หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การทดสอบโปรแกรม

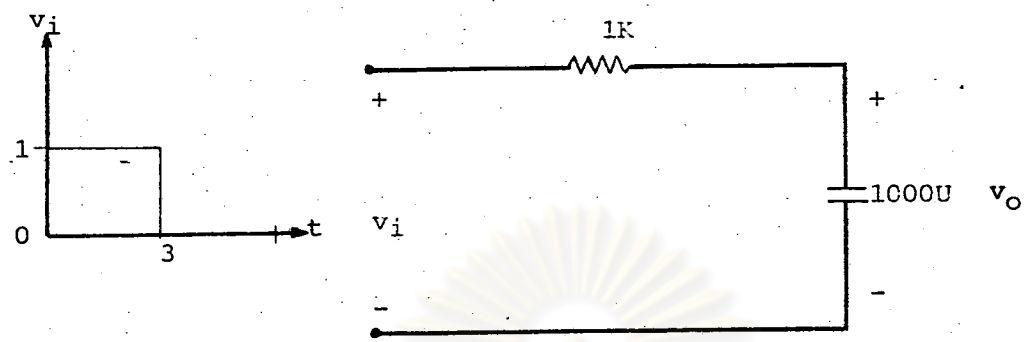
เพื่อให้มั่นใจได้ว่าโปรแกรมทำงานได้และเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของหลักการทางคณิตศาสตร์เชิงเวลาที่ได้คิดขึ้น เราจึงต้องมีการทดสอบโปรแกรมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เราทราบคำตอบอยู่แล้วเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณ แต่เนื่องจากชนิดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และลักษณะการใช้งานนั้นมีมากมาย จึงเป็นไปไม่ได้ที่เราจะทดลองโปรแกรมกับวงจรทุกชนิด ดังนั้นเราจึงเลือกวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่คิดว่าสามารถให้เป็นตัวแทนในการทดสอบขีดความสามารถและความถูกต้องในด้านต่างๆ ได้ โดยคิดว่าถ้าโปรแกรมสามารถคำนวณผลตอบสนองเชิงเวลาของวงจรเหล่านั้นได้ถูกต้องก็น่าที่จะคำนวณวงจรอื่นได้ถูกต้องใกล้เคียงค่าคำตอบจริงด้วย ซึ่งผลการทดลองทำให้เราต้องแก้ไขและปรับปรุงโปรแกรมหลายต่อหลายครั้งจนกระทั่งโปรแกรมสามารถใช้งานได้ดีพอสมควร

ในบทนี้เราจะยกตัวอย่างของวงจรต่างๆ ที่ใช้ทดลองโปรแกรมซึ่งจะเริ่มจากวงจรง่ายๆ เช่น วงจร RC และ RL ไปจนถึงวงจรที่มีการเปลี่ยนฟังก์ชันการทำงานของวงจรอย่างรวดเร็ว เช่น วงจรชมิตต์ทริกเกอร์ (Schmitt trigger) เป็นต้น และจะได้เน้นถึงข้อควรระวังทางประการในการใช้โปรแกรมที่ผู้ใช้จะต้องทำความเข้าใจให้ดี

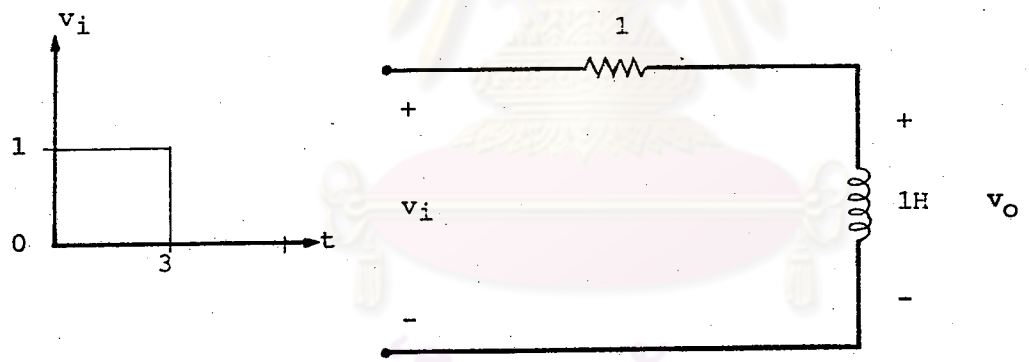
7.1 วงจรกรองผ่านต่ำ (low pass filter) และวงจรกรองผ่านสูง (high pass filter)

การทดลองวงจรผ่านต่ำตามรูป 7.1 (ก) และวงจรผ่านสูงตามรูป 7.1 (ข) เป็นการทดลองเพื่อทดสอบคณิตศาสตร์ของการประมาณอนุพันธ์ที่ใช้ว่ามีความถูกต้องเพียงใด ผลการทดลองวงจรในรูป 7.1 (ก) และ 7.1 (ข) นั้น เราแสดงเป็นกราฟได้ดังรูป 7.2 (ก) และ 7.2 (ข) ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าผลการคำนวณใกล้เคียงกับคำตอบจริงมากขึ้นเมื่อใช้ขนาดขั้นเวลาหรือ LTE น้อยลง

ส่วนวงจรในรูป 7.3 เป็นการทดลองผลตอบสนองเชิงเวลาตามธรรมชาติ (natural response) ของวงจร RLC ผลการทดลองที่ได้เทียบกับสมการดิฟเฟอเรนเชียลของวงจรมีความถูกต้องใกล้เคียงกันมากเมื่อกำหนดให้ LTE = 0.02 โวลท์ ตามในรูป 7.4

