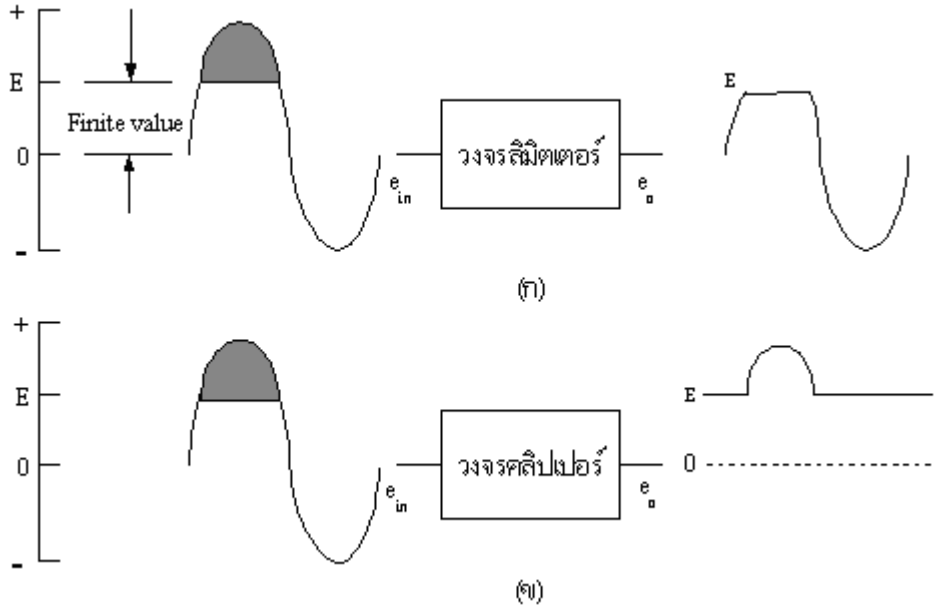
บทที่ 4
วงจรคลิปเปอร์

3.1 คุณสมบัติของวงจรไดโอดคลิปเปอร์

3.1.1 ความหมายของวงจรตัดรูปสัญญาณ

วงจรตัดรูปคลื่น นับได้ว่าเป็นวงจรแต่งรูปคลื่นแบบไม่เชิงเส้นง่ายๆ วงจรหนึ่งซึ่งสามารถที่จะตัดรูปคลื่นของกระแสหรือแรงดันให้มีลักษณะตามต้องการได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



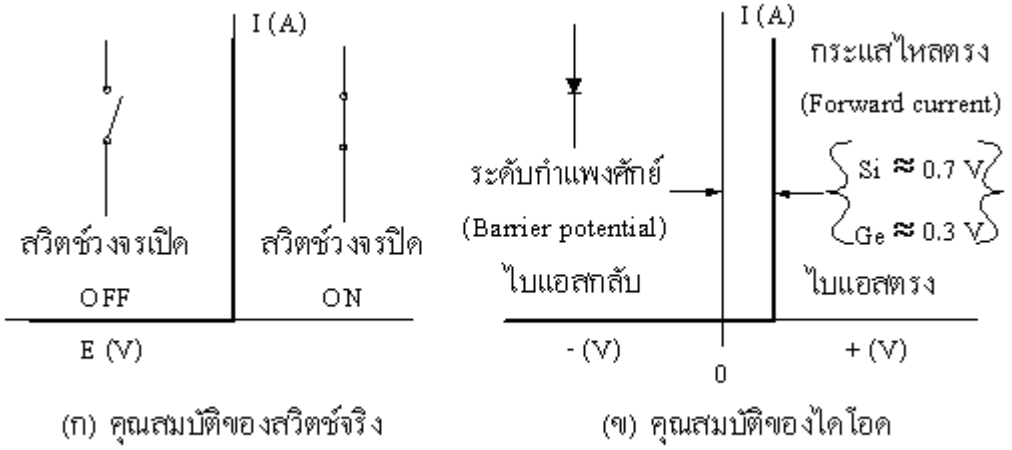
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะรูปคลื่นที่ปรากฏทางด้านเอาต์พุตของวงจรตัดรูปคลื่น ซึ่งมีสัญญาณแรงดันที่อินพุตเป็นรูปไซน์

ในรูปที่ 3.1 (ก) เรียกว่า วงจรลิมิตเตอร์ (Limiter circuit) หรือวงจำกัดกล่าวคือยอมให้สัญญาณที่มีขนาดน้อยกว่าที่วงจรจำกัด (E) สามารถปรากฏที่เอาต์พุตได้ และสำหรับรูปที่ 3.1 (ข) เป็นวงจรซึ่งสามารถตัดยอดคลื่น (บวกหรือลบ) ของสัญญาณของอินพุตให้ปรากฏที่เอาต์พุต วงจรนี้เรียกว่าวงจรคลิปเปอร์ ซึ่งอย่างไรก็ก็ดี วงจรทั้งสองนี้เราอาจเรียกรวมกันว่าเป็นวงจรคลิปเปอร์ได้เช่นเดียวกันการแสดงรูปเปรียบเทียบระหว่างคลื่นอินพุตและเอาต์พุตจะต้องทำโดยเขียนลักษณะคลื่นที่จะเปรียบเทียบอยู่บนแกนนอนของเวลาแกนเดียวกันโดยเรียงไว้ในแนวตั้งการเปรียบเทียบค่าแรงดันระหว่างอินพุตและ เอาต์พุตก็จะทำได้โดยการพิจารณาที่ตำแหน่งเวลาใดๆที่จุดเดียวกัน

นอกจากนี้อาจจัดแบ่งประเภทของวงจรคลิปเปอร์ได้ตามลักษณะของ อุปกรณ์แบบแอคตีฟที่ประกอบอยู่ในวงจรนั้น ๆ ได้เป็น 2 ประเภทคือ วงจรประเภทที่ใช้ไดโอด และวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์

วงจรคลิปเปอร์แบบไดโอดยังสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้อีก เช่นวงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอด (Series diode clipper circuit) และวงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอด (Shunt diode clipper clipper circuit)

ซึ่งความแตกต่างของสองวงจรทั้งสองนี้ก็คือ การเปลี่ยนตำแหน่งของไดโอดที่ใช้ในวงจร ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไปนี้เป็นไดโอดประเภทรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งถูกนำมาใช้งานในหน้าที่คล้ายกับเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน
ในทางอุดมคติของสวิตจริงๆ กับไดโอด

