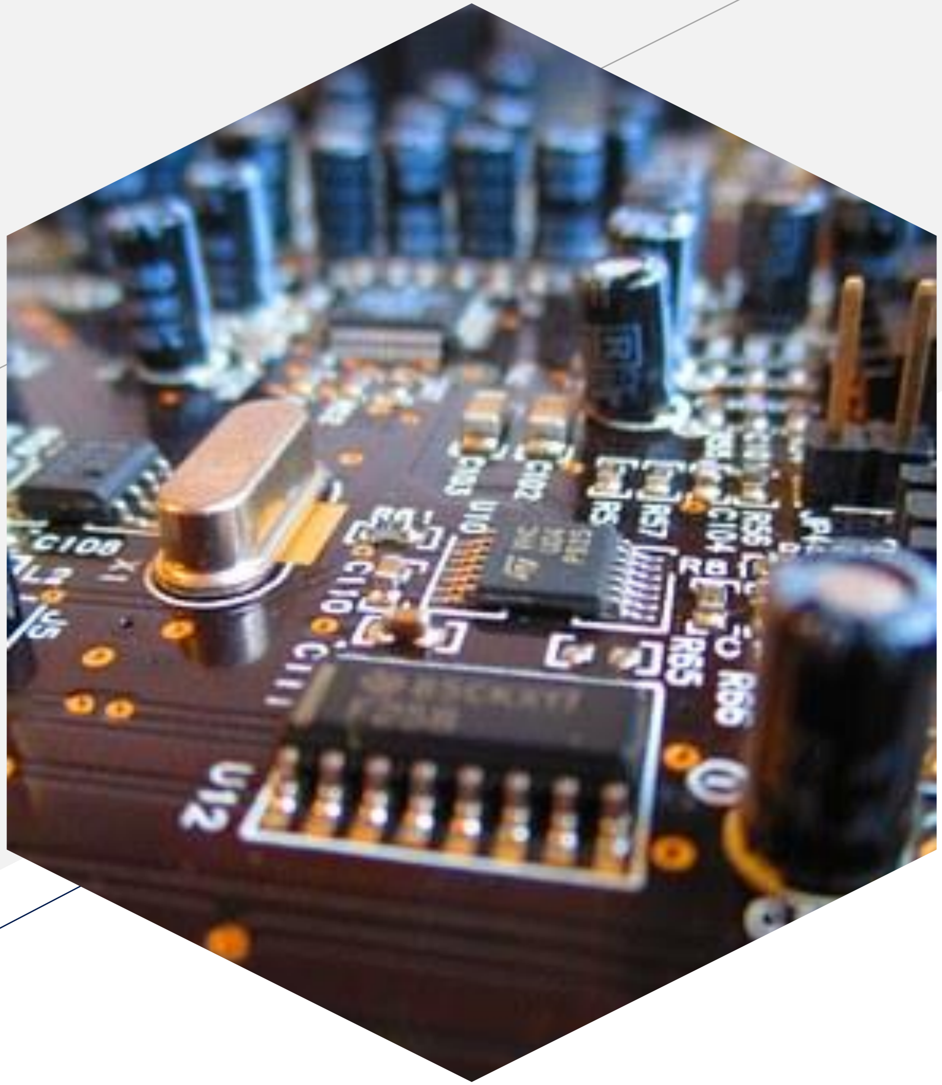
- ตัวต้านทานทำหน้าที่ต้านการไหลของกระแสสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ในช่วงเวลาที่ตัวเหนี่ยวนำยังไม่เริ่มเกิดสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำสูงสุด ไม่เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน เมื่อเริ่มเกิดสนามแม่เหล็ก ทำให้แรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำค่อยๆ ลดลง เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงเวลาที่งดจ่ายคลื่นสี่เหลี่ยมเข้าวงจร สนามแม่เหล็กในตัวเหนี่ยวนำยุบตัวลงตัดผ่านตัวเหนี่ยวนำอีกครั้ง ทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ มีขั้ว แรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำเป็นตรงข้ามกับครั้ง แรก จ่ายไปให้ตัวต้านทาน ทำให้แรงดันตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานค่อยๆ ลดลงตามไปด้วย จนถึงช่วงเวลาที่สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมถูกป้อนเข้ามาอีกครั้งหนึ่ง เกิดการทำงานเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้คลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณคลื่นอินติเกรต
- รูปร่างสัญญาณที่เกิดขึ้นยังเปลี่ยนแปลงไปได้อีกตามค่าเวลาคงที่ (τ) ที่เกิดจากการนำค่าความต้านทานมาต่อร่วมกับค่าความเหนี่ยวนำ (τ = L/R)

