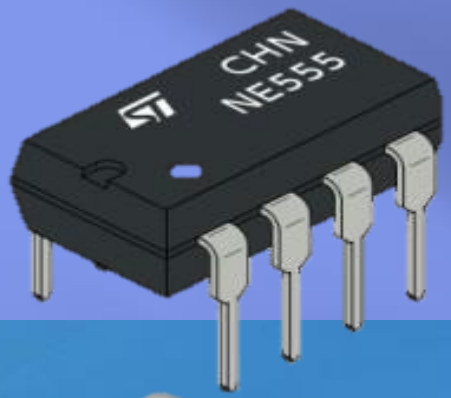
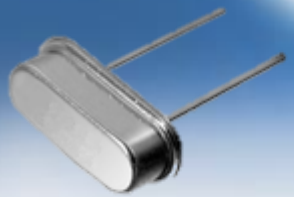
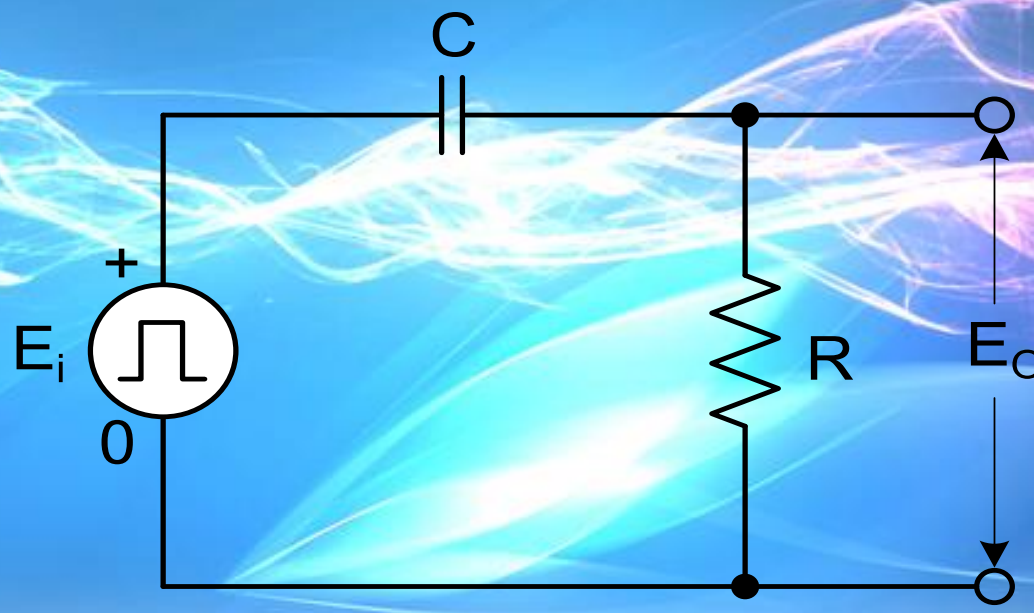



# อินทิเกรเตอร์
# และดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์






**2105-2006 วงจรพัลส์และสวิตชิง**

# 3.1วงจรกรองและปรับแต่งรูปคลื่นแบบ RC

วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit) แบบ RC เป็นวงจรที่ทำหน้าที่กำหนดย่านความถี่ผ่านตามต้องการโดยใช้ตัว R และตัว C มาประกอบวงจรร่วมกัน กำหนดค่าใช้งานตามต้องการ ทำให้วงจรสามารถกำหนดการกรองผ่านย่านความถี่คลื่นไซน์ที่ต้องการได้ ทั้งย่านความถี่ต่ำ และย่านความถี่สูง

วงจรปรับแต่งรูปคลื่นสัญญาณ (Signal Wave Shaping Circuit) แบบ RC เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนรูปร่างสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม โดยใช้ตัว R และตัว C มาประกอบวงจรร่วมกัน กำหนดค่าใช้งานตามต้องการ ทำให้วงจรสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ให้เปลี่ยนแปลงไปเป็นคลื่นอินทิเกรต หรือคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอตได้

# 3.1วงจรกรองและปรับแต่งรูปคลื่นแบบ RC (ต่อ)

การทำงานของวงจรปรับแต่งรูปคลื่นแบบ RC รูปคลื่นสัญญาณที่ได้ออกมาขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ของวงจร RC (RC Time Constant) ที่ต่อใช้งาน สามารถคำนวณหาค่าได้ โดยนำค่าความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม($\Omega$) คูณด้วยค่าความจุมีหน่วยเป็นฟารัด(F) ผลที่ได้ออกมาเป็นเวลาในหน่วยวินาที (s) ค่าเวลาคงที่วงจร RC เป็นค่าเวลาที่ตัว C ประจุแรงดันเก็บไว้ภายในตัวมีค่าแรงดันประมาณ 63 % ของแรงดันสูงสุดที่ป้อนเข้า หาได้จากสมการดังนี้