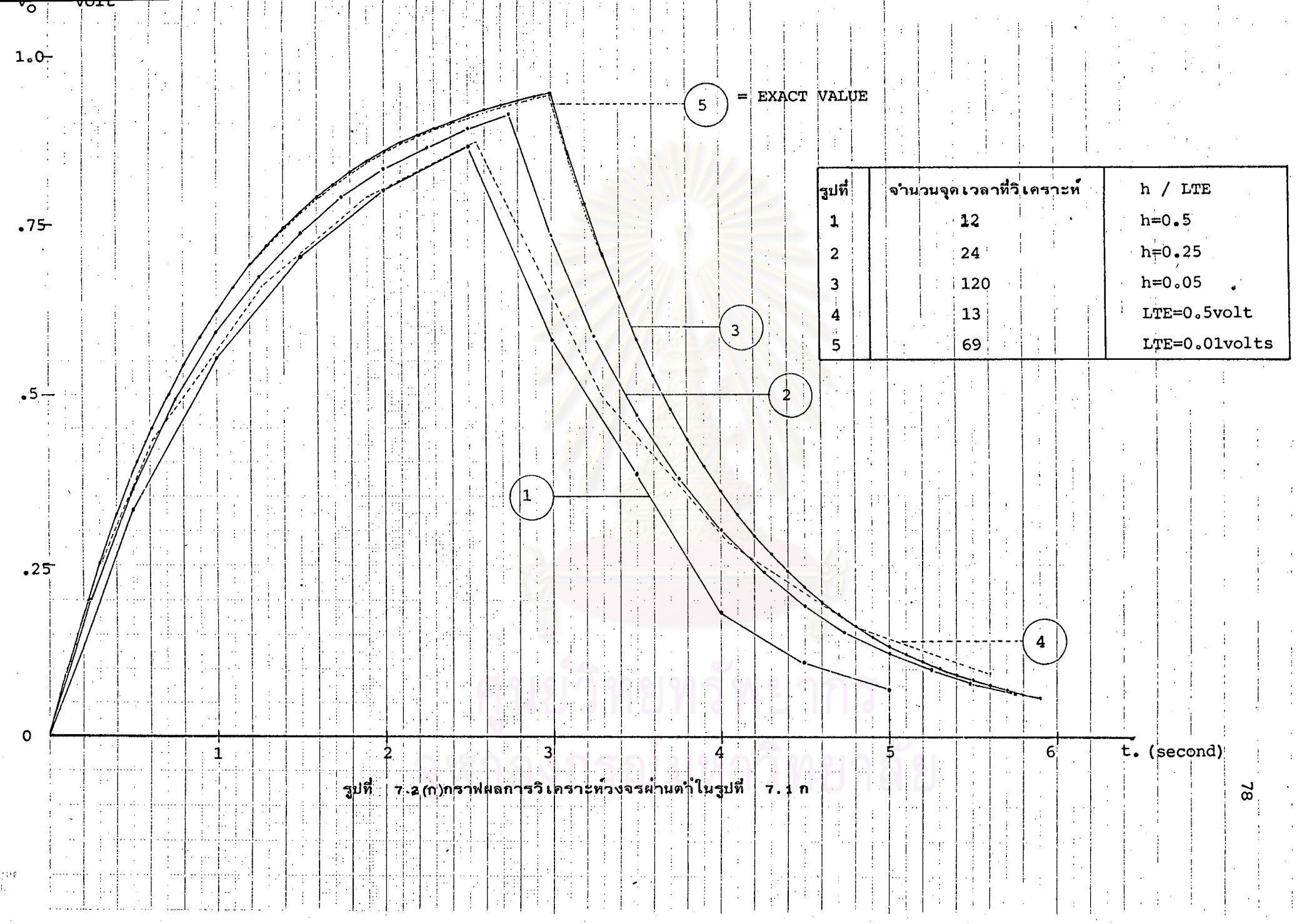


รูปที่ 7.1(ก) วงจรกรองผ่านต่ำ RC



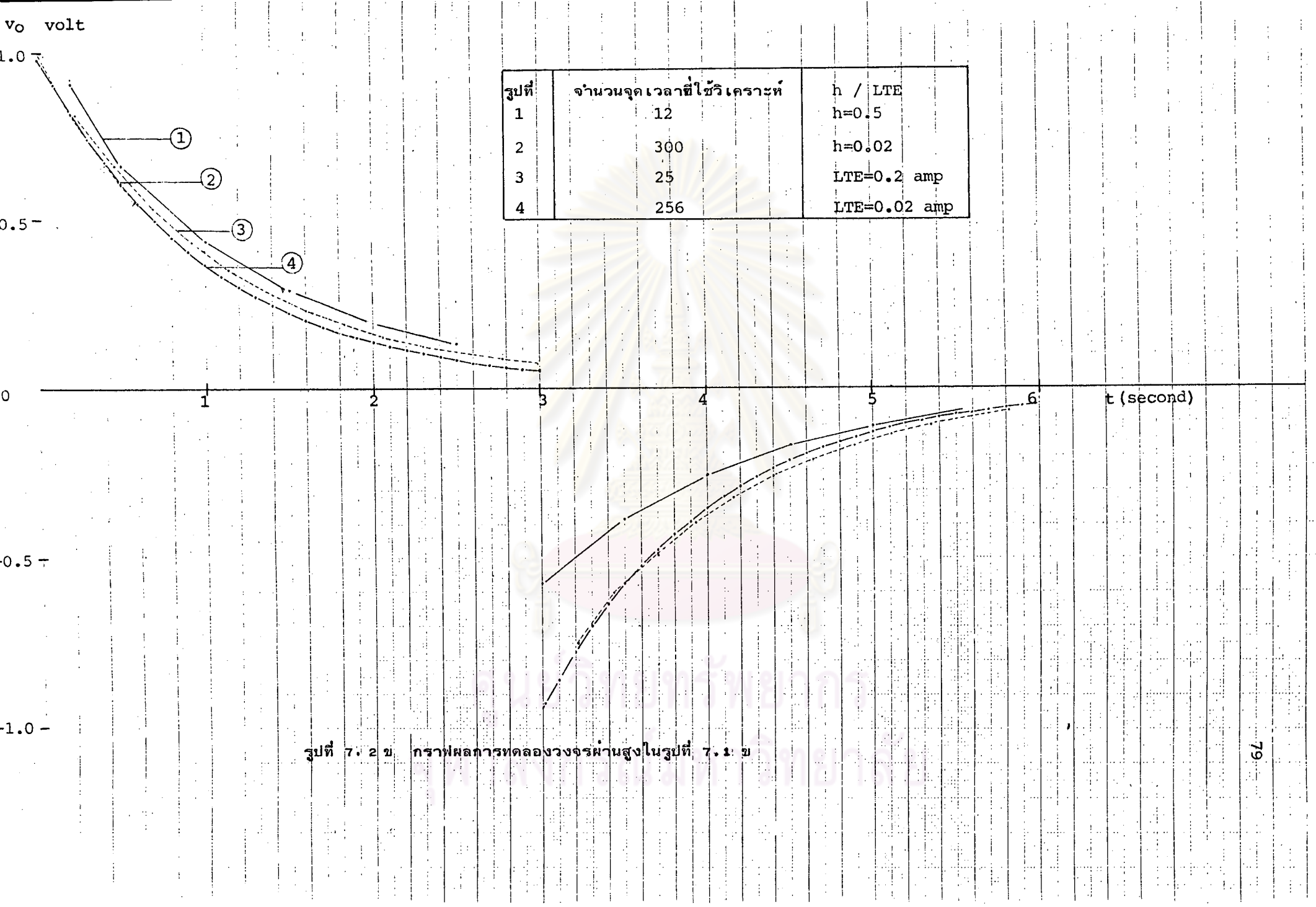
รูปที่ 7.1(ข) วงจรกรองผ่านสูง RL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



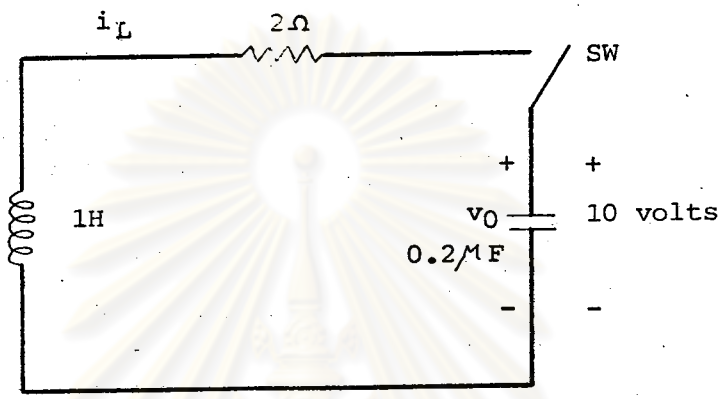
รูปที่	จำนวนจุดเวลาที่วิเคราะห์	h / LTE
1	12	h=0.5
2	24	h=0.25
3	120	h=0.05
4	13	LTE=0.5volt
5	69	LTE=0.01volts

