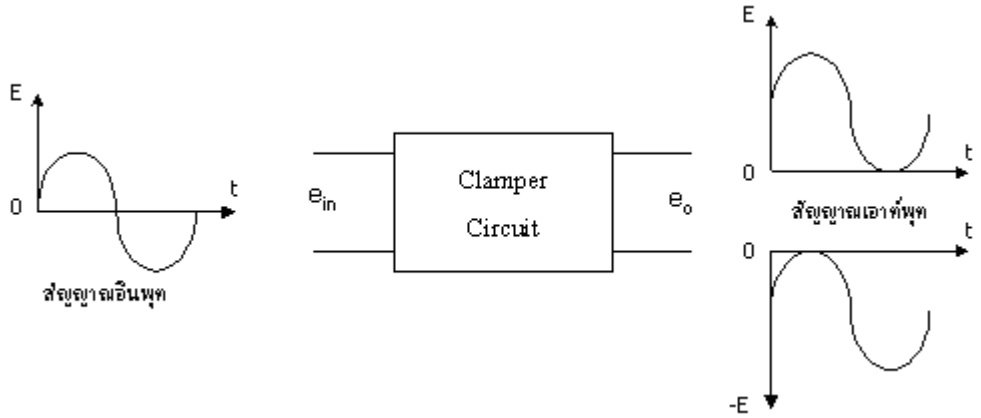
บทที่ 5

แคลมเปอร์ (Clamper circuit)

3.3 คุณสมบัติของวงจรปรับระดับแรงดัน(Clamper circuit)

วงจรปรับระดับแรงดันเป็นวงจรไฟฟ้าที่สามารถปรับและเปลี่ยนระดับของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าได้ โดยทั่วไปมักหมายถึงการเปลี่ยนแปลงหรือการปรับระดับขนาดของกระแสและแรงดันไฟสลับให้มีระดับที่ต้องการ โดยที่สัญญาณของรูปคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ และอาจจะกล่าวได้ว่า เป็นวงจรซึ่งสามารถตั้งระดับของสัญญาณกระแสตรงค่าใดๆ ก็ได้ วงจรดังกล่าวนี้บางที่ถูกเรียกว่า " วงจรเพิ่มกระแสตรง " (DC restorer circuit) หรือ " วงจรเติมกระแสตรง " (DC inserter circuit) ที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณอินพุตทุกประการ นอกจากระดับการแสตรงซึ่งเป็นระดับเปรียบเทียบเท่านั้น ที่มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 3.13

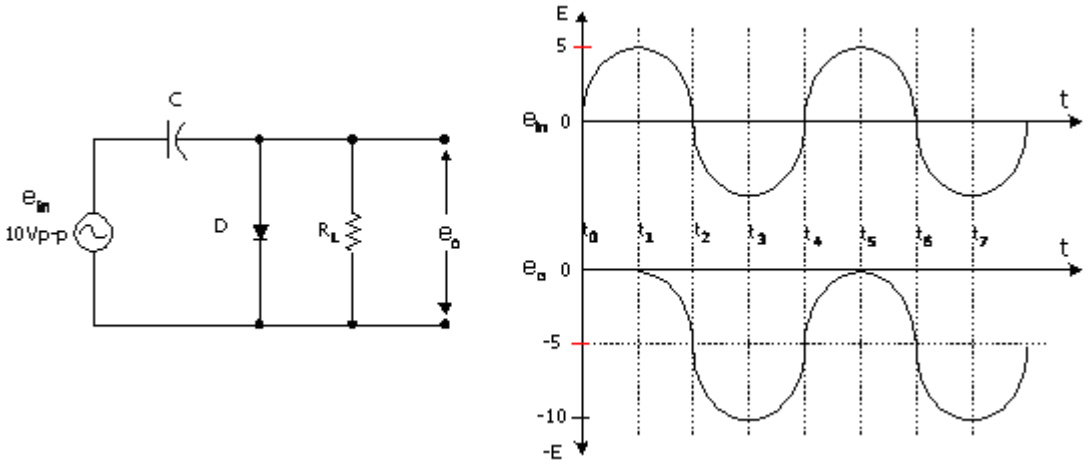


รูปที่ 3.13 แสดงคุณสมบัติของวงจรปรับระดับแรงดันรูปคลื่นของสัญญาณไซน์

วงจรปรับแรงดันแรงดันเป็นวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือไดโอด คาปาซิเตอร์และตัวต้านทานในการที่จะทำการศึกษาวงจรปรับระดับแรงดัน เราต้องมีความเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์พื้นฐานเหล่านี้เสียก่อนเพื่อจะเป็นการง่ายต่อการทำการเข้าใจ เราสามารถที่จะแบ่งวงจรปรับระดับแรงดันออกเป็น 2 แบบคือ วงจรปรับระดับรูปคลื่นแบบไม่มีไบแอส และวงจรปรับระดับแรงดับแบบมีไบแอส และเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจถึงควรจะศึกษาวงจรปรับระดับแรงดับแบบไม่มีไบแอสเสียก่อน

3.3.1 วงจรปรับระดับแรงดันแบบไม่มีไบแอส

วงจรปรับระดับแรงดันแบบไม่มีไบแอสนั้นมีหลักการง่ายๆ ดังนี้คือ ไดโอดในวงจรไม่ได้รับไบแอสจากแหล่งจ่ายไฟตรงลักษณะของวงจรปรับระดับแรงดันแบบไม่มีไบแอสอาจจะแยกได้เป็น 2 ลักษณะคือวงจรปรับระดับแรงดันลบและวงจรปรับระดับแรงดันบวกดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 และ 3.15 ตามลำดับ



รูปที่ 3.14 วงจรปรับระดับแรงดันลบและสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

1. วงจรปรับระดับแรงดันลบ

ในการวิเคราะห์วงจรนี้เราสมมุติว่าได้ไดโอดที่ใช้มีลักษณะคุณสมบัติแบบไดโอดทางอุดมคติและไม่มีทางดึงกระแสออกจากเอาต์พุต

ที่เวลา t_0- t_1 สัญญาณไซน์เริ่มจาก 0 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ ถูกป้อนเข้ามาในวงจรทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสตรงไดโอดจะมีลักษณะเป็นเหมือนสวิตช์ปิด ส่วนตัวเก็บประจุจะยังไม่ทำการสะสมประจุในช่วงนี้จนเวลาผ่านไปจึงจะทำการสะสมประจุจนมีแรงดันตกคร่อมตัวมันเองเท่ากับแรงดันอินพุตคือ 5 โวลต์ ในช่วงนี้แรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_L จะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์

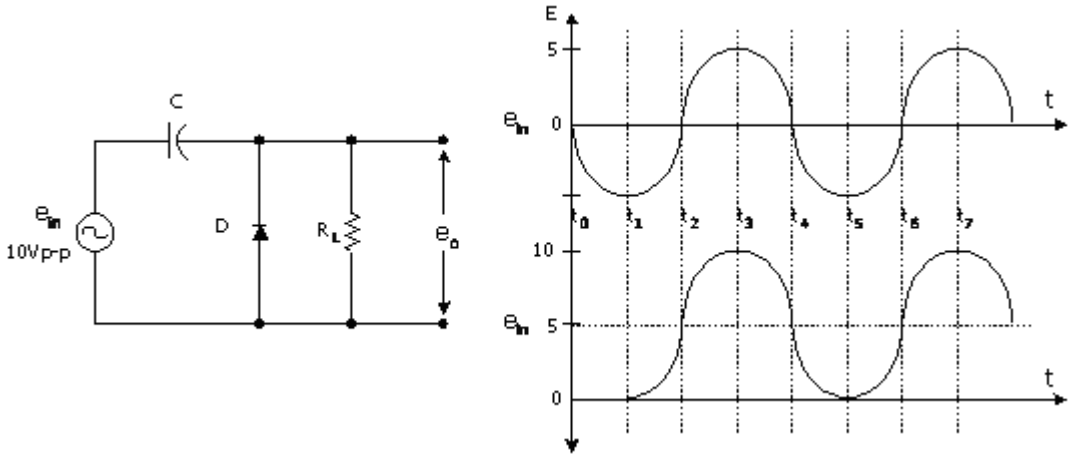
ที่เวลา t_1 - t_2 สัญญาณอินพุตรูปไซน์เริ่มมีขนาดลดลงจาก 5 โวลต์ ถึง 0 โวลต์ แรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าลดลงจาก 0 โวลต์ ถึง -5 โวลต์ ที่เวลา t_2 เนื่องจากผลรวมของแรงดันระหว่าง e_{in} กับ e_c ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอร์ฟ