3.1.2 คุณสมบัติของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติในการทำงานขึ้นอยู่กับสภาวะการจ่ายแรงดันไบแอสให้แก่ไดโอด สภาวะการจ่ายแรงดันไบแอสให้ตัวไดโอดมีอยู่ 2 สภาวะคือสภาวะไบแอส ตรง (Forward bias) เป็นสภาวะที่ไดโอดนำกระแสคือไดโอดทำงาน และสภาวะไบแอสกลับ (Reverse bias) เป็นสภาวะที่ไดโอดไม่นำกระแสคือไดโอดไม่ทำงาน

คุณสมบัติในการทำงานของตัวไดโอดแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ ไดโอดทางอุดมคติ (Ideal diode) และไดโอดที่ใช้งานจริง (Real diode)

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดกับสวิตช์จริงๆ จะเห็นว่าเมื่อแรงดันตกคร่อมไดโอดมีลักษณะเป็นไบแอสตรง คือขั้วอาโหนดมีศักย์เป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วคาโถดเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วคาโถดแล้วไดโอดจะทำหน้าที่คล้ายกับปิดสวิตช์ปล่อยให้กระแสไหลผ่านไปได้ และเมื่อแรงดันของไดโอดมีลักษณะเป็นไบแอสย้อนกลับ (reverse bias) คือขั้วอาโหนดมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วคาโถดไดโอดจะทำหน้าที่คล้ายกับเปิดสวิตช์ออกทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดหรือวงจรได้

3.1.3 ไดโอดทางอุดมคติ (Ideal diode)

ไดโอดชนิดนี้จะเป็นไดโอดที่คุณสมบัติในการทำงานเหมือนสวิตช์ไฟฟ้า คือเมื่อไดโอดถูกจ่ายไบแอสตรงจะนำกระแส เหมือนกับสวิตช์อยู่ในสภาวะต่อวงจร(ON) และเมื่อไดโอดถูกจ่ายไบแอสกลับจะไม่นำกระแสเหมือนกับสวิตช์ตัดวงจร (OFF) สวิตช์ไดโอดจะแตกต่างจากสวิตช์ไฟฟ้าจริงบ้างตรงที่สวิตช์ที่ใช้ไดโอดทำงานในขณะที่ไดโอดได้รับไบแอสตรง ไดโอดจะนำกระแสได้นั้นแรงดันไบแอสตรงที่ป้อนให้ตัวไดโอดจะต้องมากกว่าค่า

แรงดันแบตเตอรี่สมมุติระหว่างรอยต่ออาจเรียกว่าแรงดันแทรสโฮลด์ (Threshold voltage) หรือแรงดันคัตอิน (Cut-in voltage) ค่าดังกล่าวนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตไดโอด ไดโอดชนิดซิลิกอน (Silicon) มีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ ไดโอดชนิดเยอร์เมเนียม (Germanium) มีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ สวิตช์ไดโอดแสดงในรูปที่ 3.2 กล่าวคือเมื่อสวิตช์ปิดกระแสจะสามารถไหลในวงจรได้ และเมื่อสวิตช์เปิดจะทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร ซึ่งในรูปที่ 3.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดในทางอุดมคติ

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดกับสวิตช์จริงๆ จะเห็นว่าเมื่อแรงดันตกคร่อมไดโอดมีลักษณะเป็นไบแอสตรง คือขั้วอาโหนดมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วคาโถด ไดโอดจะทำหน้าที่คล้ายกับเปิดสวิตช์ออกทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดหรือวงจรได้

ในรูปที่ 4.2 (ข) เป็นคุณสมบัติในทางอุดมคติ แต่ไดโอดที่เรานำมาใช้งานจริงๆ นั้นจะมีลักษณะแตกต่างไปจากนี้ และสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะเห็นว่าไดโอดจะเริ่มทำงานและยอมให้กระแสไหลผ่านได้เมื่อได้รับแรงดันไบแอสตรงค่าไม่น้อยกว่า 0.3 – 0.7 โวลต์ ทั้งนี้ก็เนื่องจากที่รอยต่อของไดโอดในภาวะสมดุลย์มีค่ากำแพงศักย์ตกคร่อมที่รอยต่ออยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเมื่อค่าแรงดันไบแอส ตรงมีมากกว่าศักย์นี้แล้วกระแสจึงจะไหลผ่านไดโอดได้ กระแสที่ไหลจะมีค่ามากแต่ไม่ถึงกับเป็นค่าอนันต์ (∞) นั่นคือขณะไดโอดยอมให้กระแสไหลผ่าน ไดโอดจะทำตัวคล้ายกับตัว

ต้านทานที่มีค่าน้อยๆ ค่าความต้านทานนี้ถูกเรียกว่า “ความต้านทานขณะไบแอสตรง” (d.c forward resistance) ของไดโอดเขียนแทนด้วยตัว R_f และมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) และในขณะที่ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ ไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านไปได้จำนวนน้อยมากเช่นมีขนาดไม่กี่ไมโครแอมป์ หรือน้อยขนาดนาโนแอมป์ก็ได้ โดยปกติถ้าเป็นซิลิกอนไดโอดทั่วๆ ไปกระแสนี้มีค่าราวไม่กี่ไมโครแอมป์ ในภาวะนี้ไดโอดจึงกระทำตัวเสมือนกับเป็นตัวความต้านทานที่มีค่าค่าสูงมาก ค่าความต้านทานขณะนี้ถูกเรียกว่า “ความต้านทานขณะไบแอสย้อนกลับ” (reverse resistance) ของไดโอดเขียนแทนด้วย R_r มีหน่วยเป็นโอห์ม(Ω) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดในรูป 3.3 นั้นอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = I_R \left(\varepsilon^{qV/kT} - 1 \right) \qquad \text{.....(1)}$$

โดยที่ I คือ กระแสซึ่งไหลผ่านไดโอด (A)

I_R คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (กระแสขณะที่ไดโอดได้รับแรงไบแอสกลับ) (A)

ε คือ ค่าเอ็กโพเนนเชี่ยล เท่ากับ 2.718

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน เท่ากับ 1.602×10^{-19} คูลอมบ์ (C)

T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ มีหน่วยเป็นเคลวิล (K)