สรุป

- **วงจรลดรูปสัญญาณ** หรือวงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuate Circuit) และอาจเรียกว่าตัวลดทอน (Attenuator) คือวงจรลดขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาให้ได้ค่าออกเอาต์พุตมีค่าน้อยลงตามต้องการ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบวงจรเป็นตัวต้านทานบริสุทธิ์อย่างเดียว ไม่มีค่าความจุ (C) ค่าความเหนี่ยวนำ (L) รวมถึงไม่มีตัวต้านทานชนิดไวร์วาวด์ ประกอบร่วมในวงจรโดยถูกออกแบบมาให้เกิดความผิดเพี้ยนต่ำ (Distortion less) การลดทอนจะลดทอนเฉพาะค่าความแรงสัญญาณ ส่วนรูปร่างสัญญาณ เฟสสัญญาณ และความถี่ มีค่าคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

- **วงจรลดทอนสัญญาณชนิดส่งผ่านอย่างเดียว** นิยมบอกค่าระดับการลดทอนออกมาในรูปตารางลอการิทึมมีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel ; dB) วงจรลดทอนสัญญาณในแบบเบื้องต้น มีลักษณะวงจรเช่นเดียวกับวงจรแบ่งแรงดัน วงจรลดทอนสัญญาณมีหลายชนิด เช่น วงจรลดทอนสัญญาณชนิด L – แพด(L – pad) วงจรลดทอนสัญญาณชนิด T – แพด (T – pad) นอกจากนั้นยังมีการดัดแปลงรูปแบบวงจรให้อยู่ในรูป T - แพดแบบสมดุล T – แพดแบบบริดจ์ และ**π** **–** แพดแบบสมดุล

- **คลื่นสี่เหลี่ยม คลื่นพัลส์ และรูปคลื่นอื่นๆ ที่มีลักษณะไม่เป็นคลื่นไซน์ (Nonsinusoidal)** สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปได้ โดยป้อนคลื่นสัญญาณเหล่านี้เข้าไปในวงจรโครงข่ายที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L) หรือตัวเก็บประจุ (C) ประกอบร่วมในวงจรร่วมกับตัวต้านทาน (R) เช่น วงจรอนุกรม RC และวงจรอนุกรม RL เป็นต้น ผลจากการทำงานของตัวเก็บประจุ ต่อวงจรร่วมกับตัวต้านทาน ในวงจรที่จ่ายสัญญาณไฟสลับที่ไม่ใช่คลื่นไซน์ เช่น จ่ายคลื่นสี่เหลี่ยมให้วงจรอนุกรมRC สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมตกคร่อมตัวเก็บประจุเปลี่ยนเป็นคลื่นอินติเกรต และผลจากการทำงานของตัวเหนี่ยวนำ ต่อวงจรร่วมกับตัวต้านทาน ในวงจรที่จ่ายสัญญาณไฟสลับที่ไม่ใช่คลื่นไซน์ เช่นจ่ายคลื่นสี่เหลี่ยมให้วงจรอนุกรม RL สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนเป็นคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต
- **วงจรอนุกรม** RC เป็นวงจรที่นำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ และนำไปต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม การต่อดังกล่าวส่งผลต่อสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ตกคร่อมทั้ง ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป ในทำนองเดียวกัน วงจรอนุกรม RL เป็นวงจรที่นำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ และนำไปต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม การต่อดังกล่าวส่งผลต่อสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ตกคร่อมทั้ง ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป



จัดทำโดย

ครูภาวิณี ปานันตา

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์

วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี