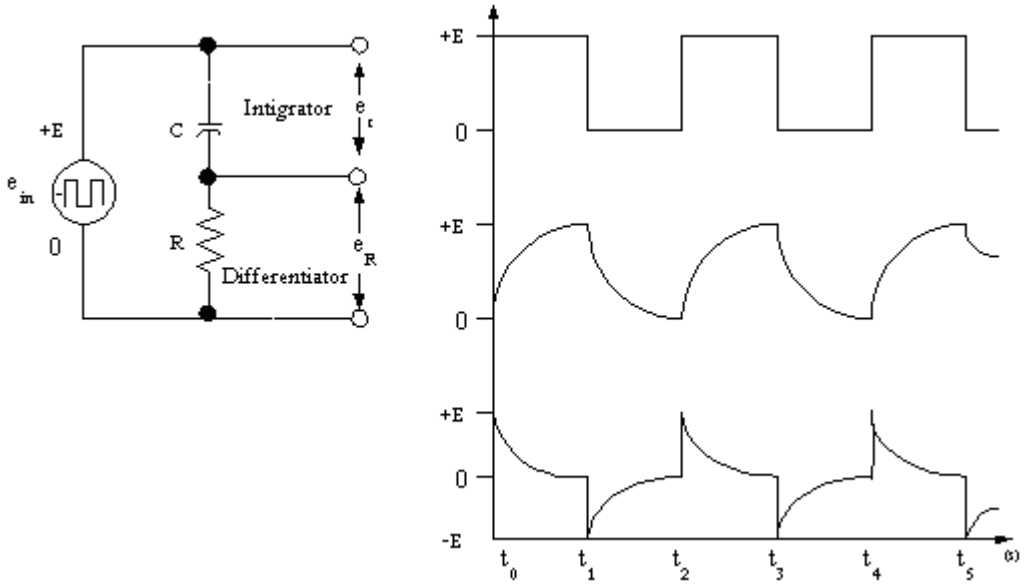
บทที่ 3

วงจรดิฟเฟอร์เรนทิเอเตอร์

2.4 คุณสมบัติของวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

วงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ ก็คือวงจรซึ่งประกอบไปด้วยตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันโดยที่เอาต์พุต ได้แก่แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน โดยทั่วไปสัญญาณแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันมักเป็นสัญญาณแรงดันรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตนี้นิยมเรียกว่า “สัญญาณดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์” เขียนเปรียบเทียบกับสัญญาณอินทิเกรเตอร์ได้ดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอินทิเกรเตอร์กับสัญญาณดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

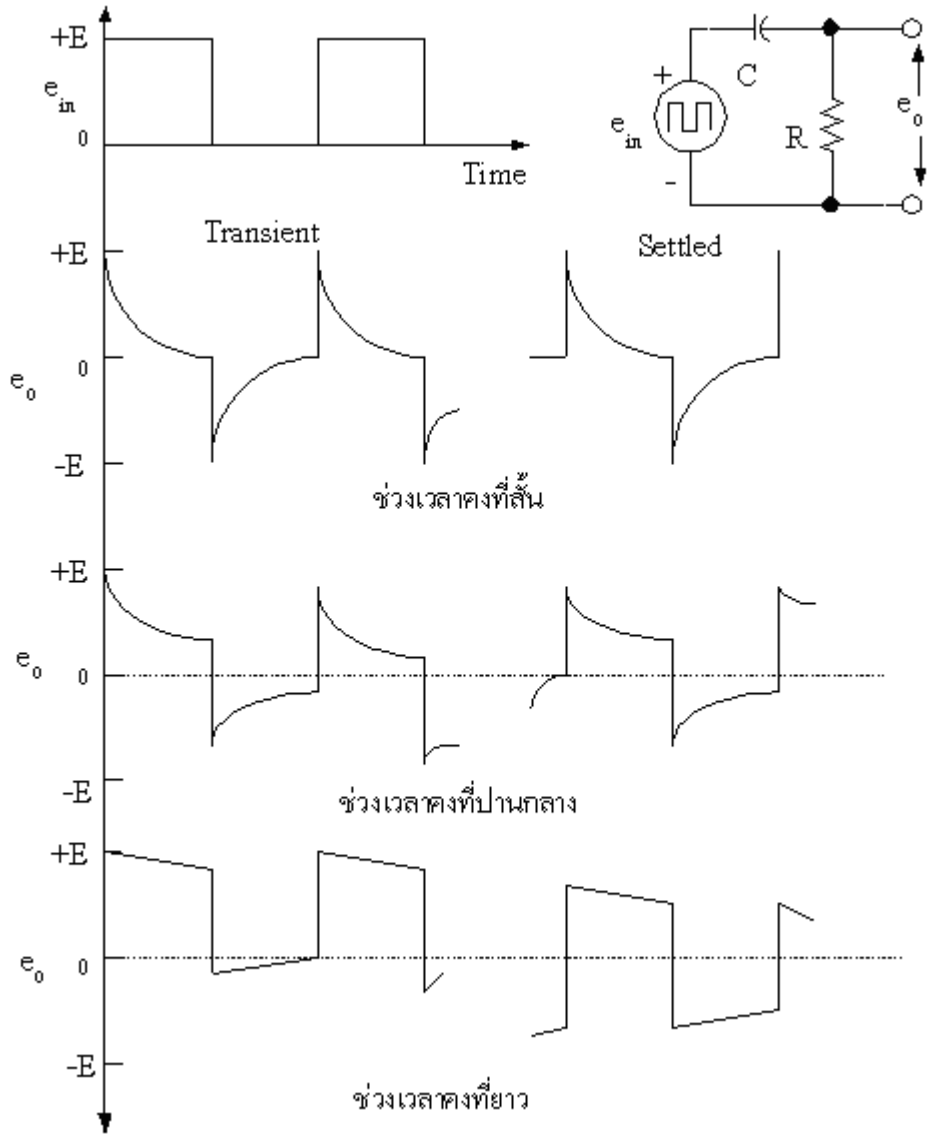
2.4.1 คำจำกัดความของสัญญาณดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

สัญญาณแรงดันดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ ได้แก่สัญญาณแรงดันของวงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนทิเอตอร์ที่ปรากฏตกคร่อมตัวต้านทาน ลักษณะของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่เวลาของวงจรนั้นๆดังแสดงในรูปที่ 2.7เป็นสัญญาณดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ของวงจรที่มีค่าเวลาต่างๆกัน

นอกจากนี้แล้ววงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ ซึ่งแสดงใน รูปที่ 2.8 ยังอาจถูกพิจารณาได้ว่าเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านประเภทความถี่สูงผ่านแบบ อาร์-ซี กล่าวคือ สัญญาณที่มีความถี่สูงจะผ่านไปได้ดีส่วนความถี่ต่ำจะถูกกรองไว้ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ สามารถพิสูจน์ให้เห็นได้โดย การพิจารณาแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรที่มีค่าเวลาคงที่นาน ๆ (รูปที่ 2.8) ซึ่งแสดงว่าสัญญาณนี้ประกอบด้วยคลื่นความถี่ย่อยรูปไซน์ที่มีค่าความถี่สูง

แตนซ์ (X_C) ของตัวเก็บประจุจะมีค่าน้อยลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังนั้นสัญญาณที่เอาต์พุตจึงมีลักษณะไม่ใช่คลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก เนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิคถูกแยกออกไป ดังนั้นลักษณะแรงดันซึ่งปรากฏที่เอาต์พุตจะเป็นกราฟรูปเอ็กโพเนนเชี่ยลดังรูปที่ 2.1 (ข)

การแสดงรูปเปรียบเทียบระหว่างคลื่นอินพุตและเอาต์พุตจะต้องทำโดยเขียนลักษณะคลื่นที่จะเปรียบเทียบอยู่บนแกนนอนของเวลาแกนเดียวกันโดยเรียงไว้ในแนวตั้งการเปรียบเทียบค่าแรงดันระหว่างอินพุตและ เอาต์พุตก็จะทำได้โดยการพิจารณาที่ตำแหน่งเวลาใดๆที่จุดเดียวกัน

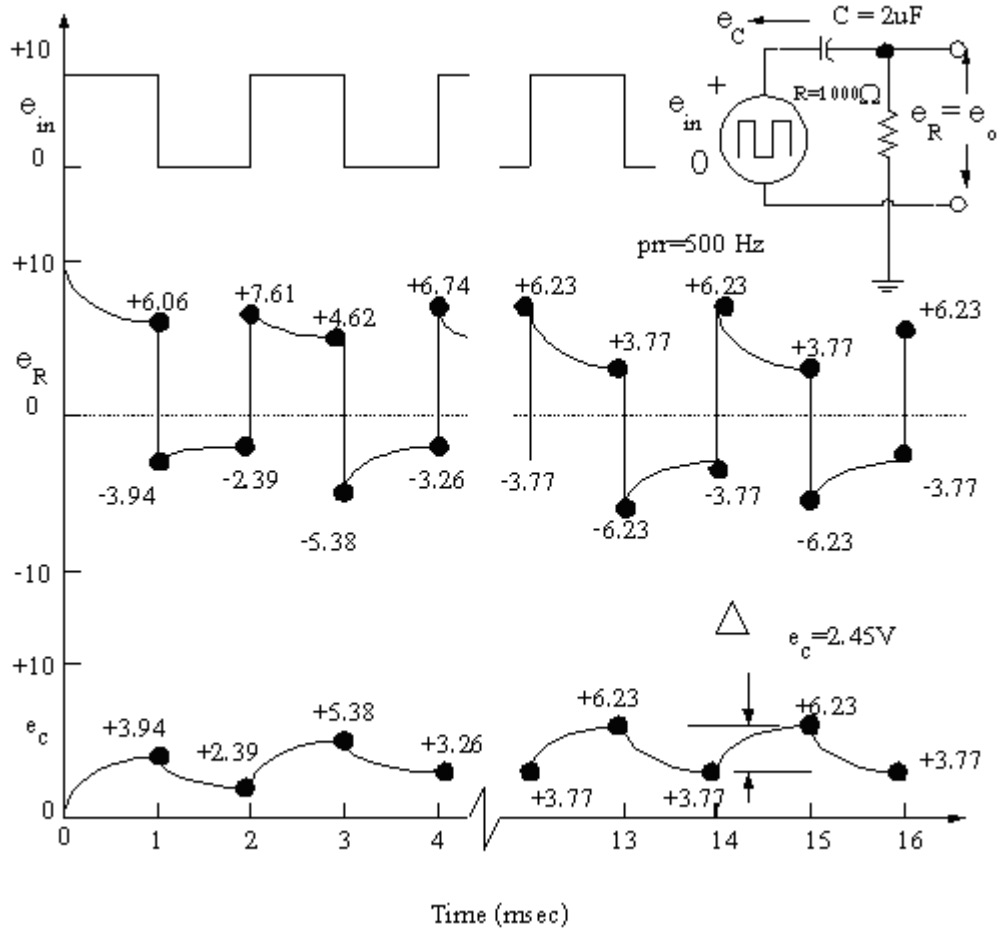


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของแรงดันดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ของวงจรที่มีค่าเวลาคงที่ (time constant) ต่างๆกัน

2.4.2 การทำงานของวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

เพื่อให้เป็นการง่ายต่อการเข้าใจ เรื่องการทำงานของวงจรชนิดนี้ เราจะพิจารณาค่าของแรงดันต่างๆซึ่งปรากฏในวงจรที่เวลา t ใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อเวลา t_0 แรงดันอินพุตคือ ศูนย์ โวลต์ และเป็น +10 โวลต์ กล่าวคือที่ t_0 แรงดันอินพุตจะเป็นศูนย์ และทันทีทันใดหลังจากเวลา t_0 แรงดันจะมีค่าเป็น +10 โวลต์ ดังนั้นเพื่อให้

เห็นความแตกต่างกันของแรงดันที่กล่าวมานี้เวลา t_0 จึงมักถูกพิจารณาได้ว่า เมื่อเวลาก่อน t_o ซึ่งค่าแรงดันอินพุตเป็น +10 โวลต์ เขียนแทนด้วย t_{+0} ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงค่าแรงดันต่าง ๆ ที่ปรากฏในวงจรที่เวลา t ใด ๆ และ
แสดงความหมายของเวลาทันที ทันใด ก่อนและหลัง t_0

ที่เวลา t_o แรงดันซึ่งตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าศูนย์ โวลต์ ดังนั้นแรงดันทั้งหมดของสัญญาณอินพุตจะปรากฏตกคร่อมที่ตัวต้านทาน(R) ทั้งนี้เป็นไปตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์นั้นเองสัญญาณอินพุต +10 โวลต์ จะถูกป้อนเข้าไปเป็นเวลา 1 msec ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ตัวเก็บประจุจะมีเวลาในการสะสมประจุกระทั่งเวลาเมื่อเวลาผ่านไป 1 msec เกิดมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ +3.94 โวลต์ ดังนั้นจากกฎเคอร์ชอฟฟ์เช่นกัน แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานก็จะมีค่าลดลง กระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 1 msec จะลดลงเหลือ +6.06โวลต์ ซึ่งที่เวลาใดๆก็ตามในช่วง 1 msec แรกนี้ผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวต้านทานมีค่าเท่ากับ +10 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันของสัญญาณอินพุตหรืออาจแสดงให้เห็นได้โดย

$$e_R = e_{in} - e_c$$

$$e_R = (+10) - (+3.94)$$

$= +6.06$ V เมื่อเวลาผ่านไป 1 msec (t_{-1})

และที่จุดเวลา t_{+1} สัญญาณแรงดันอินพุตจะไม่ปรากฏกล่าวคือมีค่าเป็นศูนย์โวลต์ ดังนั้นที่แหล่งจ่ายแรงดันจึงเปรียบเสมือนถูกลัดวงจรตัวเก็บประจุขณะนี้มีแรงดันตกคร่อมอยู่แล้ว 3.94 โวลต์ จะทำหน้าที่คล้ายกับแหล่งจ่ายแรงดันโดยทำการคายประจุออกผ่านตัวต้านทานในวงจร จึงมีผลทำให้คล้ายกับว่าตัวต้านทาน ขณะนี้มีแรงดันตกคร่อม –3.94 โวลต์ อย่างทันทีทันใด เมื่อเปรียบเทียบกับศักดาที่กราวด์ ดังนั้นแรงดันที่เอาต์พุตที่ตำแหน่ง t_{+1} จึงมีค่าเป็น –3.94 โวลต์ เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุออกที่แรงดันที่ตกคร่อมจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเวลาผ่านไปอีก 1 msec (จากจุด 1 msec ~ 2 msec) แรงดันจะลดลงจาก +3.94 โวลต์ เป็น +2.39โวลต์ ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้แรงดันที่อินพุตมีค่าเป็น 0โวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุนั่นเอง แต่แรงดันที่ตกคร่อมกับตัวต้านทานจะมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ ดังนั้นที่แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น –2.39โวลต์

ที่เวลา t_{+2} สัญญาณแรงดันที่อินพุตมีค่า +10 โวลต์ อีกครั้งหนึ่งและขณะนี้ที่ตัวเก็บประจุมีแรงดันตกคร่อมเหลืออยู่ 2.39 โวลต์ และยังคงทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันเช่นเดิมดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน จะมีค่าเท่ากับผลต่างของแรงดันทั้งสองคือ (+10) - (+2.39) = +7.61 V นั่นคือที่ t_{+2} สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ +7.61 โวลต์ อย่างทันทีทันใด (ดังในรูปที่ 2.9)

และในช่วงเวลาจาก 2 msec ถึง 3 msec ตัวเก็บประจุจะเริ่มสะสมประจุ (charge) อีกครั้งหนึ่งเนื่องจากแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ +10 โวลต์ ดังนั้นตัวเก็บประจุจะเริ่มสะสมประจุจาก +2.39 โวลต์ ที่เวลา t_{+2} กระทั่งเวลา t_{-3} ทำให้มีแรงดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นเป็น +5.38 โวลต์ ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการสะสมประจุ และมีแรงดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานก็จะมีค่าน้อยลงเนื่องจากผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ และความต้านทานจะต้องมีค่าคงที่ และเท่ากับแรงดันที่อินพุตเสมอ ดังนั้นที่เวลา t_{-3} แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะลดลงเหลือ +4.62 โวลต์ จากนั้นการคายประจุและการสะสมประจุของตัวเก็บประจุก็จะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันเช่นนี้เรื่อยไป กระทั่งสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตจะมีลักษณะเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเราสังเกตุเห็นได้ในจอภาพออสซิลโลสโคป

สมการคายประจุ (Discharge) อาจนำมาใช้ เพื่อหาค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ ขณะที่ตัวเก็บประจุกำลังทำการสะสมประจุ (charge) ได้โดย

จาก $e_C = E \cdot \varepsilon^{-t/RC}$

ดังนั้น $$e_R = E \cdot \varepsilon^{-t/RC} \quad \text{..... (3.1)}$$

โดยที่

e_R คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานขณะที่ตัวเก็บประจุกำลังสะสมประจุ

E คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่เวลาเริ่มต้นก่อนทำการสะสมประจุ

ดังนั้นถ้าหากนำสมการ 3.1 มาพิจารณาในการหาค่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 3.3 จะสามารถทำได้ดังนี้

e_R ที่เวลา t_{-1}

$t = t_P = 1$ msec, $\tau = RC = 2$ msec, $E = +10$ V

ดังนั้น $e_R = E.\varepsilon^{-t/RC}$

$= (+10).\varepsilon^{-(1\times10^{-3})/(2\times10^{-3})}$

$= (+10).\varepsilon^{-0.5}$

$= +6.06$ V ที่เวลา t_{-1}

e_R ที่เวลา $t_{-1} = -e_C$

แต่ e_C ที่เวลา $t_{+1} = e_C$ ที่เวลา t_{-1}

$= e_{in} - e_R$ ที่เวลา t_{-1}

$= 10 - 6.06$ V

$= +3.94$ V ที่เวลา t_{-1}

นั่นคือ e_R ที่เวลา $t_{+1} = -(+3.94)$

$= -3.94$ V ที่เวลา t_{+1}

จากเวลา t_1 ถึง t_2 แรงดันที่เอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะเปลี่ยนแปลงจาก –3.94 โวลต์ ไปยังศูนย์โวลต์ ดังนั้น

e_R ที่เวลา t_{-2}, $t = 1$ msec, $\tau = RC = 2$ msec, $E = -3.94$ V

$e_R = E.\varepsilon^{-t/RC}$

$e_R = (-3.94).\varepsilon^{-0.5}$

$= 2.39$ V ที่เวลา t_{-2}

e_R ที่เวลา t_{+2} , สัญญาณถูกป้อนเข้ามาอีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้น

$e_R = e_{in} + e_C$ ที่เวลา t_{-2}

แต่ที่เวลา $t_{-2} = e_R$ ที่เวลา t_{-2}

$= -2.39$ V

ดังนั้น e_R ที่เวลา $t_{+2} = (+10) + (-2.39)$

$= +7.61$ V ที่เวลา t_{+2}

และในทำนองเดียวกันนี้เราก็สามารถหาค่าของแรงดันเอาต์พุตที่เวลาต่อๆไปได้ซึ่งคำนวณได้จัดไว้ในตารางที่ 2.2

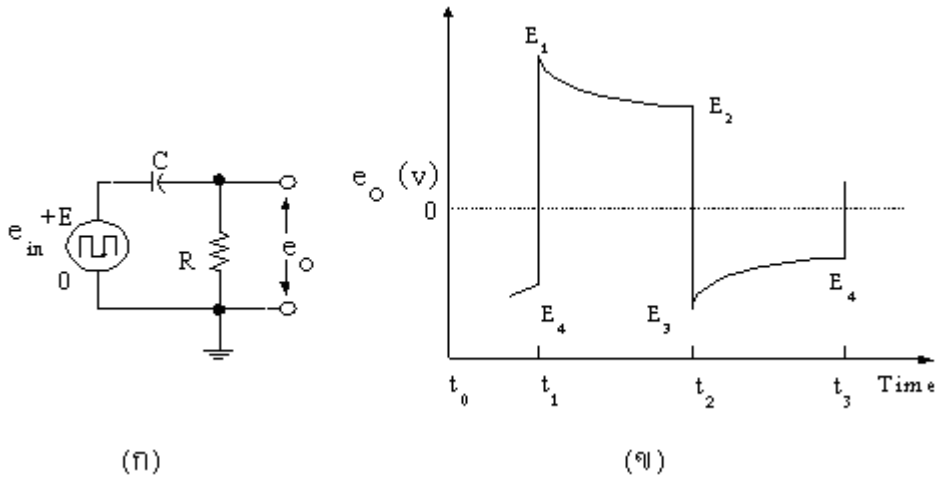
เวลา t( )	e_R (โวลต์)		e_C (โวลต์)
msec	t —( )	t +( )	t ( )
0	0	+10	0
1	+6.06	-3.94	+3.94
2	-2.39	+7.61	+2.38
3	+4.62	-5.38	+5.38
4	-3.26	+6.74	+3.26
5	+4.08	-5.92	+5.92
6	-3.58	+6.42	+3.59
7	-3.58	-6.11	+6.11
8	-3.77	+6.23	+3.71
9	+3.78	-6.22	+6.19
10	-3.77	+6.23	+3.75
11	+3.77	-6.23	+6.21
12	-3.77	+6.23	+3.76
13	+3.77	-6.23	+6.22
14	-3.77	+6.23	+3.77
15	+3.77	-6.23	+6.23
16	-3.77	+6.23	+3.77

ตารางที่ 2.2 แสดงแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อม อาร์-ซี ที่เวลาต่างๆกัน

จากตารางคำตอบข้างบนนี้จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปราว 8 msec ต่อจากนั้นลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตจะมีลักษณะเหมือนกัน และซ้ำ ๆ กันไปโดยตลอด และลักษณะนี้ก็คือ รูปคลื่นที่เราสามารถวัดได้และแสดงที่จอภาพของออสซิลโลสโคป ซึ่งเรียกกันว่า "รูปคลื่นเข้าที่"(settled waveform)

2.5 ลักษณะรูปคลื่นเอาต์พุตของวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

2.5.1 การหาลักษณะของ " รูปคลื่นเข้าที่" โดยตรง



รูปที่ 2.10 (ก) แสดงวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์และ
(ข) ลักษณะของ " รูปคลื่นเข้าที่ " ปรากฏด้านเอาต์พุตของวงจร

โดยการพิจารณาจากรูปที่ 2.10 (ก) ซึ่งเป็นวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์และมี " รูปคลื่นเข้าที่ " (Settled waveform) ที่ปรากฏด้านเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ข) ดังนั้น ถ้าหากเรารู้ค่าของ E_1 เราก็สามารถแสดงค่าของ E_2 ในเทอมของ E_1 ได้และในทำนองเดียวกัน ถ้าหากเรารู้ค่าของ E_3 เราก็สามารถแสดงค่าของ E_4 ในเทอมของ E_3 ได้ทั้งนี้โดยการใช้สมการที่ 3.1

ดังนั้นจาก $$e_R = E \cdot \varepsilon^{-t/RC}$$

จะได้ว่า $$E_2 = E_1 \cdot \varepsilon^{-t/RC} \quad \text{..... (3.2)}$$

และ $$E_4 = E_3 \cdot \varepsilon^{-t/RC} \quad \text{..... (3.3)}$$

นอกจากที่เวลา t_1 และ t_2 ค่าของแรงดันรวมทั้งหมดที่ตกคร่อมส่วนต่าง ๆ ในวงจรจะมีค่าเท่า-กับแรงดันของสัญญาณอินพุต

นั่นคือ $$E_1 - E_4 = E \quad \text{..... (3.4)}$$

และ $$E_2 - E_3 = E \quad \text{..... (3.5)}$$

จะเห็นว่าจากสมการ (3.2), (3.3), (3.4) และ (3.5) สามารถหาค่าของ E_1, E_2, E_3 และ E_4 ได้หรืออาจพิจารณา

จากสมการ (3.4) $$E_1 = E + E_4 \quad \text{..... (3.6)}$$

แทนค่า E_1 ในสมการ (3.2)

$$E_2 = E_1 . \varepsilon^{-t/RC}$$

$$= (E + E_4) . \varepsilon^{-t/RC}$$

หรือ

จากสมการ (3.5) $$E_2 = \frac{E + E_4}{\varepsilon^{+t/RC}} \quad \text{..... (3.7)}$$

แทนค่าในสมการ (3.3) $$E_3 = E_2 - E \quad \text{..... (3.8)}$$

$$E_4 = E_3 . \varepsilon^{-t/RC}$$

$$= (E_2 - E) . \varepsilon^{-t/RC}$$

หรือ $$E_4 = \frac{E_2 - E}{\varepsilon^{+t/RC}} \quad \text{..... (3.9)}$$

จากสมการ 3.7 และ 3.9 เราสามารถหาค่า E_2 และ E_4 ได้และในที่นี้เราจะลองใช้วิธีการดังกล่าวนี้ หาค่าของ " รูปคลื่นเข้าที่ " ของวงจรในรูปที่ 3.3

โดยที่ $e_{in} = E = +10 \text{ V}$

$t = t_p = 1 \text{ msec}$

$\tau = RC = 2 \text{ msec}$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.7 $$E_2 = \frac{E - E_4}{\varepsilon^{+1\times10^{-3}/2\times10^{-3}}}$$

$$= \frac{10 + E_4}{1.65}$$

$$E_2 = 6.06 + 0.606\ E_4 \quad \text{..... (3.10)}$$

จากสมการที่ 3 $E_4 = \frac{E_2 - E}{\varepsilon^{+1\times10^{-3}/2\times10^{-3}}}$

$$E_4 = 0.606E_2 - 6.06 \quad E_4 = 0.606E_2 - 6.06 \qquad \text{..... (3.11)}$$

คูณสมการ (3.10) ด้วย 0.606

ดังนั้น $0.606E_2 = 3.67 + 0.367.E_4$

หรือ $$0.367E_4 = 0.606E_2 - 3.67 \qquad \text{..... (3.12)}$$

สมการ (3.11) ลบด้วยสมการ (3.12)

$$0.633E_4 = -2.39$$

นั่นคือ $E_4 = -3.77\ V$

แทนค่า E_4 ในสมการ (3.10) เพื่อหาค่า E_2

$$E_2 = 6.06 + 0.606 \times (-3.77)$$
$$= +3.78\ V$$

ดังนั้น $E_1 = E + E_4 = (+10) + (-3.77)$
$$= +6.23\ V$$

และ $E_3 = E_2 - E = (+3.78) - (+10)$
$$= -6.22\ V$$

นั่นคือ $E_1 = +6.23\ V$

$E_2 = +3.78\ V$

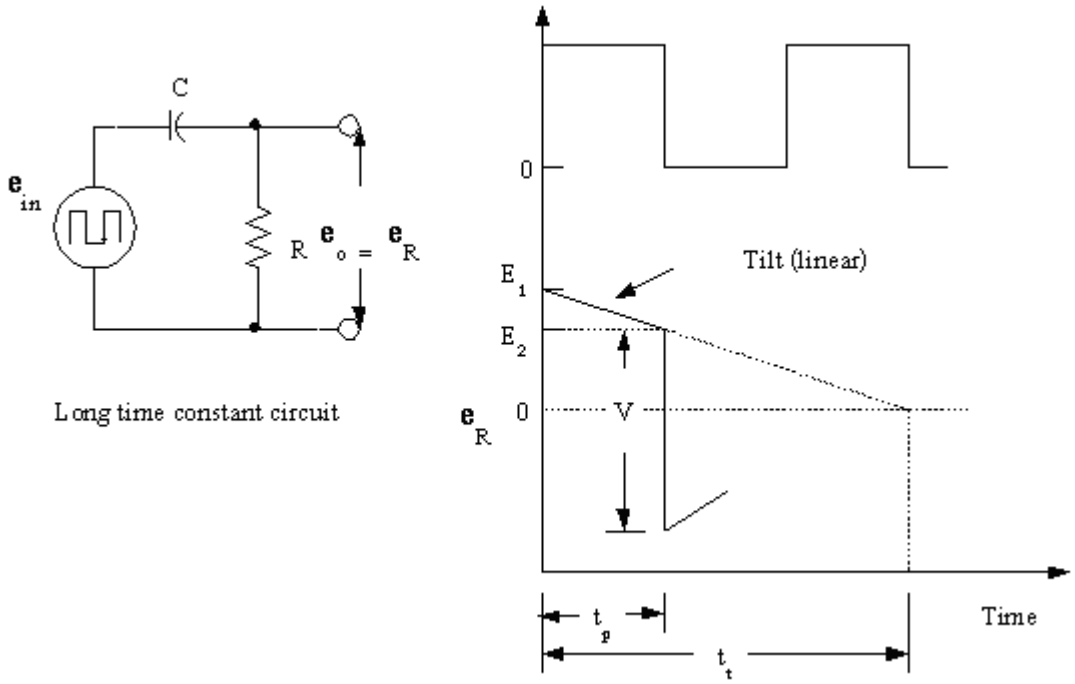
$E_3 = -6.22\ V$

และ $E_4 = -3.77\ V$

ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นตัวกำหนดลักษณะของ “รูปคลื่นเข้าที่” ที่เราต้องการนั่นเองนอกจากนี้แล้วเป็นที่น่าสังเกตว่า แรงดันเอาต์พุตของวงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ มักจะหมายถึงลักษณะของคลื่นแรงดันเอาต์พุตของวงจร อาร์-ซี ที่มีค่าเวลาคงที่สั้น ๆ ซึ่งลักษณะของแรงดันดังกล่าวนี้ มีประโยชน์มากในการกำหนดช่วงเวลาและการกระตุ้นในวงจรมัลติไวเบรเตอร์ (multivibrator circuits) ทำงานซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อๆ ไป

2.5.2 ช่วงเวลาทิลท์ (tilt time)

จากรูปสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทาน ของวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีค่าเวลาคงที่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าเป็นลักษณะของแรงดันเอาต์พุตของวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์แบบที่มีค่าช่วงเวลาคงที่มาก (τ มีค่าสูง) ซึ่งในรูปนี้การลดลงของแรงดันจาก E_1 อย่างเอ็กโพเนนเชี่ยล นั้นเราประมาณว่าเป็นการลดลงอย่างเชิงเส้น และเมื่อลากต่อเส้นตรงนี้ออกไปกระทั่งตัดกับระดับ e_R ที่มีค่าเป็นศูนย์แล้ว ช่วงเวลาจากระดับ E_1 ถึงจุดตัดนี้เราเรียกว่า เวลาทิลท์ ใช้เขียนแทนด้วย t_t และอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ t_p กับเวลาทิลท์ t_t เราเรียกว่า แฟรคชั่นแนลทิลท์ (fractional tilt) เขียนด้วยตัว P



รูปที่ 2.11 แสดงวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีค่าเวลาคงที่มากและรูปคลื่นเอาต์พุต

นั่นคือ $$P = \frac{t_P}{t_t}$$ ..... (3.13)

เมื่อ P คือ แฟรคชั่นแนลทิลท์

t_p คือ ความกว้างของพัลส์ (วินาที)

t_t คือ เวลาทิลท์ (วินาที)

แต่การวัดหาค่าของ t_t แล้วแทนลงในสมการ (3.13) เพื่อหาค่าของ P นั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยากในทางปฏิบัติที่นิยมกันก็คือการหาค่าของ P โดยแสดงรูปอัตราส่วนของแรงดัน โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.11

$$P = \frac{E_1 - E_2}{\left(\frac{V}{2}\right)} \qquad \text{.....(3.14)}$$

โดยที่ E_1 คือ ค่าของแรงดันที่สูงที่สุด

E_2 คือ ค่าของแรงดันที่ลดลงมาจาก E_1 ถึงเวลาที่ t_p

V คือ ขนาดของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เวลา t_p

ซึ่งสมการ (3.14) ใช้เพื่อหาค่าของ P เมื่อรู้ค่าของ P แล้วจากการใช้สมการ (3.13) เราก็สามารถหาค่าของ “ เวลาทิลท์ ” (t_t) ได้

ตัวอย่างที่ 3.2 ถ้าแรงดันอินพุตตาม รูปที่ 2.11 เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส มีความถี่ 5 kH_Z ค่าแรงดัน V = 18 V และแรงดัน $E_1 - E_2$ = 2 V จงหาค่าแฟรคชั่นแนลทิลท์ (P) และช่วงเวลาทิลท์ (t_t)

วิธีทำ

จาก $P = \frac{E_1 - E_2}{(\frac{V}{2})}$

เมื่อ $E_1 - E_2 = 2\ V,\ V = 18\ V$

$$P = \frac{2}{18/2} = \frac{2}{9} = 0.222$$

จาก $T = \frac{1}{f}$

เมื่อ $f = 5\ kHz$

$$T = \frac{1}{5\times10^3 H_Z} = 200\mu S$$

$$t_P = \frac{T}{2} = \frac{200 \times 10^{-6}}{2}$$

$$t_P = 100\mu S$$

จาก

$$P = \frac{t_P}{t_t}$$

หรือ

$$t_t = \frac{t_P}{P}$$

$$= \frac{100 \times 10^{-6}}{0.222}$$

ดังนั้น $t_t = 450\,\mu S$

จบเนื้อหา บทที่ 3 วงจรดิฟเฟอร์เรนทิเอเตอร์