ที่เวลา t2 สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้แก่วงจรมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะได้รับไบแอสย้อนกลับเสมือนสวิตช์เปิดออกเนื่องจากตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน 5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเป็น -5 โวลต์

ที่ช่วงเวลา t2 - t3 สัญญาณอินพุตจะมีค่าลดลงจาก 0 โวลต์ มาเป็น -5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น -10 โวลต์ ที่เวลา t3 เนื่องจากผลรวมของแรงดัน ein กับ eo ไดโอดจึงได้รับไบแอสย้อนกลับเป็น -10 โวลต์

ที่เวลา t3 - t4 สัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นจาก -5 โวลต์ มาเป็น 0 โวลต์ ในช่วงนี้ไดโอดก็ยังคงได้รับไบแอสย้อนกลับเหมือนเดิม แต่แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -10 โวลต์ มาเป็น -5 โวลต์ ที่เวลา t4 เนื่องจากผลรวมของแรงดันที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ผลรวมของแรงดันจึงเพิ่มขึ้นที่เวลา t4 แรงดันอินพุตมีค่าเป็น 0โวลต์ ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้แก่วงจรเอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทาน RL จะมีค่าเท่ากับ -5 โวลต์ ในช่วง

เวลา t4 - t5 แรงดันอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 โวลต์ มาเป็น 5 โวลต์ อีกครั้งระหว่างที่แรงดันอินพุตเพิ่มขึ้น ผลรวมของแรงดัน ein กับ ec มีค่าเพิ่มขึ้นจาก -5 โวลต์ มาเป็น 0 โวลต์ และการทำงานของวงจรก็จะเป็นลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่มีแรงดันอินพุตป้อนเข้าไปในวงจรอีก



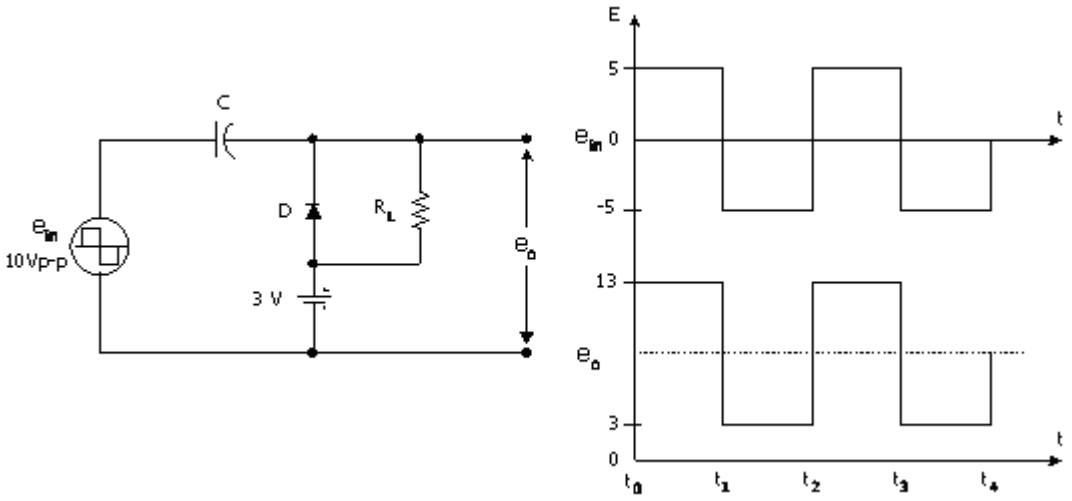
รูปที่ 3.15 วงจรปรับแรงดับบวกและสัญญาณอินพุตเอาต์พุตของวงจร

2. วงจรปรับระดับแรงดันบวก

วงจรปรับระดับแรงดันบวกแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ส่วนการทำงานของวงจรนั้นจะมีลักษณะการทำงานคล้ายๆ กับวงจรปรับระดับแรงดันลบแต่จะแตกต่างกันที่การต่อไดโอดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกัน โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงวจรปรับระดับแรงดันบวกจะมีระดับสัญญาณอยู่ในซีกบวกเมื่อวัดเทียบกับกราวด์แสดงดังรูปที่ 3.15 ในขณะที่สัญญาณเอาต์พุตของวงจรปรับระดับแรงดันลบจะอยู่ในซีกลบเมื่อเทียบกับกราวด์ ดังรูปที่ 3.14

3.3.2 วงจรปรับระดับแรงดันแบบมีไบแอส

ในหัวข้อที่กล่าวมาแล้วนั้นได้ทำการศึกษาและทำความเข้าใจการทำงานของวงจรปรับระดับแรงดันแบบไม่มีไบแอสแล้วว่าวงจรแบบไม่มีไบแอสมีลักษณะและหลักการทำงานอย่างไร ส่วนในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของวงจรปรับระดับแรงดันแบบมีไบแอสซึ่งมี 2 ลักษณะคือวงจรปรับระดับแรงดันลบและวงจรปรับระดับแรงดันบวก วงจรปรับระดับแรงดันแบบมีไบแอสเป็นวงจรที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่เหมือนกับวงจรปรับระดับแบบไม่มีไบแอส แต่วงจรปรับระดับแรงดันแบบมีไบแอสจะมีการเพิ่มแหล่งจ่ายไฟตรงเข้ามาเพื่อยกระดับของสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจร คือ ถ้าต้องการให้สัญญาณอินพุตขี่อยู่บนแรงดันไฟตรงค่าใดค่าหนึ่งซึ่งมีค่าคงที่ เราสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าแหล่งจ่ายไฟตรงที่เพิ่มเข้ามาโดยการนำแหล่งไฟตรงไปต่ออนุกรมกับไดโอดวงจรปรับระดับแรงดันบวกแบบมีไบแอสสามารถแสดงได้ดังรูปที่3.16



รูปที่ 3.16 วงจรปรับระดับแรงดันบวกแบบมีไบอัส

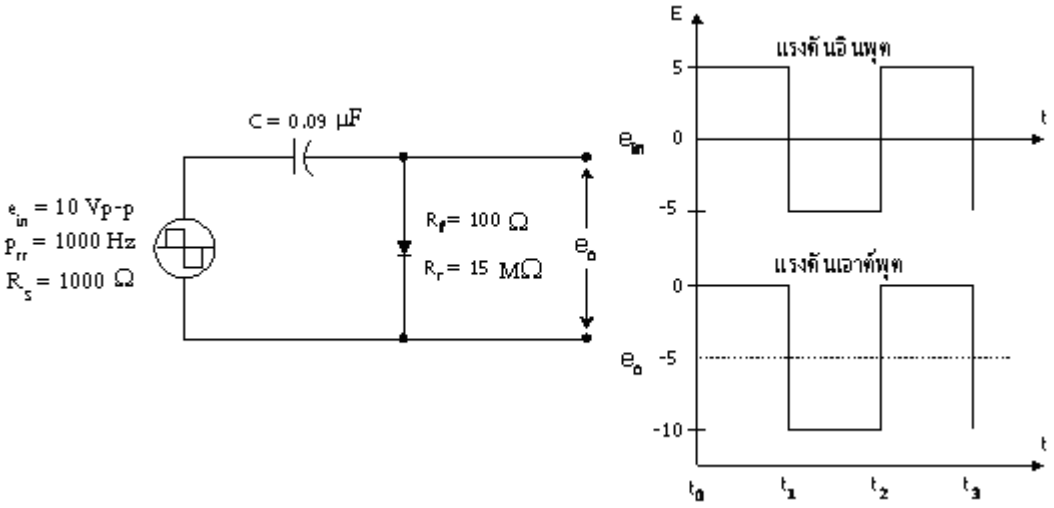
การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่แรงดันอินพุตค่า -5 โวลต์ แรงดันนี้จะช่วยเสริมกันกับแรงดันของแบตเตอรี่ในวงจรและทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสตรง ไดโอดจึงทำงานคล้ายกับเป็นสวิตช์ปิดดังนั้น แรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่คือ +3โวลต์ ตัวเก็บประจุจะทำให้มีแรงดันตกคร่อม +8 โวลต์ และทันทีที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนจาก -5 โวลต์ เป็น +5 โวลต์ แรงดันนี้จะช่วยเสริมกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุผลรวมของแรงดันอินพุตและแรงดันที่ตกคร่อมตัวก็บประจุ (+ 5 + (+8)) โวลต์ จะมีค่ามากกว่าแรงดันจากแบตเตอรี่ (-3) โวลต์ ทำให้ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับไดโอดจะทำงานคล้ายกับสวิตช์เปิด แรงดันที่เอาต์พุตจึงมีค่าเท่ากับผลร่วมของแรงดันอินพุตและแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ +13 โวลต์ นั่นคือที่เวลา t_0 แรงดันอินพุตจะเท่ากับ +3 โวลต์ ที่เวลา t_{+0} และ t_{-1} แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ +13 โวลต์ ที่เวลา t_{+1} แรงดันอินพุตมีค่าเป็น -5 โวลต์ ไดโอดจะกลายเป็นสวิตช์ปิด แรงดันเอาต์พุตจึงเป็น +3 โวลต์ ดังนั้นสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตจึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.16