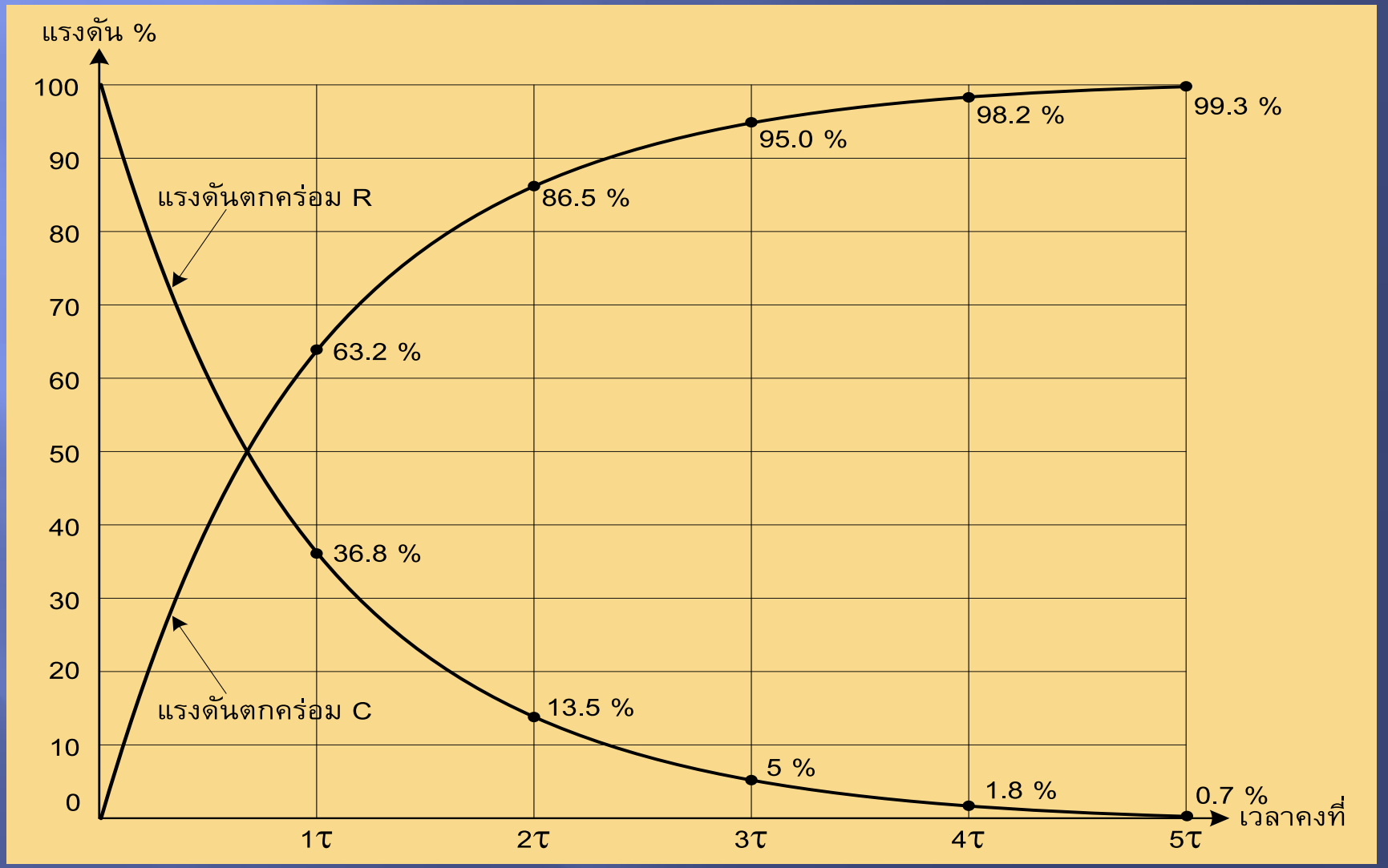
$$\tau = RC \quad s$$

เมื่อ $\tau$ (ทาว) = เวลาคงที่ หน่วย s

R = ความต้านทาน หน่วย $\Omega$

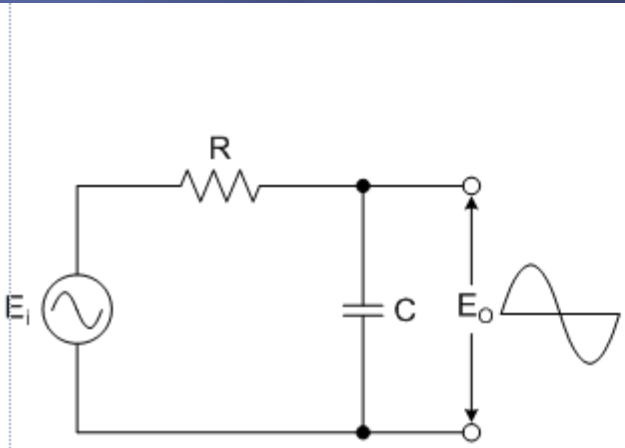
C = ความจุ หน่วย F

# กราฟมาตรฐานของเวลาคงที่แบบ RC

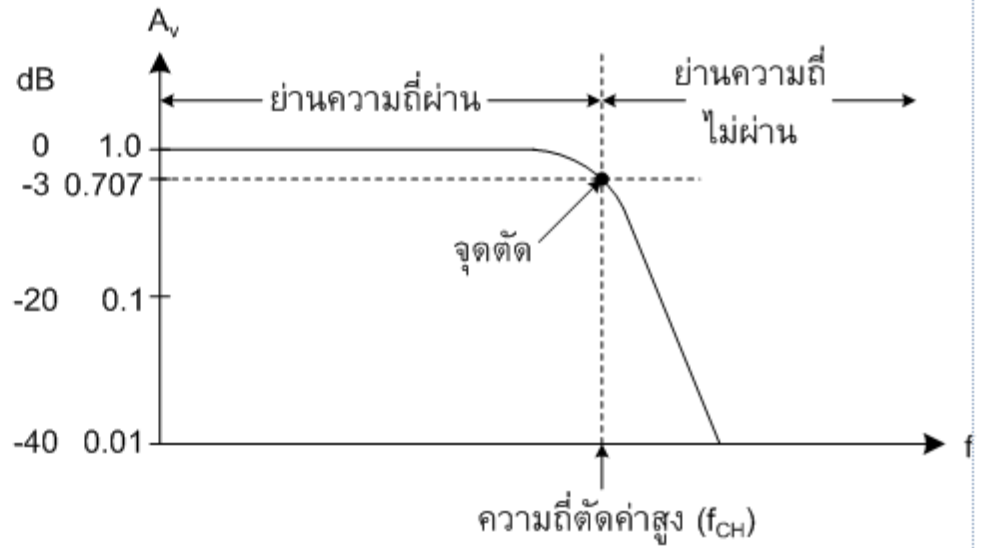


# 3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ RC

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ RC (RC Low – Pass Filter Circuit) เป็นวงจรกรองย่านความถี่ต่ำผ่านแบบเบื้องต้น โดยอาศัยคุณสมบัติในการทำงานของค่าอุปกรณ์ R และ C ที่ใช้งานในการกำหนดย่านความถี่ต่ำผ่านออกเอาต์พุตในย่านความถี่ที่กำหนด ถ้าความถี่ที่ป้อนเข้ามามีค่าสูงกว่าความถี่ที่กำหนดไว้วงจรไม่ยอมให้ความถี่นั้นผ่านไปได้ ความถี่ที่ถูกกำหนดไม่ให้ผ่านเรียกว่า ความถี่ตัด หรือความถี่คัตออฟ (Cutoff Frequency)




(ก) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ RC




(ข) กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ต่ำผ่าน

# 3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ RC (ต่อ)

สามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราขยายแรงดันและความถี่ตัดของวงจรได้ดังนี้

เมื่อ $A_{VL}$ = อัตราขยายแรงดันของวงจรที่ความถี่ต่ำ

$E_o$ = แรงดันคลื่นไซน์ออกเอาต์พุต หน่วย V

$E_i$ = แรงดันคลื่นไซน์ทางอินพุต หน่วย V

$f_U$ = ความถี่ใช้งาน หน่วย Hz

$f_{CH}$ = ความถี่ตัดที่ค่าความถี่สูง หน่วย Hz

R = ค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร หน่วย Ω

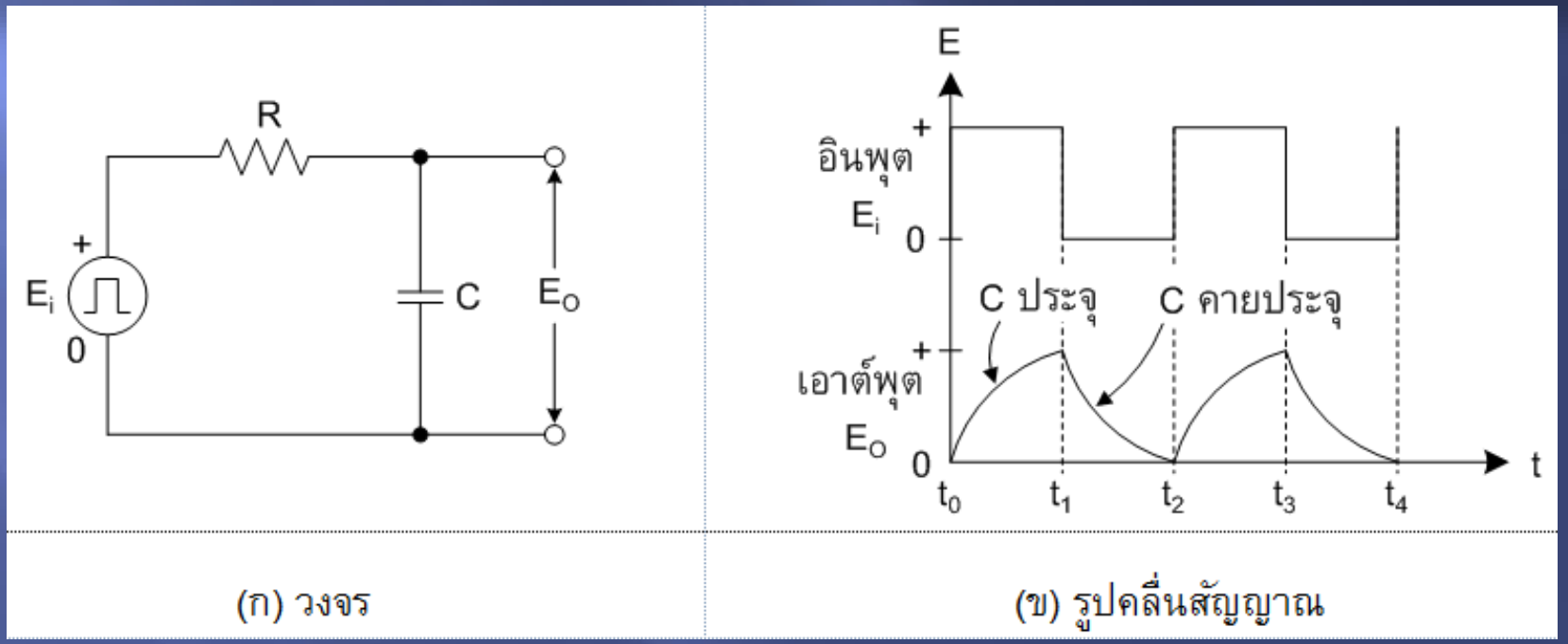
C = ค่าความจุที่ใช้ในวงจร หน่วย F

$$A_{VL} = \frac{E_o}{Ei} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{f_U}{f_{CH}}\right)^2}}$$

$$f_{CH} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{Hz}$$

# 3.3 วงจร RC อินทิเกรเตอร์

วงจร RC อินทิเกรเตอร์ (RC Integrator) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) จัดวงจรทำงานเหมือนกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ RC ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 แต่เรียกชื่อแตกต่างกัน เพราะนำไปใช้งานกับสัญญาณไฟฟ้าในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม หรือคลื่นพัลส์ วงจร RC อิทิเกรเตอร์จะทำให้คลื่นสี่เหลี่ยมที่ส่งเข้ามาผ่านออกเอาต์พุตเกิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปกลายเป็นสัญญาณคลื่นอินทิเกรต




(ก) วงจร

(ข) รูปคลื่นสัญญาณ

# 3.3 วงจร RC อินทิเกรเตอร์ (ต่อ)

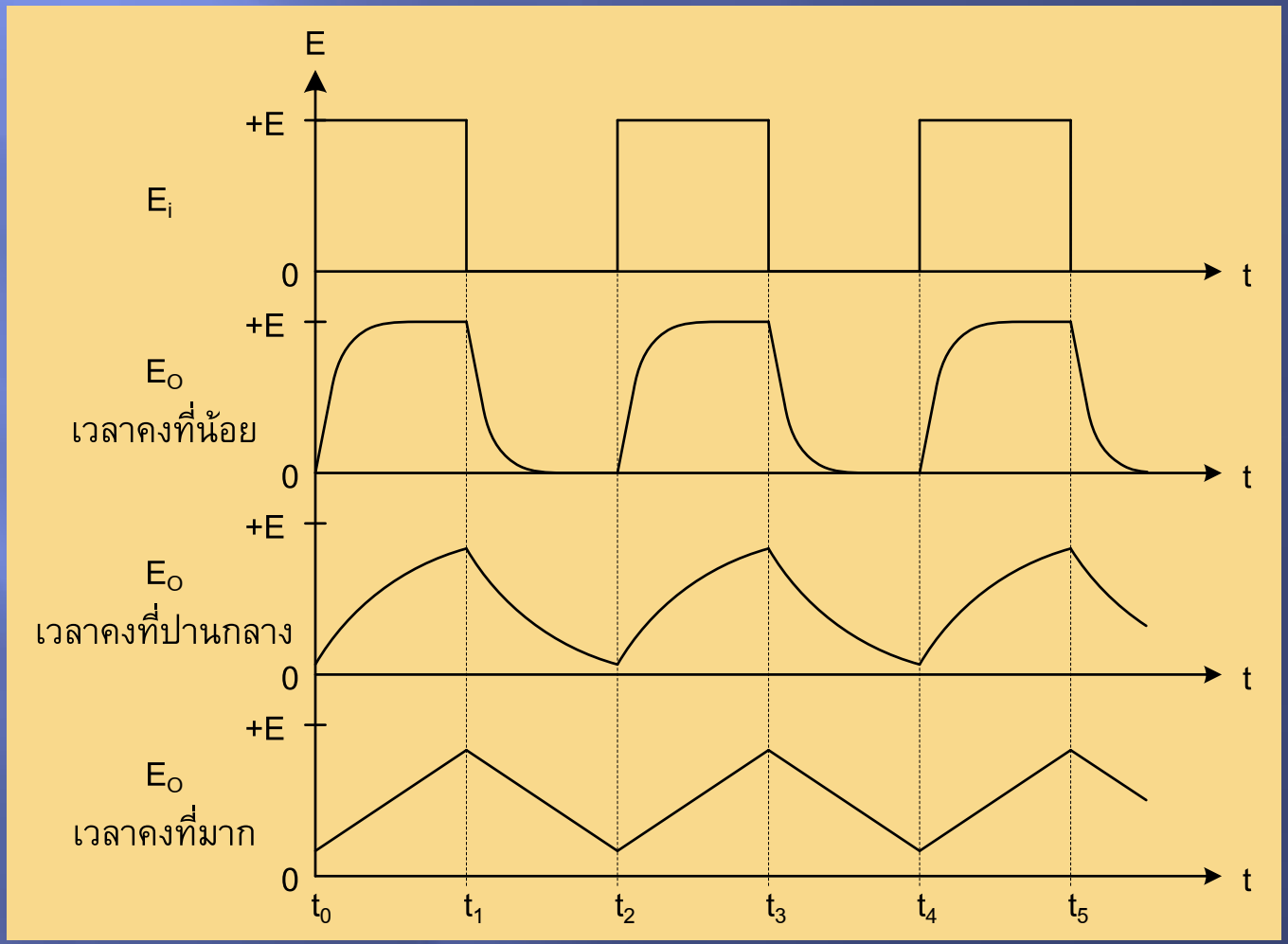
ที่ช่วงเวลา t0 ถึง t1 เป็นช่วงเวลาที่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์บวกป้อนเข้ามาที่เวลา t0 ตัว C เสมือนลัดวงจร แรงดันพัลส์ทั้งหมดตกคร่อมตัว R ไม่มีสัญญาณออกเอาต์พุต Eo เมื่อเวลาผ่านไปจาก t0 ถึง t1 ตัว C เริ่มประจุแรงดันค่อยๆ มากขึ้นเป็นลำดับ ลักษณะแรงดันที่ประจุไว้ได้มีลักษณะแรงดันเป็นคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดขึ้น จนกระทั่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์อินพุตหยุดการป้อนเข้าตัว C จึงหยุดการประจุ

ที่ช่วงเวลา t1 ถึง t2 เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์ป้อนเข้ามา ที่เวลา t1 แรงดันพัลส์อินพุตเปลี่ยนแปลงจากพัลส์บวกเป็น 0 V จากช่วงเวลา t1 ไป t2 ไม่มีสัญญาณพัลส์ป้อนเข้ามาเสมือนอินพุต Ei ลัดวงจร ทำให้ตัว C เริ่มคายประจุผ่านตัว R ผ่านอินพุต Ei ครบวงจรที่ตัว C ลักษณะการคายประจุของตัว C เป็นคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดลง จนกระทั้งตัว C คายประจุแรงดันหมดจึงหยุดการคายประจุ

# 3.3 วงจร RC อินทิเกรเตอร์ (ต่อ)

การทำงานของวงจรเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ได้สัญญาณออกเอาต์พุต Eo เป็นรูปคลื่นอินทิเกรต แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 (ข) ที่เอาต์พุต Eo ตำแหน่ง C ประจุรวมกับตำแหน่ง C คายประจุ สัญญาณอินทิเกรตที่ออกเอาต์พุตอาจมีรูปร่างแตกต่างกันไปบ้าง ขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ RC ของวงจร RC อินทิเกรเตอร์ที่มีค่ามากน้อยเปลี่ยนแปลงไป คือใช้ค่า R และค่า C มาประกอบร่วมวงจรแตกต่างกัน เวลาคงที่ RC ที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อเวลาการประจุและการคายประจุของตัว C ในวงจร การประจุและการคายประจุของตัว C เปลี่ยนแปลง ทำให้รูปคลื่นสัญญาณที่ออกเอาต์พุต Eo เกิดการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต Eo ดังกล่าวแบ่งออกมาได้ตามค่าเวลาคงที่ของวงจรแบ่งเป็น 3 ชนิด คือเวลาคงที่น้อย (Short Time Constant) เวลาคงที่ปานกลาง (Medium Time Constant) และเวลาคงที่มาก (Long Time Constant)

# คลื่นสัญญาณอินทิเกรตมีเวลาคงที่แตกต่างกัน



# 3.3 วงจร RC อินทิเกรเตอร์ (ต่อ)

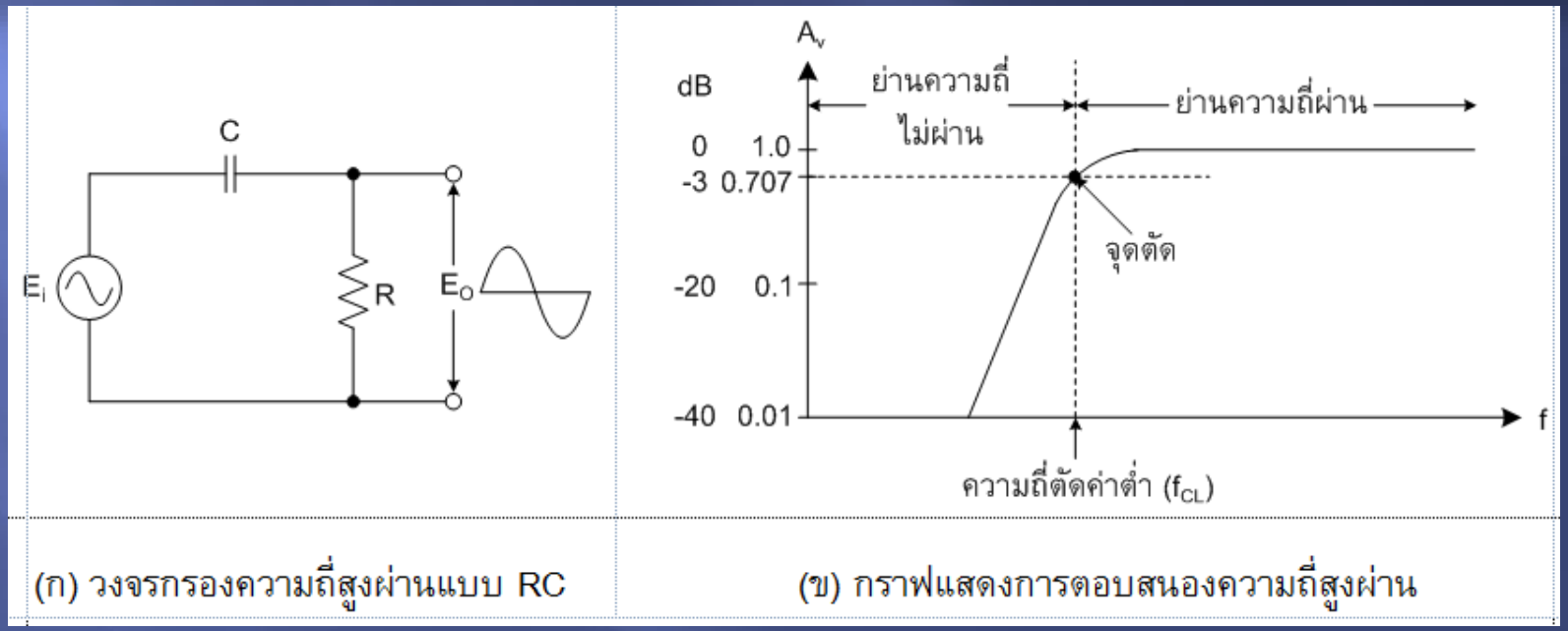
เวลาคงที่น้อย เป็นเวลาคงที่ที่มีค่าช่วงเวลาพัลส์เป็น 10 เท่า หรือมากกว่า 10 เท่าของช่วงเวลาคงที่ของวงจร RC อินทิเกรเตอร์ โดยใช้ค่า R และค่า C ในวงจรน้อย ทำให้ Eo เกิดความผิดเพี้ยนไปน้อย

เวลาคงที่ปานกลาง เป็นเวลาคงที่ที่มีช่วงเวลาพัลส์อยู่ระหว่าง 0.1 เท่า ถึง 10 เท่าของช่วงเวลาคงที่ของวงจร RC อินทิเกรเตอร์ โดยใช้ค่า R และค่า C ในวงจรมากขึ้นปานกลาง ทำให้ Eo เกิดความผิดเพี้ยนไปมากขึ้น

เวลาคงที่มาก เป็นเวลาคงที่ที่มีช่วงเวลาพัลส์ไม่เกิน 0.1 เท่า หรือน้อยกว่า 0.1 เท่า ของช่วงเวลาคงที่ของวงจร RC อินทิเกรเตอร์ โดยใช้ค่า R และค่า C ในวงจรมากขึ้นมากๆ ทำให้ Eo เกิดความผิดเพี้ยนไปอย่างมาก เปลี่ยนแปลงรูปคลื่นจากคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลเป็นคลื่นเอียง ได้ลักษณะรูปคลื่นออกมาเป็นคลื่นสามเหลี่ยม มีระดับแรงดันออกเอาต์พุตต่ำ

# 3.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบ RC

วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบ RC (RC High – Pass Filter Circuit) เป็นวงจรกรองย่านความถี่สูงผ่านแบบเบื้องต้น โดยอาศัยคุณสมบัติในการทำงานของค่าอุปกรณ์ R และ C ที่ใช้งานในการกำหนดย่านความถี่สูงผ่านออกเอาต์พุตในย่านความถี่ที่กำหนด ถ้าความถี่ที่ป้อนเข้ามามีค่าต่ำกว่าความถี่ที่กำหนดไว้วงจรไม่ยอมให้ความถี่นั้นผ่านไปได้ ความถี่ที่ถูกกำหนดไม่ให้ผ่านเรียกว่า ความถี่ตัด




(ก) วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบ RC

(ข) กราฟแสดงการตอบสนองความถี่สูงผ่าน

# 3.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบ RC (ต่อ)

จากรูปเป็นการแสดงวงจรความถี่สูงผ่านแบบ RC วงจรประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) ประกอบร่วมกันเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบผ่านโดยตรง การเรียกวงจรกรองลักษณะนี้ว่าวงจรกรองความถี่สูงผ่าน เพราะเป็นวงจรที่ใช้งานกับสัญญาณคลื่นไซน์ สัญญาณจ่ายออกเอาต์พุต Eo เป็นสัญญาณที่ตกคร่อมตัว R มีตัว C ต่ออนุกรมกับวงจร คุณสมบัติของตัว C ที่ความถี่ต่ำค่ารีแอกแตนซ์ของ C หรือ XC สูง ต้านความถี่คลื่นไซน์ไม่ให้ส่งออกเอาต์พุตเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาค่อยๆ สูงขึ้น ค่ารีแอกแตนซ์ของ C (XC) ค่อยๆ ลดลง ความแรงของสัญญาณความถี่สูงถูกส่งไปตกคร่อม R ค่อยๆ มากขึ้นเป็นลำดับที่สัญญาณความถี่สูงค่าหนึ่งจะมีแรงดันส่งออกเอาต์พุต Eo มากถึงจุดตัด เรียกตำแหน่งนี้ว่าจุดตัดที่ความถี่ต่ำ หรือจุดคัตออฟที่ความถี่ต่ำ (Low Frequency Cutoff Point)

# ความสัมพันธ์ของอัตราขยายแรงดันและความถี่ตัดของวงจร

$$A_{VH} = \frac{E_o}{Ei} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{f_{CL}}{f_U}\right)^2}}$$

$$f_{CL} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{Hz}$$

เมื่อ

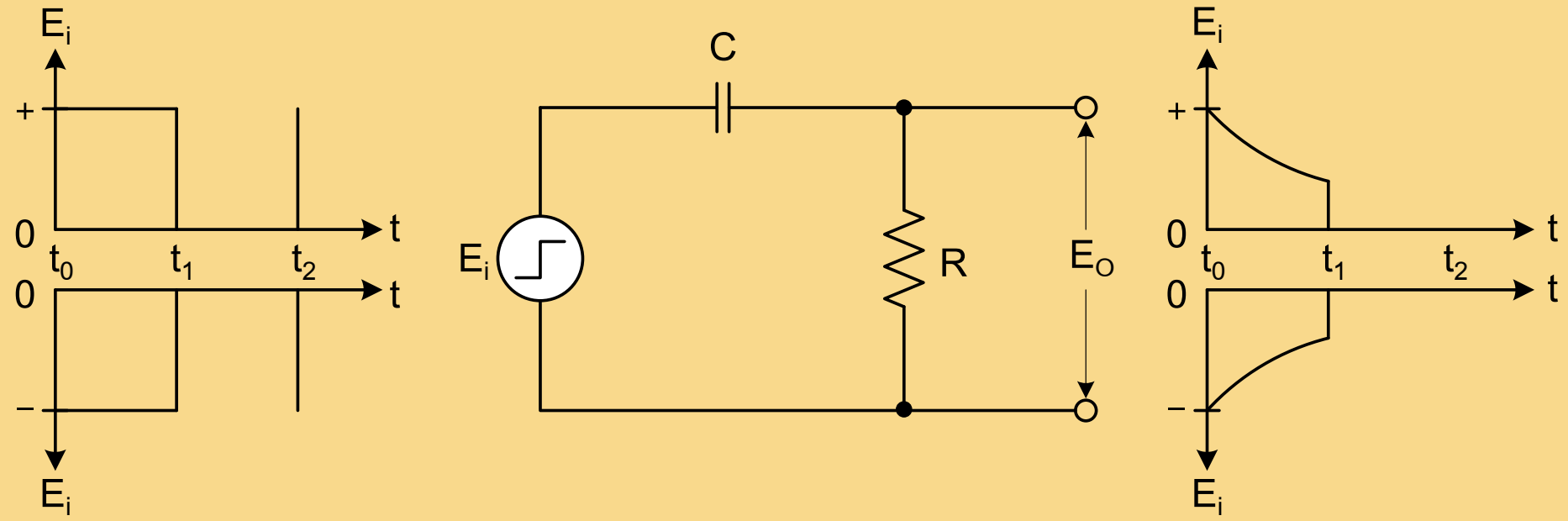
| | | | |
|---|---|---|---|
| $A_{VH}$ | = | อัตราขยายแรงดันของวงจรที่ความถี่สูง | |
| $E_o$ | = | แรงดันคลื่นไซน์ออกเอาต์พุต | หน่วย V |
| $E_i$ | = | แรงดันคลื่นไซน์ทางอินพุต | หน่วย V |
| $f_U$ | = | ความถี่ใช้งาน | หน่วย Hz |
| $f_{CL}$ | = | ความถี่ตัดที่ค่าความถี่ต่ำ | หน่วย Hz |
| R | = | ค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร | หน่วย Ω |
| C | = | ค่าความจุที่ใช้ในวงจร | หน่วย F |

# 3.5 วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (RC Differentiator) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) จัดวงจรทำงานเหมือนกับวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบ RC ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4 แต่เรียกชื่อแตกต่างกัน เพราะนำไปใช้งานกับสัญญาณไฟฟ้าในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม หรือคลื่นพัลส์ วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์จะทำให้คลื่นสี่เหลี่ยมที่ส่งเข้ามาผ่านออกเอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป กลายเป็นสัญญาณคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต

วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ มีสัญญาณป้อนเข้ามาทางอินพุต Ei เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมมุมฉากได้คลื่นออกเอาต์พุต Eo เป็นคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต คลื่นเกิดจากตัว C ยอมให้คลื่นขั้นบันไดในช่วงแรกของการเปลี่ยนสภาวะในขณะเกิดพัลส์ป้อนเข้ามาผ่านไป