รูปที่ 7.2(ก)กราฟผลการวิเคราะห์วงจรผ่านต่ำในรูปที่ 7.1 ก



รูปที่	จำนวนจุดเวลาที่ใช้วิเคราะห์	h / LTE
1	12	h=0.5
2	300	h=0.02
3	25	LTE=0.2 amp
4	256	LTE=0.02 amp

รูปที่ 7.2 ข กราฟผลการทดลองวงจรผ่านสูงในรูปที่ 7.1 ข

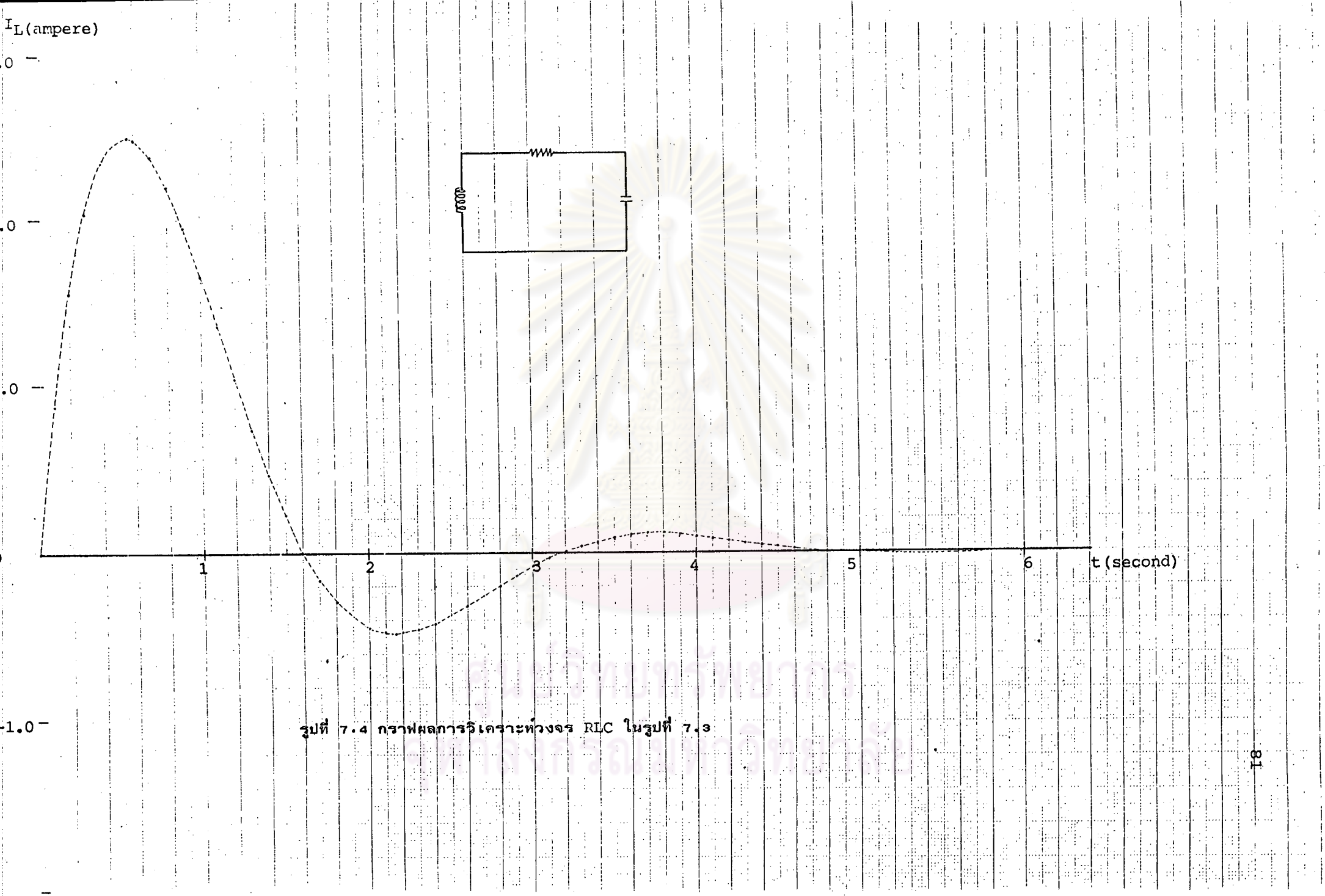


สวิตซ์ปิดที่เวลา t=0 วินาที

ค่าคำตอบจริง $i_L = 5e^{-t} SIN2t$

รูปที่ 7.3 วงจร RLC

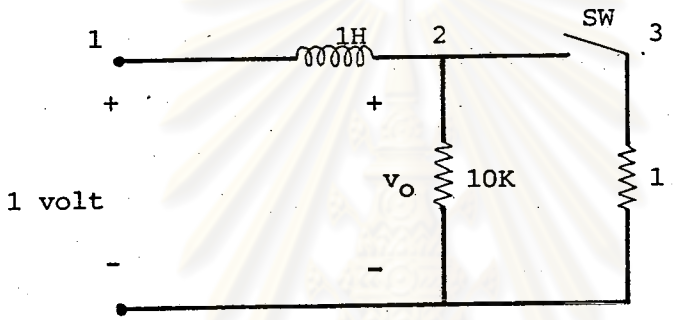
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