3.4 พารามิเตอร์ของวงจรปรับระดับ

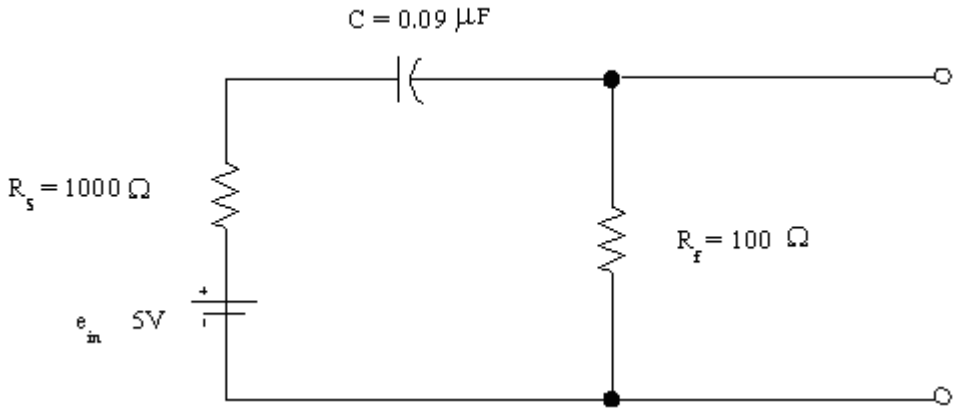
3.4.1 วงจรปรับระดับแรงดันที่ใช้งานจริง

วงจรปรับระดับแรงดันที่ใช้งานจริงหรือวงจรปรับระดับแรงดันในทางปฏิบัติแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 จะต้องคำนึกถึงค่าความต้านทานภายในตัวไดโอด ทั้งความต้านทานขณะไบแอสตรง (R_f) และความต้านทานขณะไบแอสกลับ (R_r) ตลอดจนถึงค่าความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายสัญญาณ (R_s) นอกจากค่าความต้านทานแล้ว ค่าความถี่ของสัญญาณในกรณีของการใช้สัญญาณไซน์และหาค่าอัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (p_{rr}) หรือความถี่ของการเกิดพัลส์ซ้ำ (p_{rt}) ในกรณีของการใช้การใช้สัญญาณสี่เหลี่ยม เพื่อนำไปใช้หาค่าประจุของตัวเก็บประจุที่จะใช้งานในวงจรและค่าความต้านทานโหลด (R_L) ที่เหมาะสมในวงจร

ช่วงเวลาที่ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสตรงจะต้องมีค่ามากพอเพื่อที่จะให้ตัวเก็บประจุทำการสะสมประจุได้สมบูรณ์ และในขณะนี้วงจรควรจะมีลักษณะคล้ายกับวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ซึ่งมีค่าเวลาคงที่สั้นมากดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 วงจรประระดับแรงดันลบขณะที่ยังไม่มี R_L



รูปที่ 3.18 วงจรปรับระดับแรงดันลบที่ช่วง t_{+0} - t_{-1}

ตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุผ่านค่าความต้านทาน R_S และ R_f ซึ่งเราประมาณกันว่าเวลาคงที่ที่ตัวเก็บประจุสามารถสะสมประจุและมีแรงดันเท่ากับแรงดันอินพุตได้จะใช้เวลาเป็น 5 เท่าของเวลาคงที่(τ)ของวงจร ดังนั้นช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 (ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาของพัลส์อินพุต t_p) จะต้องมีค่าเท่ากับ 5τ

ดังนั้น $$prt = \frac{1}{prr} = \frac{1}{1000} = 1000\,\mu\text{sec}$$

$$tp = \frac{prt}{2} = \frac{1000}{2} = 500\,\mu\text{sec}$$

แต่ $tp = 5\tau$

ดังนั้น $\tau = \frac{tp}{5} = \frac{500}{5} = 100\,\mu\text{sec}$

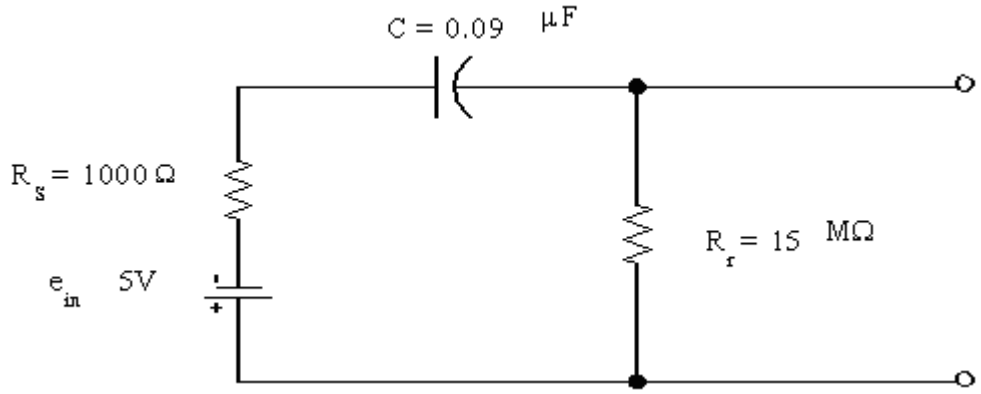
$\tau = (R_S + R_f).C$

หรือ $C = \left(\frac{\tau}{R_S + R_f}\right) = \frac{100\times10^{-6}}{1000+100}$