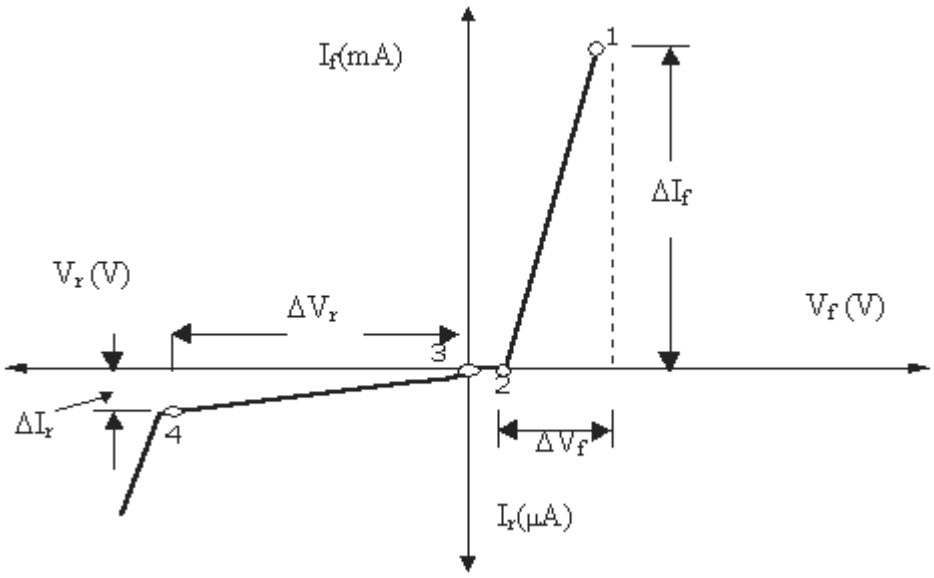
V คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด (V)

$\frac{kT}{q}$ = 26 mV ที่อุณหภูมิ 25 C^{o} , k คือ ค่าคงที่ของโบสต์มัน = 138×10^{-23}

จูลส์ / องศาเซลเซียส

สมการที่ (1) ถูกเรียกว่า “สมการไดโอด” (Diode equation) ซึ่งจะเห็นว่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดขึ้นอยู่กับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด และอุณหภูมิ ส่วนค่าอื่น ๆ นั้นเป็นค่าคงที่ และอาจประมาณได้ว่าที่แรงดันไบอัสกลับมีค่าสูง กระแสที่ไหลผ่านไดโอดก็คือ ค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับซึ่งเป็นค่าคงที่ ๆ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสนี้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับค่าความต้านทานไบแอสตรง (R_f) และค่าความต้านทานไบแอสกลับ (R_r) ของไดโอดนั้น สามารถวัด หรือคำนวณหาได้จาก กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นกราฟโดยการประมาณ ค่าของ I_f และ V_f ในรูปนี้ ทางบริษัทผู้ผลิตจะแจ้งไว้



รูปที่ 3.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดโดยประมาณ

ค่าประมาณของ R_f ก็คือ ค่าความชัน(Slope) ทางด้านไบแอสตรงของรูปที่ 3.3 จะได้สมการว่า

$$R_f = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} = \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2} \qquad \text{.....(2)}$$

ค่าประมาณของ R_r ก็คือ ค่าความชัน ทางด้านไบแอสกลับของรูปที่ 3.3 จะได้สมการว่า

$$R_r = \frac{\Delta V_r}{\Delta I_r} = \frac{V_4 - V_3}{I_4 - I_3} \qquad \text{.....(3)}$$

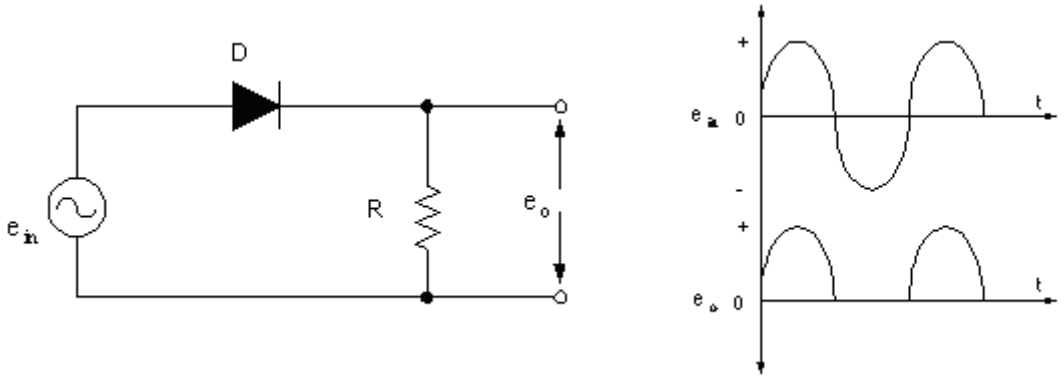
3.1.4 การทำงานของวงจรคลิปเปอร์แบบต่าง ๆ

วงจรคลิปเปอร์ที่เราจะกล่าวถึงในเรื่องนี้ คือวงจรคลิปเปอร์ประเภทที่ใช้ไดโอดซึ่งแบ่งออก เป็น 2 แบบคือ

1. วงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอด
2. วงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอด

ซึ่งมีกลักการทำงานดังต่อไปดังนี้

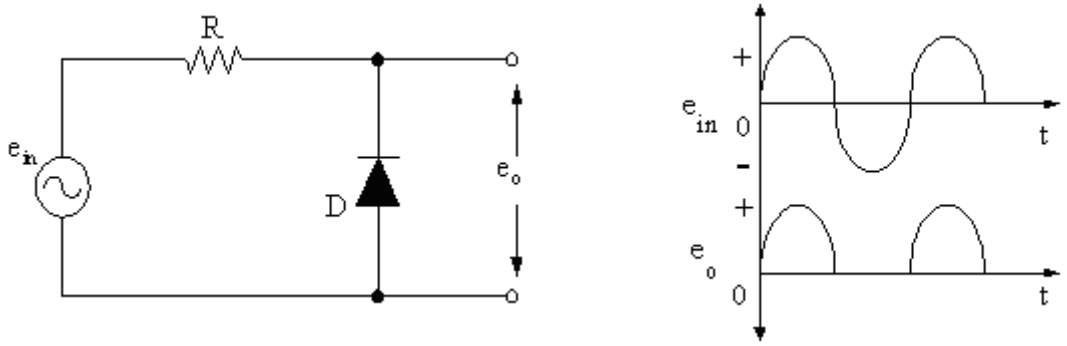
1. วงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอด



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของวงจรและรูปคลื่นของแรงดันที่เอาต์พุต
ของวงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอด

การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ กล่าวคือเมื่อสัญญาณจากอินพุตทำให้ตัวไดโอดอยู่ในลักษณะได้รับแรงดันไบแอสตรง กระแสก็จะไหลผ่านไดโอดได้ ทำให้เกิดแรงดันปรากฏที่เอาต์ พุต ซึ่งในรูปที่ 3.4 กรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวก และตรงกันข้ามเมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบตัวไดโอดจะได้รับแรงดันไบแอสกลับ ทำให้กระไหลผ่านไดโอดไม่ได้ ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R ค่าแรงดันเอาต์พุตจึงเป็นศูนย์ จึงทำให้ได้รูปสัญญาณตามรูปที่ 3.4

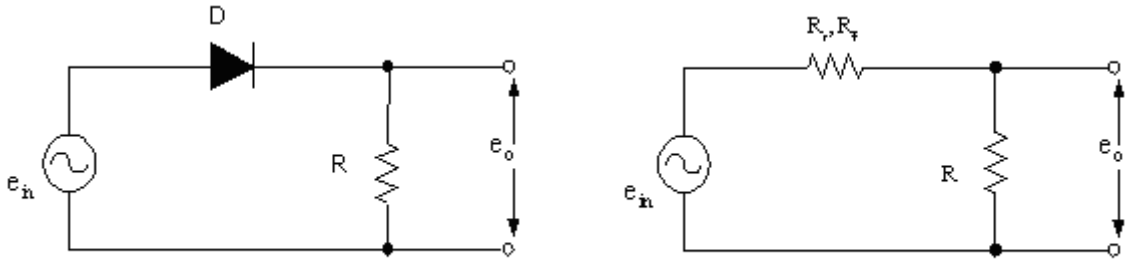
2. วงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอด



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของวงจรและรูปคลื่นของแรงดันที่
เอาต์พุตของวงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอด

การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ กล่าวคือเมื่อสัญญาณจากอินพุตทำให้ตัวไดโอดอยู่ในลักษณะได้รับแรงดันไบแอสกลับ กระแสก็จะไหลผ่านไดโอดไม่ได้ ทำให้เกิดแรงดันปรากฏที่เอาต์พุต ซึ่งในรูปที่ 3.5 กรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวก และตรงกันข้ามเมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบตัวไดโอดจะได้รับแรงดันไบแอสตรงทำให้กระไหลผ่านไดโอดได้ ดังนั้นจึงมีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R ค่าแรงดันเอาต์พุตจึงเป็นศูนย์ จึงทำให้ได้รูปสัญญาณตามรูปที่3.5

3.2 พารามิเตอร์ของวงจรคลิปเปอร์แบบไดโอดที่ใช้งานจริง



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรเปรียบเทียบของวงจรคลิปเปอร์แบบไดโอด

วงจรคลิปเปอร์แบบไดโอด ซึ่งนำมาใช้งานจริง ๆ นั้นค่าความต้านทาน R ในวงจรจะต้องมีค่าที่เหมาะสม ทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์ใหญ่ 2 ประการคือ

1) ขณะที่ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสตรง ขนาดของแรงดันที่เอาต์พุตจะต้องเท่ากับขนาดของแรงดันที่อินพุต

2) ขณะที่ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสกลับ ขนาดของแรงดันที่เอาต์พุตจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์

ดังนั้นจึงคล้ายกับว่าในวงจรประกอบด้วยตัวต้านทานสองตัวอนุกรมกันอยู่ และมีลักษณะคล้ายกับวงจรแบ่งแรงดัน ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

$$e_o = e_{in} \frac{R}{R_f + R}$$ แรงดันเอาต์พุตขณะไบแอสตรง .....(4)

$$e_o = e_{in} \frac{R}{R_r + R}$$ แรงดันเอาต์พุตขณะไบแอสกลับ .....(5)

การหาค่าความต้านทาน R คำนวนได้จาก

$$R = \sqrt{R_f R_r}$$ .....(6)

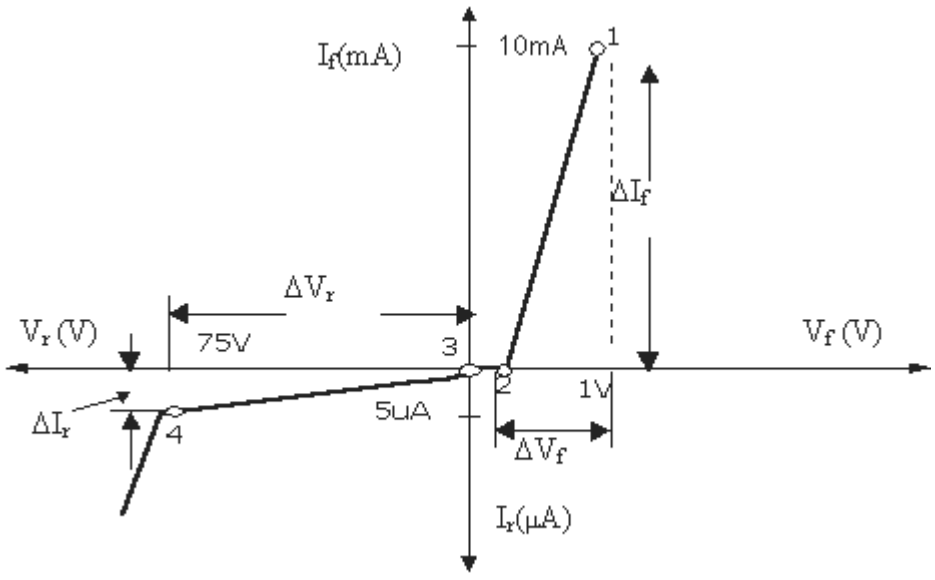
เมื่อค่าความต้านทาน R ที่ต้องการ ต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $R_f << R << R_r$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานในวงจร

R_f คือ ค่าความต้านทานของไดโอดขณะไบแอสตรง

R_r คือ ค่าความต้านทานของไดโอดขณะไบแอสกลับ

ตัวอย่างที่ 3.1 จงคำนวณหาค่าความต้านทาน R โดยอาศัยกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันของไดโอดอย่างประมาณ