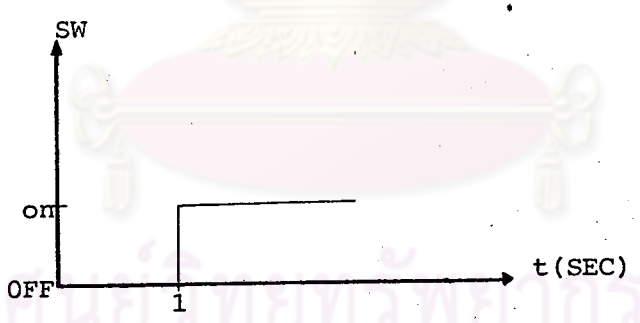


รูปที่ 7.4 กราฟผลการวิเคราะห์วงจร RLC ในรูปที่ 7.3

7.2 วงจรกรองผ่านต่ำที่มีการเปลี่ยนค่าคงตัวทางเวลา (time constant) อย่างทันที

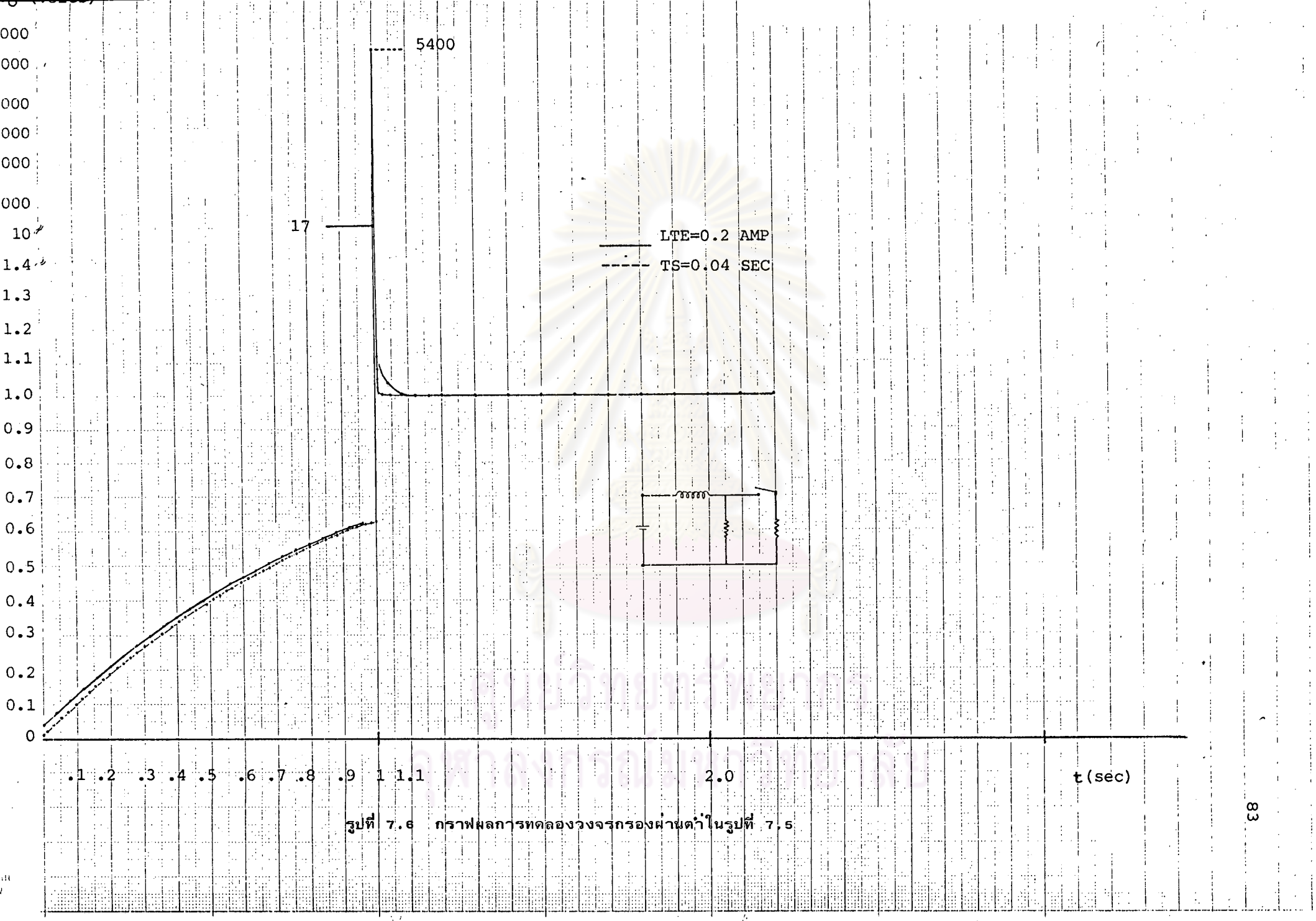
รูปที่ 7.5 เป็นวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้ทดลองผลการเปลี่ยนค่าคงตัวทางเวลาอย่างทันทีทันใดโดยการใช้สวิตช์เปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างทันทีดังแสดงในรูปที่ 7.5 ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 7.6 ว่า การใช้ขนาดขั้นเวลาคงที่กับวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนั้น นอกจากจะทำให้จำนวนจุดเวลาที่ต้องคำนวณมีจำนวนมากแล้วยังทำให้ผลการคำนวณในช่วงที่วงจรมีการเปลี่ยนแปลงมากๆ นั้นผิดพลาดจากคำตอบจริงไปมาก ถ้าให้ขนาดขั้นเวลาไม่เล็กพอ ผลการทดลองนี้เป็นการยืนยันคณิตศาสตร์ของการปรับขนาดขั้นเวลาด้วยว่าหลักการต่างๆ ที่นำมาใช้นั้นมีความถูกต้องและเชื่อถือได้





รูปที่ 7.5 วงจรกรองผ่านต่ำที่มีการเปลี่ยนค่า time constant ทันที

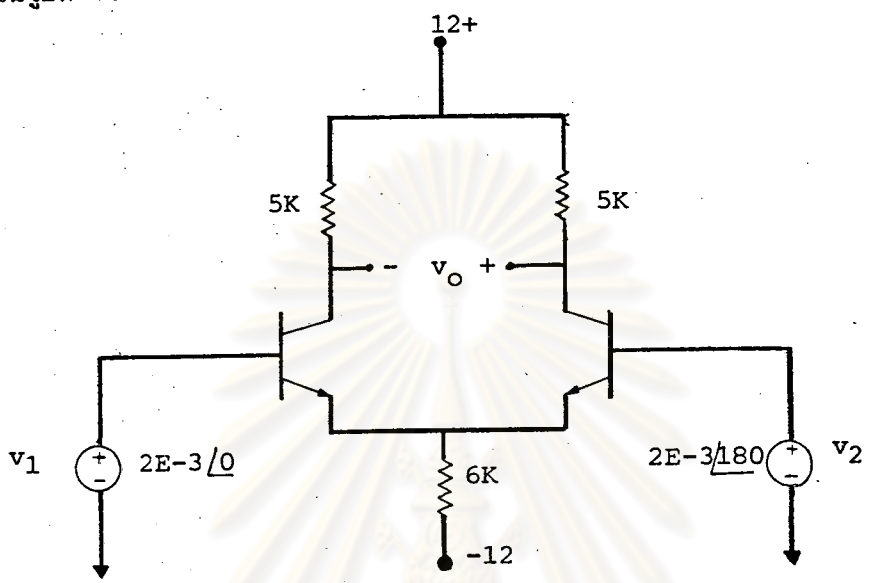
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.6 กราฟผลการทดลองวงจรกรองผ่านต่ำในรูปที่ 7.5

7.3 วงจรขยายสัญญาณต่าง (differential amplifier)

การทดลองวงจรขยายสัญญาณต่างในรูปที่ 7.7 นี้เพื่อเป็นการตรวจสอบวงจรสมมูลและตราประจำอุปกรณ์ของทรานซิสเตอร์ในภาวะไวงานว่ามีความถูกต้องสมบูรณ์เพียงใดซึ่งผลการทดลองที่ได้ แสดงในรูปที่ 7.8 ก็เป็นที่น่าพอใจ



ทรานซิสเตอร์พารามิเตอร์::

$h_{fe} = 100$

$h_{ie} = 1K$

$C_{be} = 0$

$C_{bc} = 0$

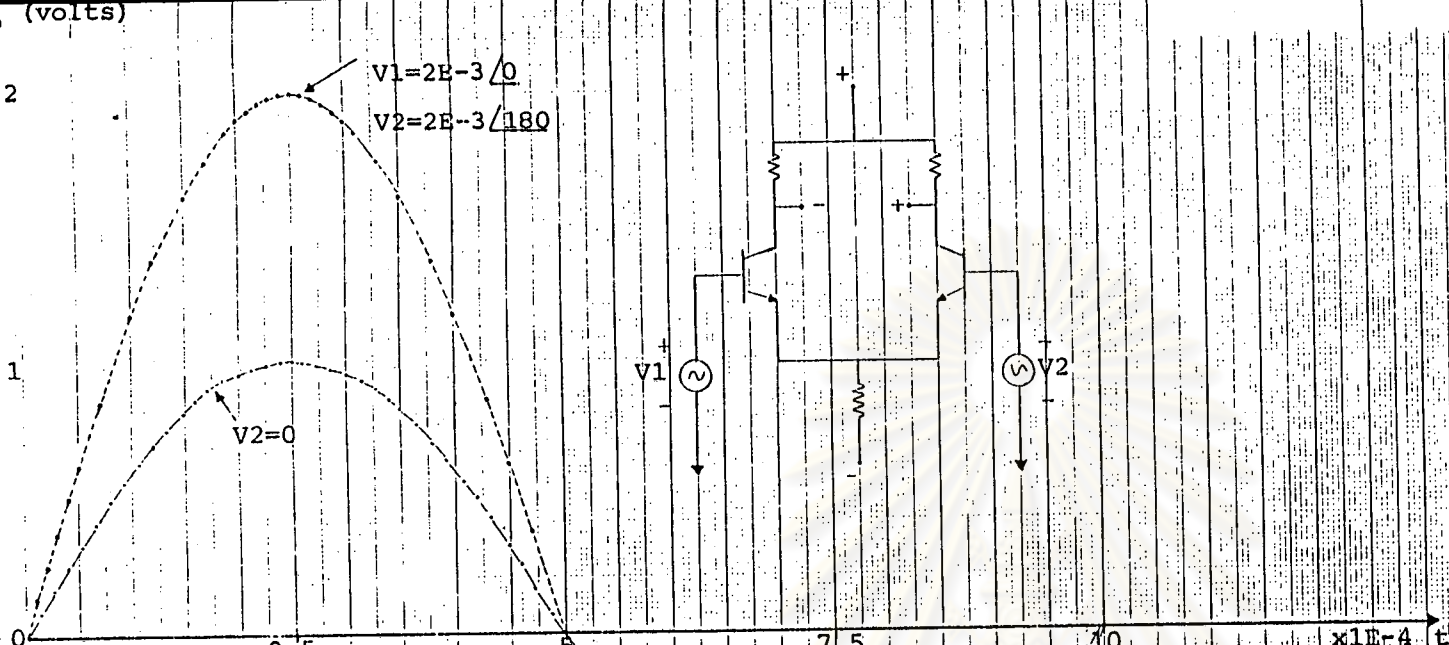
$V_{be} = 0.6$

$R_{ce} = \infty$

$\alpha_R = 0.5$

รูปที่ 7.7 วงจรขยายสัญญาณต่าง

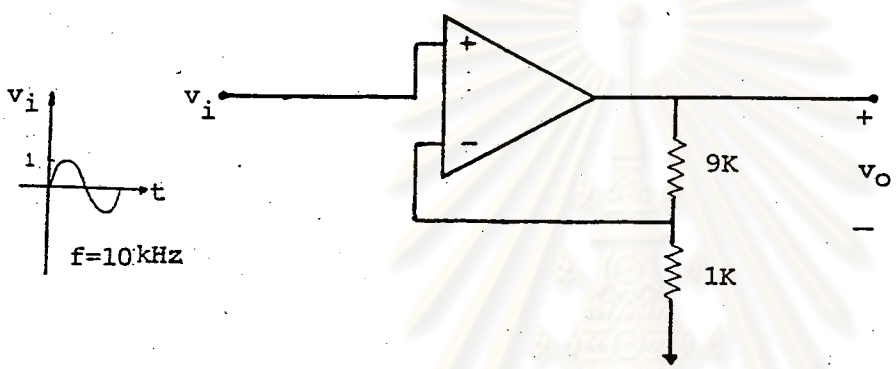
เมื่อทดลองให้ $v_2 = 0$ โวลท์ ก็จะได้แรงดัน v_o มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ v_o ในรูปที่ 7.8 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของวงจรประเภทนี้



รูปที่ 7.8 ผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณต่างในรูปที่ 7.7

7.4 วงจรขยายที่ใช้ออปแอมป์

วงจรออปแอมป์ที่มาใช้ทดลองก็เป็นวงจรขยายธรรมดาดังแสดงในรูปที่ 7.9 เรา แบ่งการทดลองเป็นการทดลองเมื่อใช้ออปแอมป์ที่เป็นอุดมคติ และใช้ออปแอมป์ที่มีความถี่หักมุม ของอัตราขยาย เปิดลูป เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองเชิงเวลาทางด้านขาออกของวงจร ผลที่ได้ แสดงไว้ในรูปที่ 7.10 มีความถูกต้องใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีจาก [9] จึงถือได้ว่า วงจรสมมูล และตราประจำอุปกรณ์ของออปแอมป์ที่เรานำมาใช้นั้นถูกต้อง



ออปแอมป์อุดมคติ::

$AV \cong \infty$

$Ri \cong \infty$

$Ci \cong 0$

$RO \cong 0$

$POLE \cong \infty$

ออปแอมป์จริง::

$Av = 10^5$

Ri = 100K

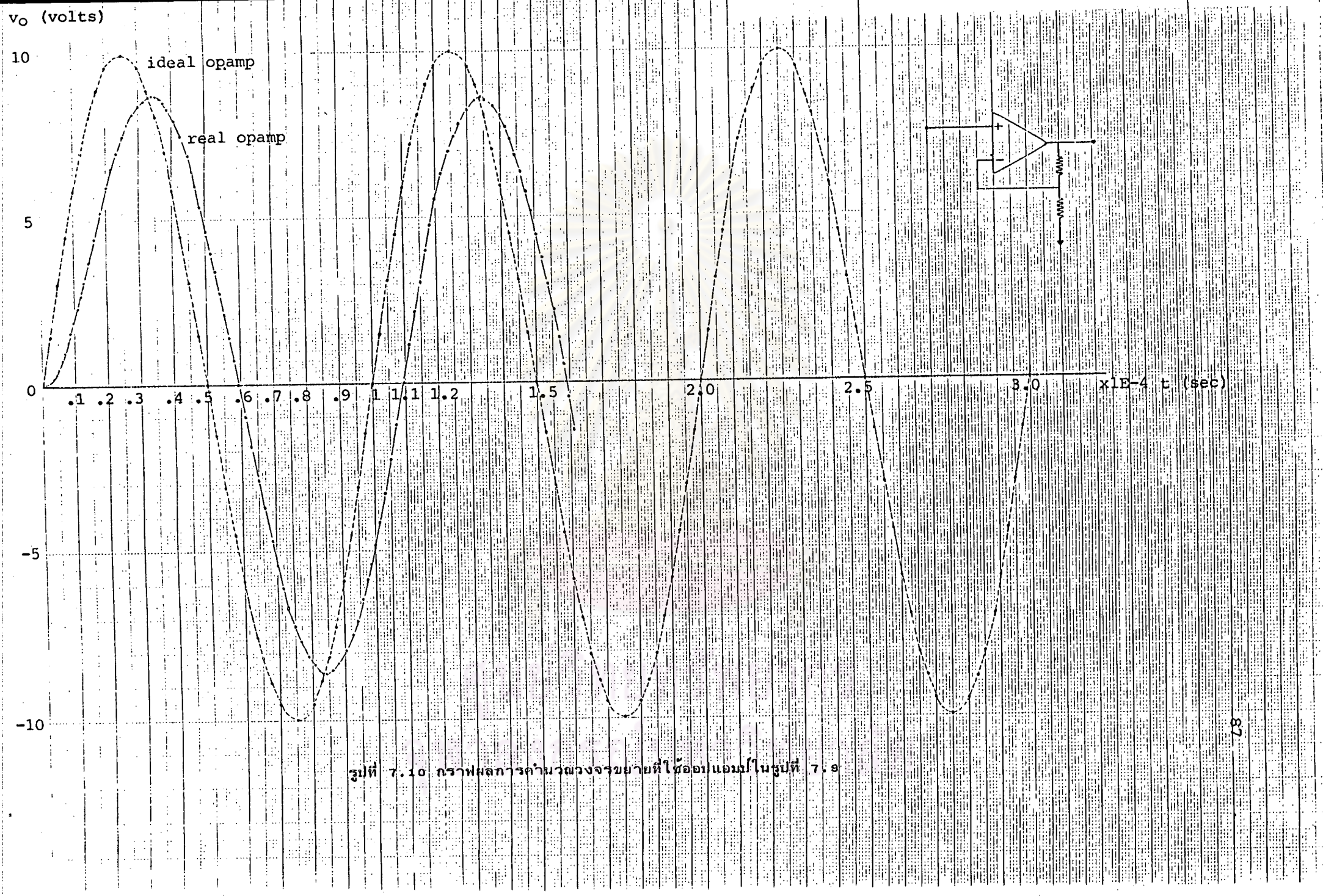
Ci = 100PF

RO = 100

POLE = 10, 1MEG

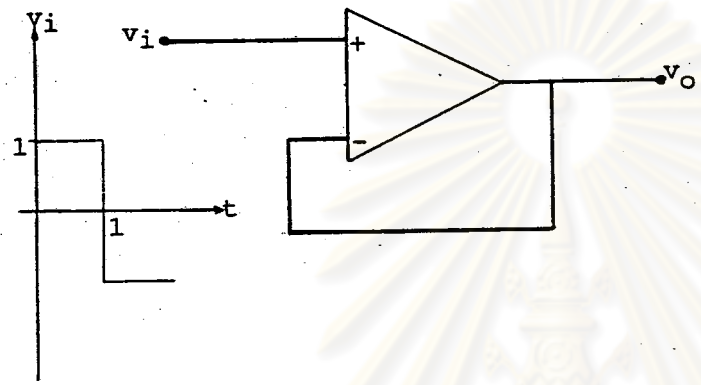
รูปที่ 7.9 วงจรขยายออปแอมป์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.10 กราฟผลการคำนวณวงจรขยายที่ใช้ออปแอมป์ในรูปที่ 7.9

สำหรับการทดลองเพื่อดูผลตอบสนองเชิงเวลาอันเนื่องมาจากความถี่หักมุมของออปแอมป์ เราจะใช้วงจรในรูปที่ 7.11 ซึ่งเป็นวงจรที่มีอัตราป้อนกลับ (β) เท่ากับหนึ่งและอัตราขยายของวงจรสูงมาก ($\approx \infty$) ผลการทดลองที่ได้เมื่อใช้แรงดันขาเข้าเป็นฟังก์ชั่นขั้น (step function) แสดงไว้ดังในรูปที่ 7.12 ซึ่งใกล้เคียงผลจากการคำนวณโดยการแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียล



ออปแอมป์พารามิเตอร์ :