$C = 0.09\,\mu F$

นั้นคือเมื่อ C มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.09 μF และช่วงเวลา t_p ก็มีค่ามากพอที่ตัวเก็บประจุจะสามารถสะสมประจุและมีแรงดันได้ถึง +5 โวลต์

ในช่วงเวลาระหว่าง t_1 และ t_2 ไดโอดจะถูกให้แรงดันไบแอสย้อนกลับ ดังนั้นขณะนี้วงจรเปรียบได้กับวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ซึ่งมีค่าช่วงเวลาคงที่ยาวมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรปรับระดับแรงดันลบที่ช่วงเวลา t_{+1} - t_{-2}

3.4.2 การเลือกค่าอุปกรณ์ตามค่ามาตรฐาน

ซึ่งไดโอดจะมีค่าความต้านทานสูงกว่า (R_r) และตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าที่เหมาะสมทั้งในกรณีไบแอสตรงและกรณีไบแอสย้อนกลับกล่าวคือ ตัวเก็บประจุจะต้องไม่คายประจุในระหว่างที่ไดโอดได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ ดังนั้นถ้าแรงดันอินพุตเป็น -5 โวลต์ถูกป้อนเข้ามาเป็นเวลานานพอแล้ว ตัวเก็บประจุซึ่งเดิมมีแรงดันตกคร่อม 5 โวลต์ จะทำการสะสมประจุใหม่กระทั่งมีแรงดันเป็น 5 โวลต์ แต่ศักดาที่ขั้วจะกลับเป็นตรงกันข้าม ดังนั้น แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่เวลา t_2 หาได้โดย

$$e_C = E - (E \pm E_{CO})\varepsilon^{-t/RC}$$

โดยที่ E คือ ขนาดของแรงดันอินพุตจากช่วงเวลา t_{+1} ถึง t_{-2} ซึ่งงเท่ากับ -5 โวลต์

E_{CO} คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่เวลา t_{+1} ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์

t คือ ช่วงเวลา t_{+1} ถึง t_{-2} ซึ่งเท่ากับ 500 μsec

$$R = (R_S + R_r)$$
$$= (1\times10^3 + 15\times10^6)$$
$$= 15M\Omega$$
$$C = 0.09\ \mu F$$

ดังนั้น $e_C = -5-(-5-(-5))\varepsilon^{500\times10^{-6}/15\times10^6\times9\times10^{-8}}$

$$= +4.999\ V$$

นั่นคือ $e_C = +5V$ ที่เวลา t_{-2}

กล่าวคือปัจจัยสำคัญที่ทำให้รูปร่างของสัญญาณเอาต์เกิดการผิดเพี้ยน คือ ค่าเวลาคงที่ของ วงจร (τ) เมื่อเทียบกับค่า ช่วงเวลาที่เกิดพัลส์ (Pluse Time) ของสัญญาณพัลส์ทางอินพุต ค่าเวลาคงที่ของวงจรจำแนกเป็น 2 สภาวะคือ