วิธีทำ

$$R_f = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} = \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2}$$

$$R_f = \frac{1V - 0V}{10mA - 0A} = \frac{1V}{10mA}$$

$$R_f = 100\ \Omega \qquad \textbf{ตอบ}$$

$$R_r = \frac{\Delta V_r}{\Delta I_r} = \frac{V_4 - V_3}{I_4 - I_3}$$

$$R_r = \frac{75V - 0V}{5\,\mu A - 0A} = \frac{75V}{5\,\mu A}$$

$$R_r = 15\ M\Omega \qquad \textbf{ตอบ}$$

$$R = \sqrt{R_f R_r}$$

$$R = \sqrt{100 \times 15 \times 10^6}$$

$$R = 38.73\ k\Omega$$

$$R \cong 39\ k\Omega \qquad \textbf{ตอบ ค่าที่มีในท้องตลาด}$$

ตัวอย่างที่ 3.2 จงคำนวณหาค่าแรงดันเอาต์พุตขณะไดโอดได้รับไบแอสตรงและไบแอสกลับโดยอาศัยความสัมพันธ์จากรูปที่ 3.7 โดยมีแรงดันอินพุตเท่ากับ 5 V

วิธีทำ

จากตัวอย่างที่ 3.1 จะได้ว่า

$R_f = 100\ \Omega$

$R_r = 15\ M\Omega$

$R \cong 39\ k\Omega$

แรงดันเอาต์พุตของไดโอดขณะไบแอสตรง หาได้จาก

$$e_o = e_{in} \frac{R}{R_f + R}$$

$$e_o = 5 \frac{39 \times 10^3}{100 + 39 \times 10^3}$$

$$e_o = 5V \frac{39 \times 10^3}{39.1 \times 10^3}$$

$$e_o = 5 \times 0.997$$

$$e_o = 4.985\ V \qquad \textbf{ตอบ}$$

แรงดันเอาต์พุตของไดโอดขณะไบแอสกลับ หาได้จาก

$$e_o = e_{in} \frac{R}{R_r + R}$$

$$e_o = 5 \frac{39 \times 10^3}{15 \times 10^9 + 39 \times 10^3}$$

$$e_o = 5 \frac{39 \times 10^3}{15.039 \times 10^9}$$

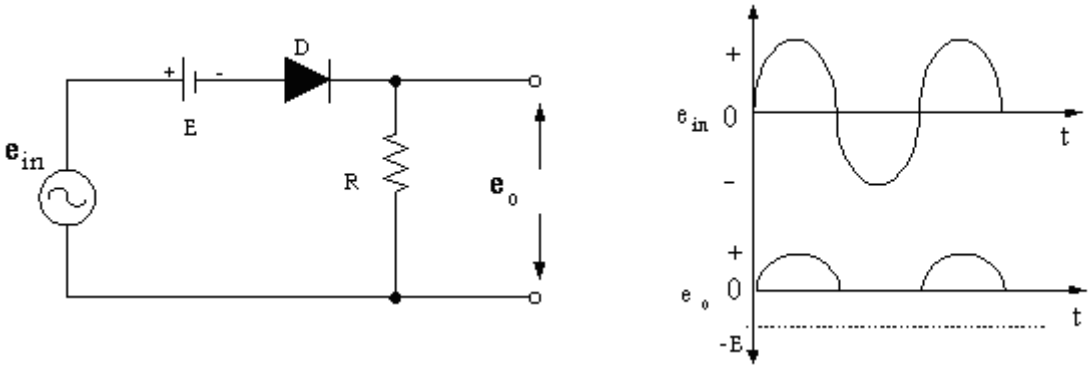
$$e_o = 5 \times 2.593 \times 10^3$$

$$e_o = 0.0129 \quad V$$ **ตอบ**

3.2.1 การประยุกต์วงจรคลิปเปอร์และการนำไปใช้งาน

การประยุกต์วงจรคลิปเปอร์แบบไดโอดนั้นขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ว่าจะออกแบบวงจรอย่างไรจะให้รูปคลื่นออกมาเป็นอย่างไรหรือจะนำไปใช้กับงานอะไรนั้นซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายการออกแบบเบื้องต้นเพียงบางวงจรเท่านั้น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบวงจรคลิปเปอร์แบบอื่น ๆ ต่อไป

1. วงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอดที่มีการให้ไบแอสไดโอดด้วยแบตเตอรี่



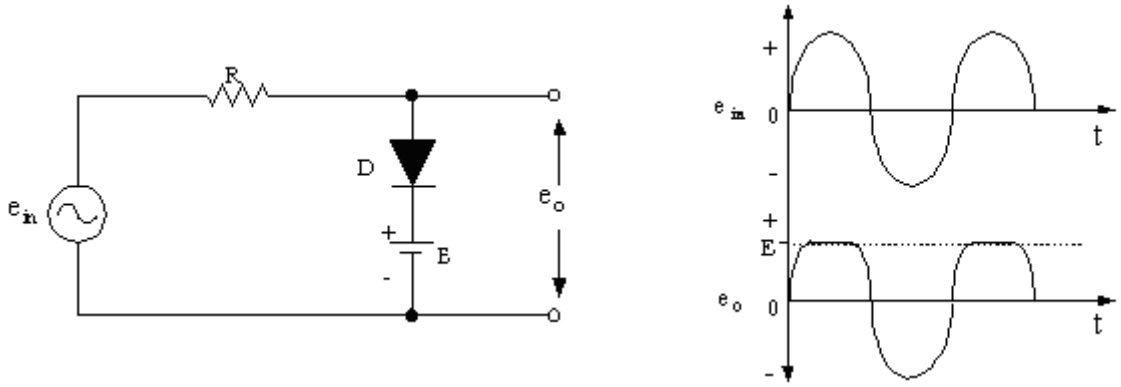
รูปที่ 3.8 วงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอดที่มีการให้ไบแอสไดโอดด้วยแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.8 เป็นวงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอด มีแบตเตอรี่จ่ายเป็นไบแอสกลับให้ตัวไดโอด สามารถอธิบายวงจรได้ดังนี้ ขณะไม่มีสัญญาณไซน์ป้อนเข้ามา แบตเตอรี่ E จะจ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ไดโอด D ไดโอด จะไม่นำกระแส เมื่อมีสัญญาณไซน์ป้อนเข้ามาที่ e_{in} มีขั้วบนเป็นบวก (+) ขั้วล่างเป็นลบ (-) ทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอส 2 ชุด ชุดที่หนึ่งจากแบตเตอรี่ E จ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ไดโอด ชุดที่สองจากแรงดันไซน์ที่ e_{in} จ่ายไบแอสตรงให้ไดโอด ทำให้ไดโอด ได้รับทั้งไบแอสตรงและไบแอสกลับการทำงานของไดโอด จะขึ้นอยู่กับศักย์ไบแอสทั้งสอง ถ้าศักย์ไบแอสของแบตเตอรี่ E มากกว่าศักย์ไบแอสของแรงดันไซน์ที่ e_{in} ไดโอด จะได้รับแรงดันไบแอสกลับ ไดโอด ไม่นำกระแส ไม่มีสัญญาณออกเอาต์พุต e_oถ้าศักย์ไบแอสของแรงดันไซน์ที่ e_{in} มากกว่าศักย์ไบแอสของแบตเตอรี่ E ไดโอด จะได้รับแรงดันไบอัสตรง ไดโอดนำกระแส มีกระแสไหลผ่านตัว