$A0 = 10^5$

$Ri = 10K$

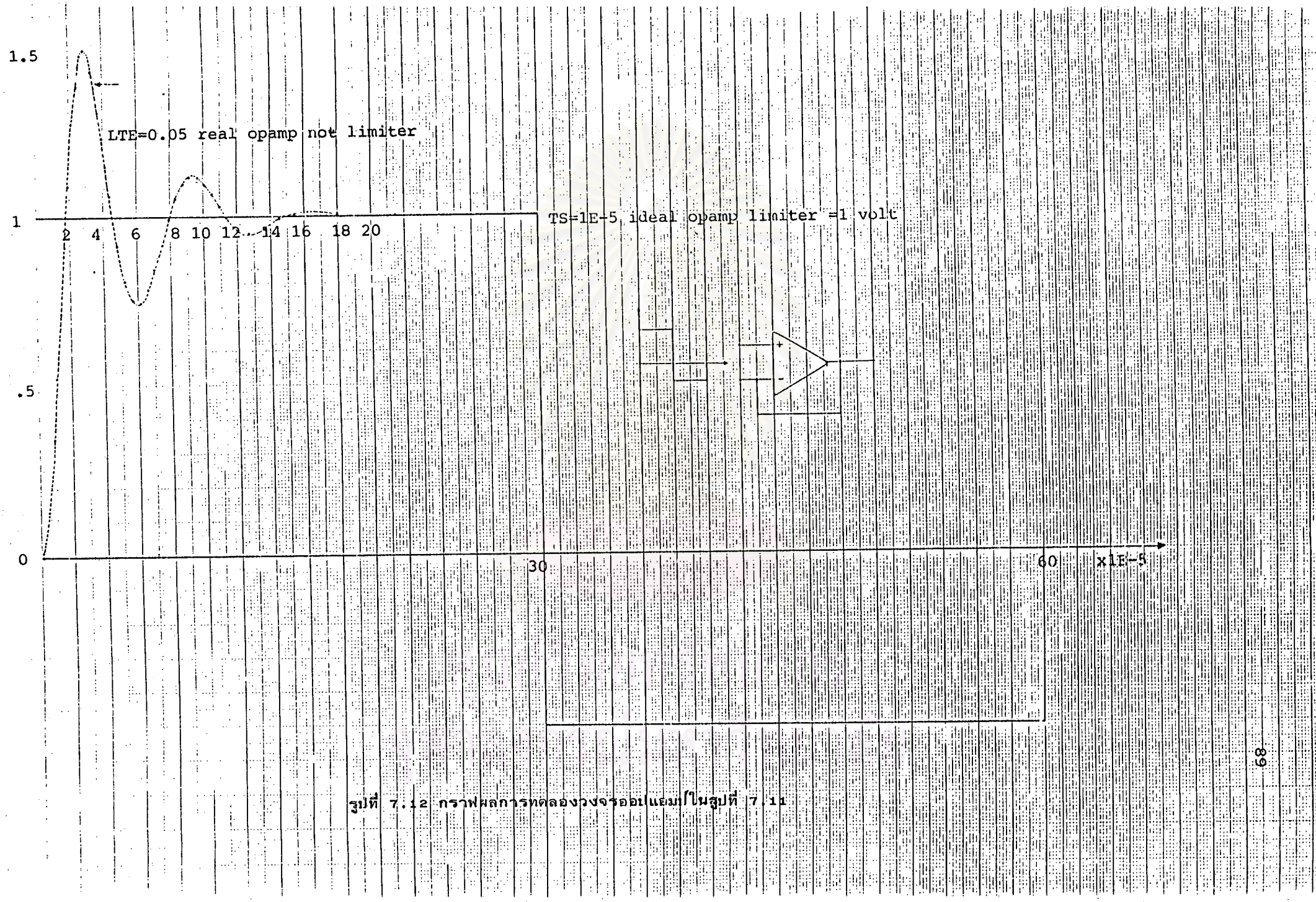
$Ro = 100$

$POLE = 10,\ 10Khz$

$C_i = 0$

รูปที่ 7.11 วงจรทดลองผลตอบสนองเชิงเวลาเนื่องจากความถี่หักมุม

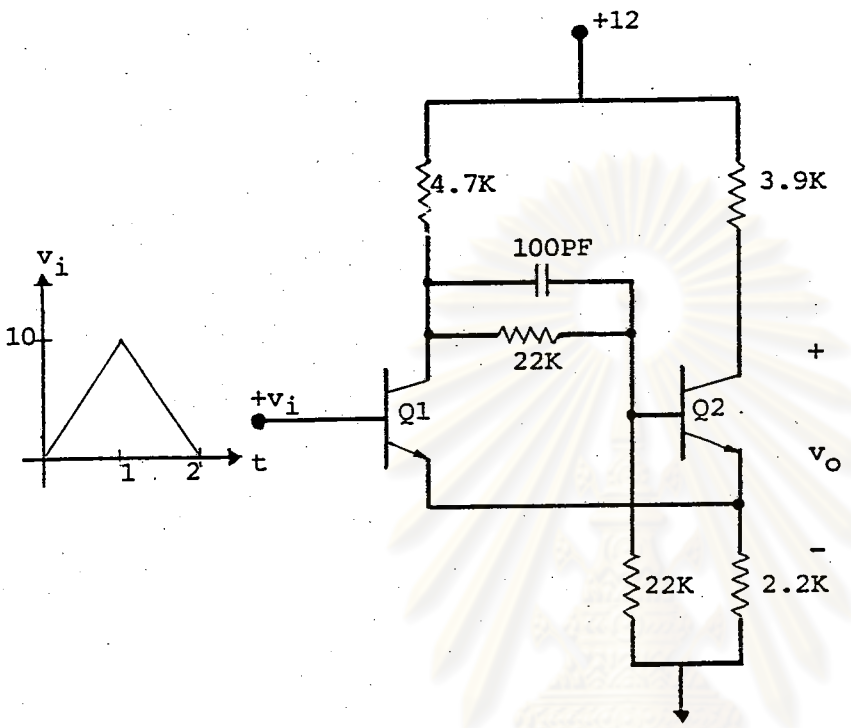
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.12 กราฟผลการทดลองวงจรออปแอมป์ในรูปที่ 7.11

7.5 วงจรชมิดต์ทริกเกอร์

วงจรชมิดต์ทริกเกอร์ที่ใช้แสดงไว้ในรูปที่ 7.13 เป็นการทดสอบการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์และความต่อเนื่องของภาวะการทำงานต่างๆ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในรูป 7.14 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีมาก



ทรานซิสเตอร์พารามิเตอร์

$h_{fe} = 100$

$h_{ie} = 1K$

$C_{be} = 500PF$

$C_{bc} = 100PF$

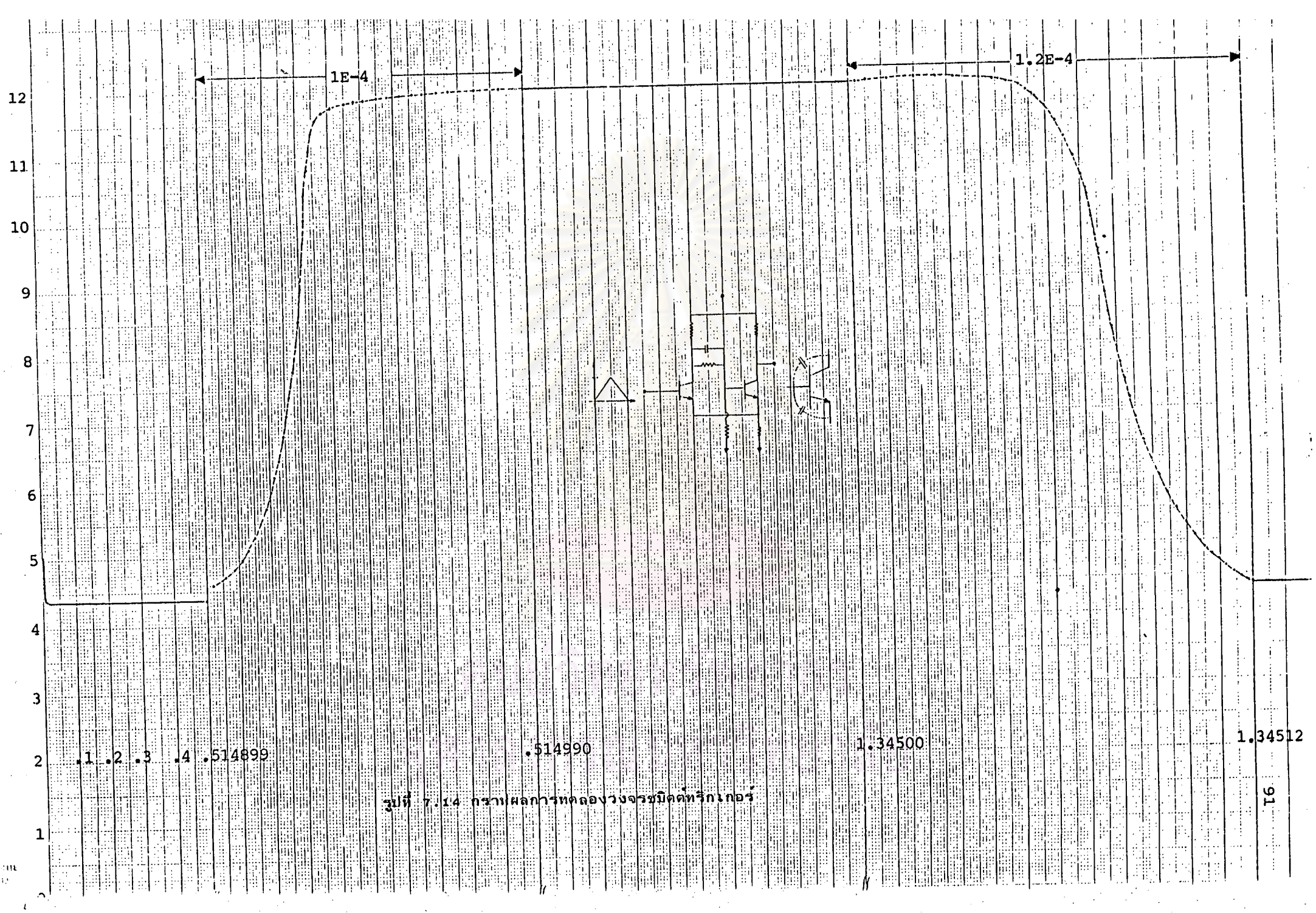
$V_{be} = 0.7$

$\alpha_R = 0.5$

รูปที่ 7.13 วงจรชมิดต์ทริกเกอร์

(วงจรจากหนังสือ 'คู่มือการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 3' : ยืน ภู่วรวรรณ)