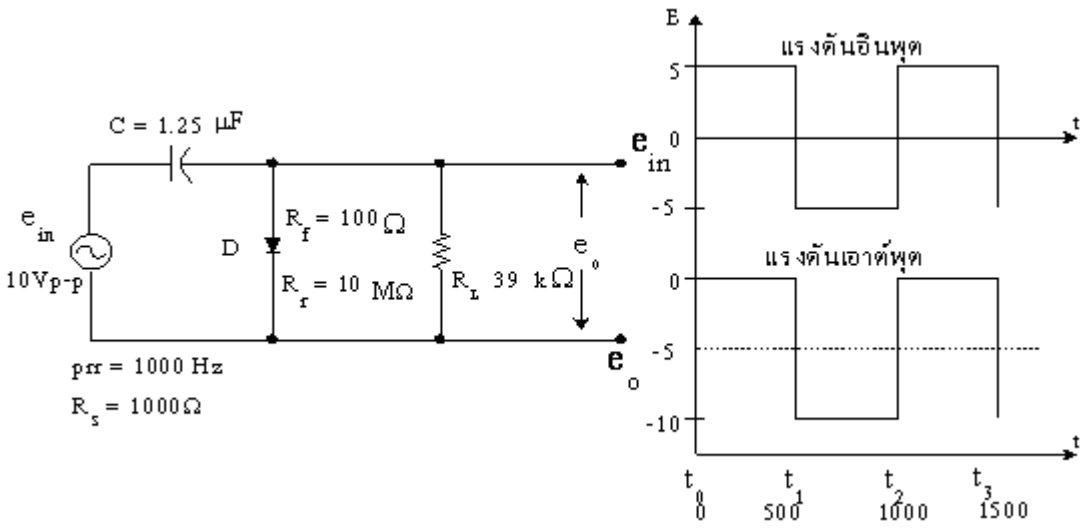
1. เมื่อไดโอดนำกระแส (ค่า τ จะมีค่าน้อย)

$$\tau = C\times(R_S + R_f)\ sec \qquad \text{..... (1)}$$

2. เมื่อไดโอดไม่นำกระแส (ค่า τ จะมีค่ามาก)

$$\tau = C\times(R_S + R_r)\ sec \qquad \text{..... (2)}$$

ในกรณีที่แรงดันอินพุตมีขนาดไม่คงที่อาจจะมีผลทำให้แรงดันที่เอาต์พุตมีระดับอยู่ทางด้านลบแทนที่จะมีระดับอยู่ที่ระดับศูนย์ ซึ่งเป็นระดับเปรียบเทียบดังนั้นเพื่อหลักเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนี้เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตมีระดับอยู่ที่ศูนย์โวลต์จริงๆ ถึงแม้ขนาดของแรงดันอินพุตจะเปลี่ยนแปลงก็ตามนั้นคือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าสูงสุดของแรงดันอินพุต เราทำได้โดยต่อตัวต้านทานเข้าไปในวงจรโดยให้ขนานกับไดโอด เพื่อเป็นสะพานให้ตัวเก็บประจุคายประจุผ่านได้แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วงจรปรับระดับแรงดันลบซึ่งถูกนำไปใช้งานจริงๆ

สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจะอยู่ที่ระดับที่ถูกต้องแน่นอน ก็ต่อเมื่อค่าความต้านทานของไดโอดขณะได้รับไบแอสย้อนกลับ (R_r) ต้องมีค่ามากกว่าตัวต้านทาน (R_L) ในวงจรมากและต้องมีค่ามากกว่า R_f ของไดโอดด้วย

หรือเขียนได้ว่า $R_r >> R_L >> R_f$

ค่าของ R_L หาได้โดย $R_L = \sqrt{R_f . R_r}$

$$= \sqrt{15\times10^{6}\times100}$$

$$= 39\ k\Omega$$

$$\tau = \left(R_S + \left(\frac{R_L . R_r}{R_L + R_r} \right) \right) . C$$

เนื่องจาก $R_L << R_r$

ดังนั้น $\tau = \left(R_S + R_L \right) . C$

$$= \left(1\times10^{3} + 39\times10^{3} \right) . C$$

$$= 40\times10^{3} . C$$

แต่ค่าของ τ จะต้องมากเป็น 100 เท่าของช่วงเวลาซึ่งไดโอดได้รับไบแอสย้อนกลับ

$\tau = 100\,tp$

$= 100\times500\ \mu sec$

$= 50\ msec$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

$$= \frac{50\times10^{-3}}{40\times10^{3}}$$

ดังนั้น $C = 1.25\ \mu F$

จบเนื้อหา บทที่ 5 วงจรแคลมเปอร์