ต้านทาน R เกิดศักย์ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน เป็นสัญญาณออกเอาต์พุต e_o เมื่อมีสัญญาณไซน์ป้อนเข้ามาที่ e_{in} มีขั้วบนเป็นลบ (-) ขั้วล่างเป็นบวก (+) ทำให้ไดโอด ได้รับแรงดันไบแอสกลับ 2 ชุด ชุดที่หนึ่งจากแบตเตอรี่ E จ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ไดโอด

ชุดที่สองจากแรงดันไซน์ที่ e_{in} จ่ายไบแอสกลับให้ไดโอด เช่นกันทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอส กลับตลอดเวลา ไดโอด จะไม่นำกระแส ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R ไม่เกิดศักย์ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน ไม่มีสัญญาณออกเอาต์พุต e_o จะได้ดังรูปที่ 3.8

2. วงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอดที่มีการให้ไบแอสไดโอดด้วยแบตเตอรี่



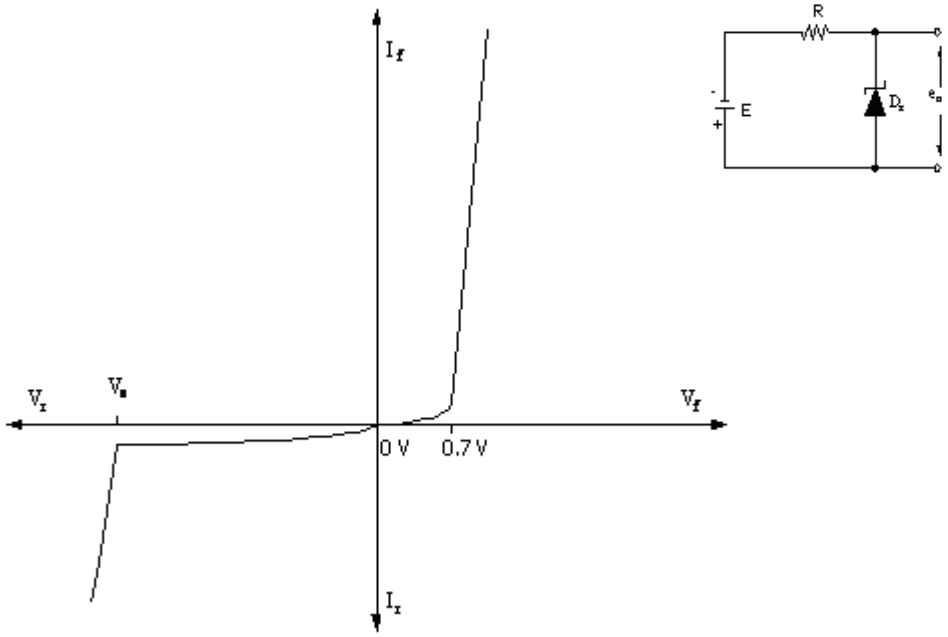
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอดที่มีการให้ไบแอสไดโอดด้วยแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.9 เป็นวงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอด มีแบตเตอรี่จ่ายเป็นไบแอสกลับให้ตัวไดโอดสามารถอธิบายวงจรได้ดังนี้ ขณะไม่มีสัญญาณไซน์ป้อนเข้ามา แบตเตอรี่ E จะจ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ไดโอด ตลอดเวลา ไดโอด จะไม่นำกระแส เมื่อมีสัญญาณไซน์ป้อนเข้ามาที่ e_{in} มีขั้วบนเป็นบวก (+) ขั้วล่างเป็นลบ (-) ทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอส 2 ชุด ชุดที่หนึ่งจากแบตเตอรี่ E จ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ไดโอด ชุดที่สองจากแรงดันไซน์ที่ e_{in} จ่ายไบแอสตรงให้ไดโอด ทำให้ไดโอดได้รับทั้งไบแอสตรงและไบแอสกลับ การทำงานของไดโอด จะขึ้นอยู่กับศักย์ไบแอสทั้งสอง ถ้าศักย์ไบแอสของแบตเตอรี่ E มากกว่าศักย์ไบอัสของแรงดันไซน์ที่ e_{in} ไดโอด จะได้รับแรงดันไบแอสกลับ ไดโอดไม่นำกระแส ทำให้สัญญาณไซน์ที่ e_{in} ในส่วนที่แรงดันน้อยกว่าแบตเตอรี่ E ถูกส่งออกเอาต์พุตที่ e_o ถ้าศักย์ไบแอสของแรงดันไซน์ที่ e_{in} มากกว่าศักย์ไบแอสของแบตเตอรี่ E ไดโอด จะได้รับแรงดันไบแอสตรง ไดโอดนำกระแส ทำให้สัญญาณไซน์ที่ e_{in} ในส่วนที่แรงดันมากกว่าแบตเตอรี่ E ถูกกำจัดทิ้งไปไม่ส่งออกเอาต์พุต e_o เมื่อมีสัญญาณไซน์ป้อนเข้ามาที่ e_{in} มีขั้วบนเป็นลบ (-) ขั้วล่างเป็นบวก (+) ทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสกลับ 2 ชุด ชุดที่หนึ่งจากแบตเตอรี่ E จ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ไดโอด ชุดที่สองจากแรงดันไซน์ที่ e_{in} จ่ายไบแอสกลับให้ไดโอด เช่นกัน ทำให้ไดโอด ได้รับแรงดันไบแอสกลับตลอดเวลา ไดโอด จะไม่นำกระแสทำให้สัญญาณไซน์ที่ e_{in} ซีกลบถูกส่งออกเอาต์พุต e_o ทั้งซีก จะได้ดัง รูปที่ 3.9

3. วงจรคลิปเปอร์ที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวไบแอสไดโอด

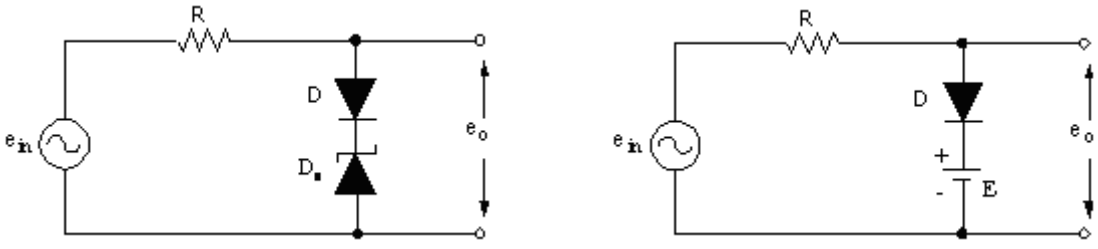
ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ก็คือไดโอดที่ผลิตขึ้นมาจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ชนิด P และชนิด N เช่นเดียวกับไดโอดธรรมดา มีขาต่อใช้งาน 2 ขา คือขาแอโนด (A) และแคโทด (K) เช่นเดียวกับไดโอดธรรมดา ส่วนที่แตกต่างไปจากไดโอดธรรมดาตรงกระบวนการผลิต

ซีเนอร์ไดโอดมีเทคนิคพิเศษในการผลิตทำให้สามารถทำงานได้ในช่วงไบแอสกลับโดยสามารถกำหนดแรงดันให้คงที่ค่าหนึ่งตามค่าแรงดันพังของซีเนอร์ (Zener breakdown voltage) การนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้งานเมื่อจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้ ซีเนอร์ไดโอดจะทำงานเหมือนไดโอดธรรมดา และเมื่อจ่ายไบแอสกลับให้ ซีเนอร์ไดโอดจะทำงานที่จุดซีเนอร์เบรกดาวน์ หรือแรงดันพังของซีเนอร์ (V_z) คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดแสดงด้วยกราฟคุณสมบัติจะคล้ายกับกราฟคุณสมบัติของไดโอดธรรมดา แสดงดงรูปที่ 3.10

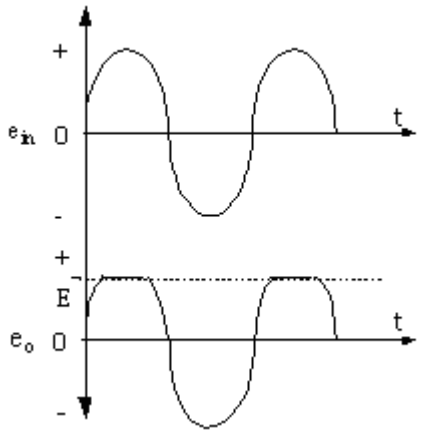


รูปที่ 3.10 แสดงกราฟคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

วงจรคลิปเปอร์ที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวไบแอสไดโอด ดังจะแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งขอให้สังเกตที่ตัวของซีเนอร์ไดโอดในขณะไดรับแรงดันไบแอสกลับ จะมีการทำงานคล้ายกับเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง หรือแบตเตอรี่



ก) แสดงวงจรเสมือนของวงจรคลิปเปอร์ที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวไบแอสไดโอด



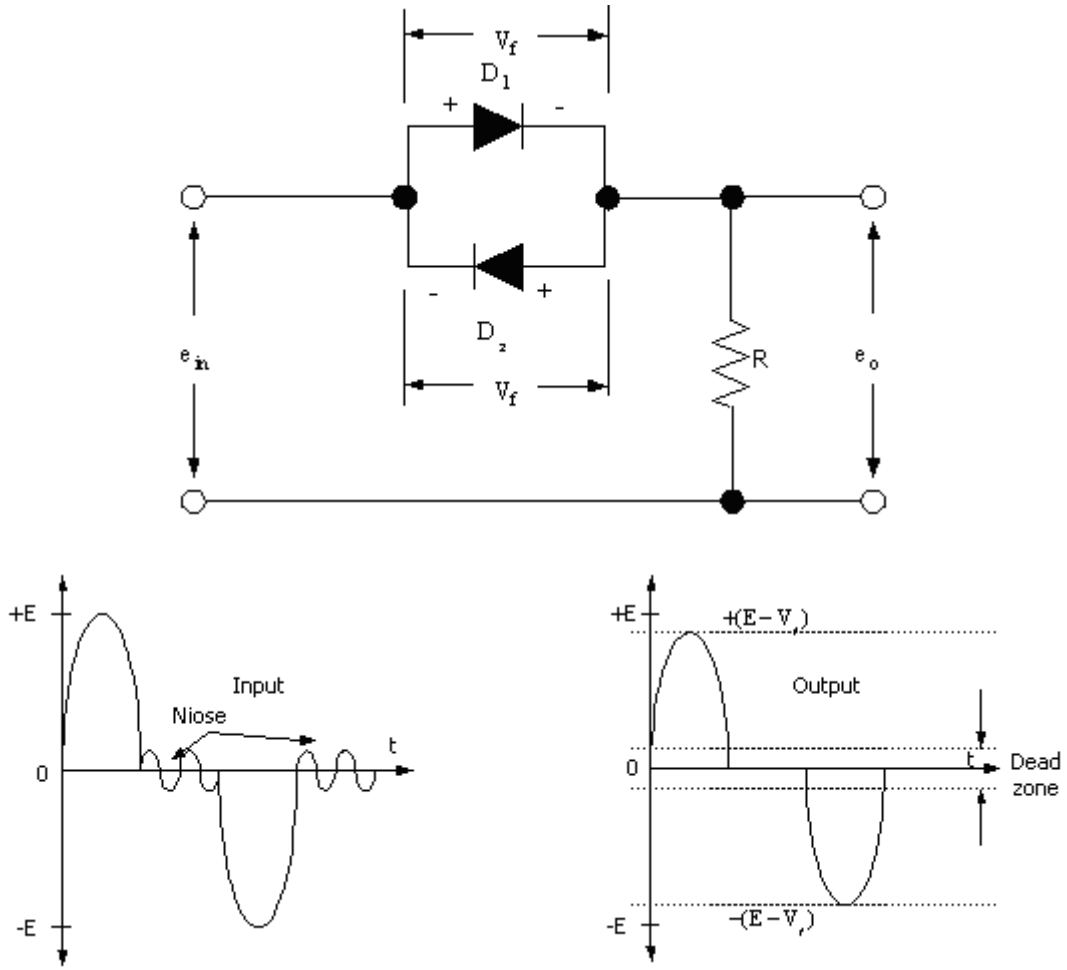
ข) แสดงรูปสัญญานของวงจรคลิปเปอร์ที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวไบแอสไดโอด

รูปที่ 3.11 แสดงวงจรและรูปคลื่นที่เอาต์พุตของวงจรคลิปเปอร์ที่ใช้
ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวไบแอสไดโอด

ดังนั้นจากวงจรในรูปที่ 3.11 (ก) ซีเนอร์ไดโอดจึงทำหน้าที่แทนแบตเตอรี่ E กล่าวได้คือ ในช่วงที่แรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบ ซีเนอร์ไดโอด D_z จะได้รับแรงดันไบอัสตรงจึงคล้ายกับเป็นสวิตช์ปิด แต่ไดโอด ซึ่งต่ออนุกรมอยู่จะได้รับแรงดันไบแอสกลับจึงคล้ายกับสวิตช์เปิด เมื่อสวิตช์สองสวิตช์ต่ออนุกรมกันอยู่ ถ้าหากมีสวิตช์หนึ่งสวิตช์ใดเปิด วงจรก็จะถูกเปิดออกทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตขณะนี้จึงเท่ากับแรงดันอินพุต และในช่วงแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวกน้อยกว่า “แรงดันพังของซีเนอร์” V_z ซีเนอร์ก็จะได้รับแรงดันไบแอสกลับจึงคล้ายกับเป็นสวิตช์เปิด แต่ไดโอด จะคล้ายกับปิด ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตขณะนี้ก็ยังคงเท่ากับแรงดันอินพุต แต่เมื่อขนาดของแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวกมากกว่าแรงดันพังของซีเนอร์ V_z แล้วซีเนอร์ไดโอดก็จะได้รับแรงดันไบแอสกลับค่ามากกว่า V_z นั้นคือซีเนอร์ไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ คล้ายกับเป็นสวิตช์ปิดเหมือนกับไดโอด ดังนั้นจึงคล้ายกับสวิตช์ปิดสองตัวอนุกรมกันอยู่ แต่ซีเนอร์ไดโอดจะมีแรงดัน V_z ตกคร่อมอยู่อย่างคงที่ ดังนั้นสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตจึงมีค่าเท่ากับแรงดันพังของซีเนอร์ V_z ตลอดช่วงเวลานี้ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ข) ซึ่งสมมุติว่าแรงดันพังของซีเนอร์มีค่าเท่ากับ E โวลต์ เหมือนแบตเตอรี่

3.2.2 วงจรคลิปเปอร์ไดโอดที่นำไปประยุกต์ใช้งานจริง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวงจรคลิปเปอร์ไดโอดที่นำไปประยุกต์ใช้งานจริง ตัวอย่างวงจรที่จะกล่าวถึงคือ วงจรคลิปเปอร์สัญญาณรบกวนแบบอนุกรมไดโอด (Series noise clipper) บางกรณีสัญญาณทางไฟฟ้าอาจมีสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ไม่ต้องการปะปนมากับสัญญาณหลัก เช่นในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรคลิปเปอร์สัญญาณรบกวนแบบอนุกรมไดโอด (Series noise clipper)

จะเห็นว่าสัญญาณอินพุตมีสัญญาณรบกวนที่บริเวณจุด 0 โวลต์ เราสามารถใช้วงจรคลิปเปอร์สัญญาณรบกวนแบบอนุกรมไดโอด โดยการต่อไดโอด D_1, D_2 แบบ Anti-parallel 1 คู่ และต่ออนุกรมกับสัญญาณอินพุต ดังรูป 3.12 D_1 จะตัดสัญญาณรบกวนด้านบวกออก และ D_2 จะตัดสัญญาณรบกวนด้านลบออกโดยมีย่าน Dead zone เท่ากับ $\pm V_f$ ในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่ามากกว่าย่าน Dead zone สามารถแก้ไขโดยการต่อไดโอดอนุกรมกับ D_1 และ D_2 เพิ่มขึ้นอีกได้ ขนาดของแรงดันเอาต์พุตด้านบวกสูงสุดจะเท่ากับ $+(E-V_f)$ และขนาดของแรงดันด้านลบเท่ากับ $-(E-V_f)$ ดังรูปที่ 3.12

3.2.3 ข้อดี และข้อเสียในการออกแบบวงจรคลิเปอร์แบบไดโอด

โดยทั่วไปการนำวงจรคลิปเปอร์ไปใช้งานเพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างสมบูรณ์ รูปคลื่นที่ถูกตัดมีความคมดี จะต้องคำนึงถึงขนาดของแรงดันอินพุตนี้ ให้มีค่ามากกว่าค่าแรงดันเทรสโฮลด์ของไดโอดหลาย ๆ เท่า

ข้อดีของวงจรคลิปเปอร์แบบไดโอดต่าง ๆ คือ ออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน เสถียรภาพของวงจรดี ราคาถูก

ข้อเสียของวงจรคลิปเปอร์แบบอนุกรมไดโอด ก็คือในขณะที่ไดโอดในวงจรนี้ได้รับแรงดันไบแอสกลับ ไดโอดจะไม่ยอมให้กระแสไหลผ่าน แต่ที่รอยต่อของไดโอดมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่คล้ายกับตัวคัปปลิ้ง (Coupling) ดังนั้นถ้าหากสัญญาณอินพุตมีความถี่สูงก็อาจจะผ่านไดโอดนี้ไปได้นั่นคือมีกระแสไหลได้ทั้ง ๆ ที่ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสกลับ

สำหรับข้อเสียของวงจรคลิปเปอร์แบบขนานไดโอด ก็มีเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับ ไดโอดก็จะทำตัวคล้ายกับตัวเก็บประจุยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านได้ ผลเสียก็คือบริเวณมุมของสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตจะไม่คมแต่มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ซึ่งผู้ออกแบบและนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึง และแก้ไขผลเสียดังกล่าวซึ่งอาจเกิดขึ้นได้นี้ด้วย

นอกจากนี้แล้ววงจรตัดรูปคลื่นยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่นเป็นตัวกำจัดสัญญาณแรงดันที่ไม่ต้องการ ใช้ช่วยปรับปรุงคลื่นจัตุรัสให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และใช้ในการเปรียบเทียบค่าแรงดันสองค่า ซึ่งในกรณีนี้มักถูกเรียกว่า วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage compare circuit) หรือวงจรเปรียบเทียบ (Compare circuit)

จบเนื้อหา บทที่ 4 วงจรคลิปเปอร์