# แสดงการตอบสนองสัญญาณขั้นบันไดของวงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์



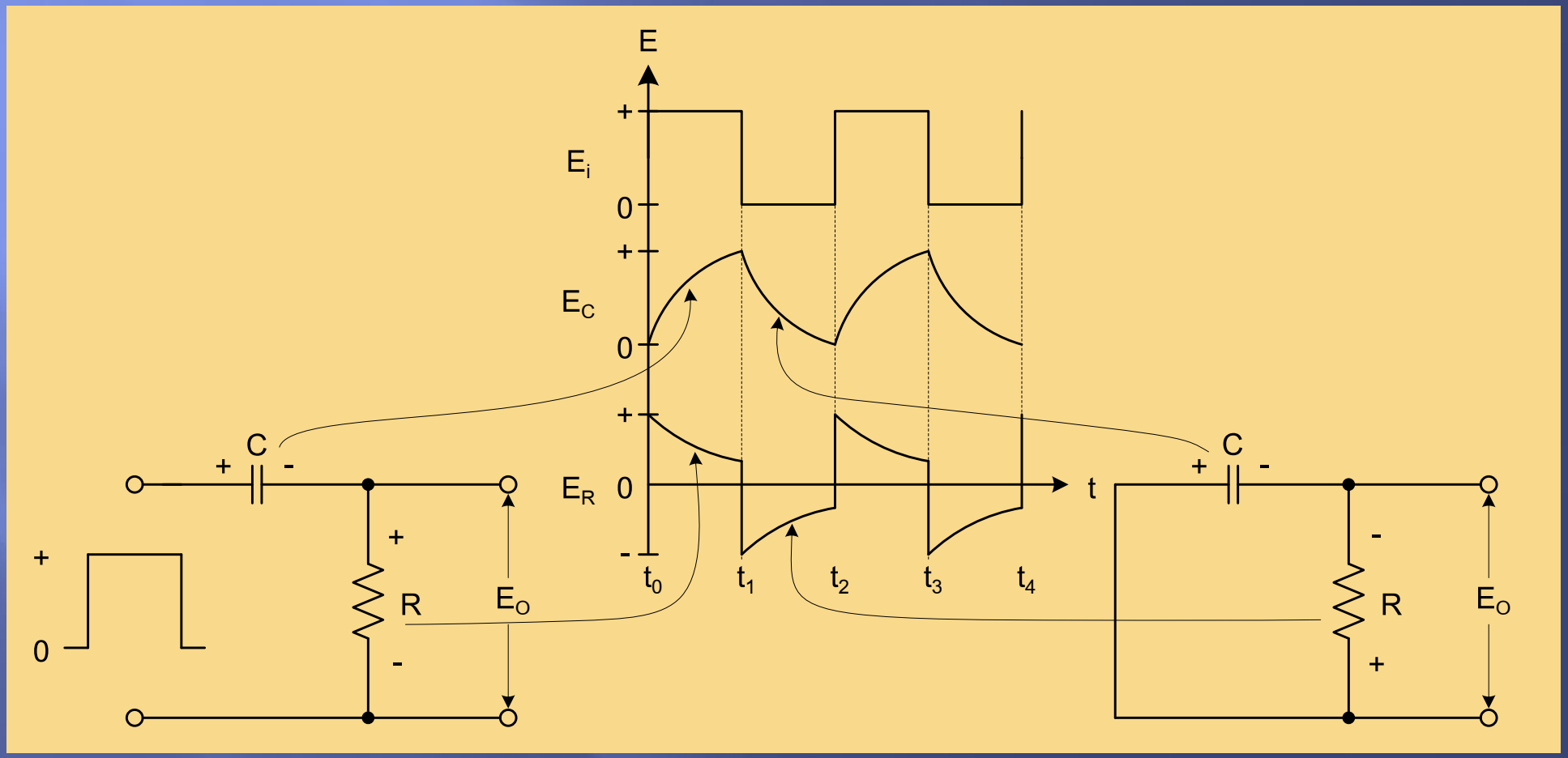

ช่วงแรกของคลื่นพัลส์เปลี่ยนระดับตัว C เสมือนลัดวงจร ได้แรงดันพัลส์ออกเอาต์พุตสูงสุด และแรงดันพัลส์ลดลงอย่างรวดเร็วเกิดจากแรงต้านแรงดันไฟตรงของตัว C ส่งผลให้สัญญาณขั้นบันไดลดลงเป็นรูปคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดลง การลาดลงจะเกิดความชันมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับค่า R และค่า C ที่นำมาใช้งานในวงจรทำให้มีเวลาคงที่ RC ตามต้องการ

# 3.5 วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (ต่อ)

ที่ช่วงเวลา t0 ถึง t1 เป็นช่วงเวลาที่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์บวกป้อนเข้ามา ที่เวลา t0 ตัว C เสมือนลัดวงจร แรงดันพัลส์ทั้งหมดตกคร่อมตัว R มีสัญญาณออกเอาต์พุตมากค่าหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไป จาก t0 ถึง t1 ตัว C เริ่มประจุแรงดันค่อยๆ มากขึ้นเป็นลำดับ ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัว R ค่อยๆ น้อยลง จนถึงช่วงเวลา t+1 ไม่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์ป้อนเข้า ตัว C หยุดการประจุแรงดัน

ที่ช่วงเวลา t1 ถึง t2 เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์ป้อนเข้ามา ที่เวลา t1 แรงดันพัลส์อินพุตเปลี่ยนแปลงจากพัลส์บวกเป็น 0 V จากช่วงเวลา t1 ถึง t2 ไม่มีสัญญาณพัลส์ป้อนเข้ามาเสมืออินพุต Ei ลัดวงจร ทำให้แรงดันที่ประจุไว้ในตัว C ทั้งหมดถูกจ่ายไปตกคร่อมตัว R ทั้งหมด เกิดแรงดันออกเอาต์พุต Eo มีศักย์เป็นลบสูงมากค่าหนึ่ง จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ประจุในตัว C ในช่วงเวลา t0 ถึง t1 ที่ผ่านมา การเกิดแรงดันตกคร่อมตัว R เป็นลบค่าสูงเกิดจากขั้วแรงดันที่จ่ายมาจากตัว C จ่ายให้ตัว R มีด้านบนเป็นลบ (–) ด้านล่างเป็นบวก (+)

# แสดงการทำงานของตัว C และตัว R ในช่วงเวลา t0 ถึง t2 ในวงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์



# 3.5 วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (ต่อ)

ที่ช่วงเวลา t2 ถึง t3 เป็นช่วงเวลาที่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์บวกป้อนเข้ามาอีกครั้ง ที่เวลา t2 แรงดันพัลส์อินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 0 V เป็นพัลส์บวก ตัว C เสมือนลัดวงจรอีกครั้ง แรงดันพัลส์ที่ป้อนเข้ามาจ่ายไปตกคร่อมตัว R ทั้งหมดเป็นสัญญาณบวกเอาต์พุต Eo

ที่ช่วงเวลา t3 ถึง t4 เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมพัลส์ป้อนเข้ามา ตัว C เริ่มคายประจุแรงดันผ่านตัว R อีกครั้ง ได้สัญญาณออกเอาต์พุตเหมือนกับช่วงเวลา t1 ถึง t2

การทำงานของวงจรจะเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ได้สัญญาณจ่ายออกเอาต์พุต Eo เป็นรูปคลื่นดิฟเฟอเรนชิเอต สัญญาณดิฟเฟอเรนชิเอตที่ส่งออกเอาต์พุต อาจมีรูปร่างแตกต่างกันไปบ้าง ขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ RC ของวงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ที่ใช้ค่า R และค่า C มากหรือน้อยเปลี่ยนแปลงไปเวลาคงที่ RC ที่เปลี่ยนแปลงไป จะมีผลต่อเวลาประจุและคายประจุของตัว C ในวงจร การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต Eo ดังกล่าว แบ่งออกได้ตามค่าเวลาคงที่ของวงจรเป็น 3 ชนิดคือ เวลาคงที่น้อย เวลาคงที่ปานกลาง และเวลาคงที่มาก ลักษณะสัญญาณดิฟเฟอเรนชิเอต

# แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนชิเอต ที่มีช่วงเวลาคงที่มากน้อยแตกต่างกัน