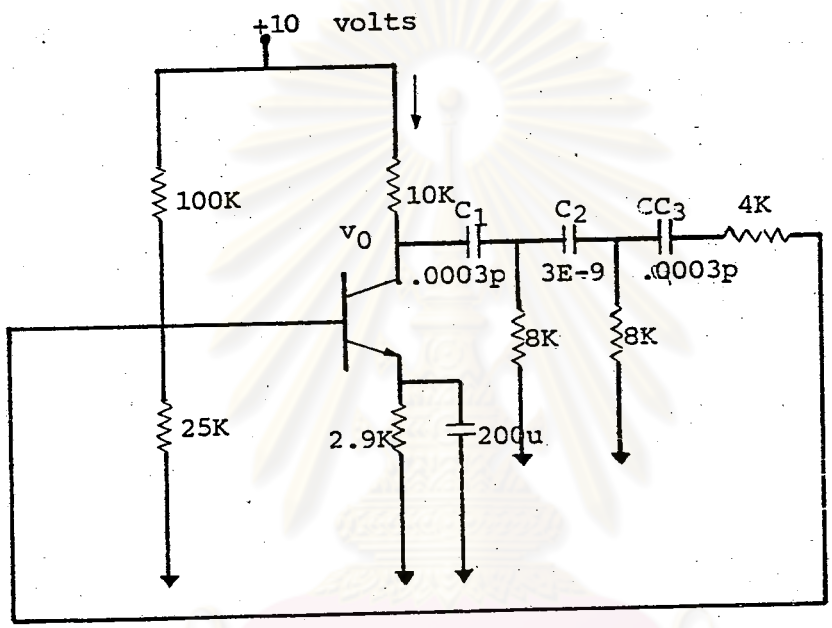
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.14 กราฟผลการทดลองวงจรชมิตต์ทริกเกอร์

7.6 วงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำมาทดลองเป็นแบบเลื่อนเฟส (Phase-shift Oscillator) ดังแสดงในรูปที่ 7.15 การทดลองนี้ เพื่อทดสอบโปรแกรมว่าจะสามารถให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องได้ในกรณีที่เกิดความไม่เสถียรในระบบวงจรอื่นๆ จากการคำนวณทางทฤษฎีวงจรนี้จะให้ความถี่ออสซิลเลตเท่ากับ 2 kHz ซึ่งผลการคำนวณที่ได้ก็ใกล้เคียงกันมากดังแสดงในรูปที่ 7.16 สำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์นี้เราทราบอยู่แล้วจากการออกแบบว่ามันจะออสซิเลตที่ความถี่เท่าใด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงให้ h มีค่าคงที่ได้



ภาวะเริ่มต้น

$v_{C1}(0) = 4$ โวลท์

$v_{C2}(0) = 0$ โวลท์

$v_{C3}(0) = -2.08$ โวลท์

$v_{ce}(0) = 1.33$ โวลท์

ทรานซิสเตอร์พารามิเตอร์

$h_{fe} = 200$

$h_{ie} = 5000$

$C_{be} = 0$

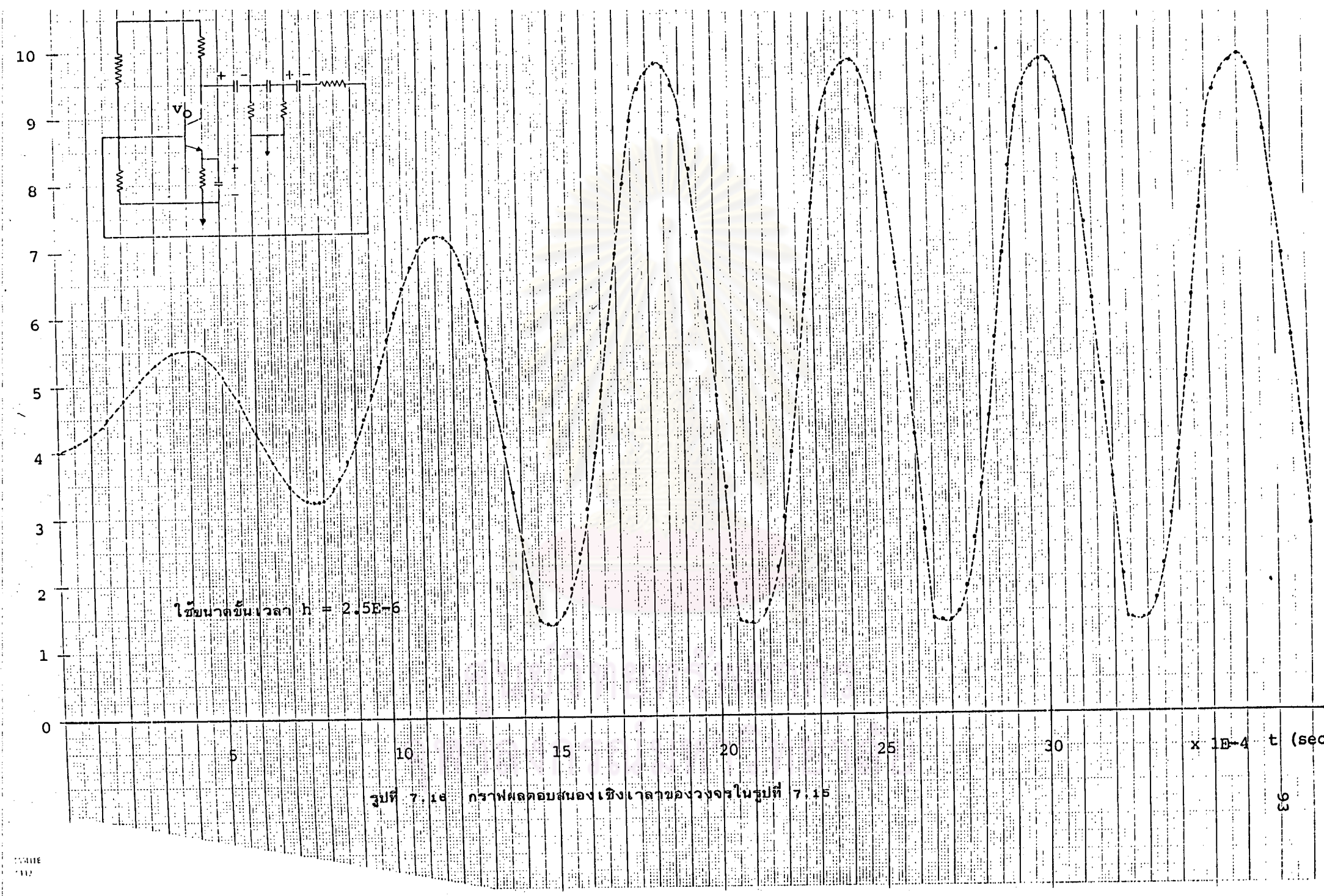
$C_{bc} = 0$

$V_{be} = 0.6$

$\alpha_R = 0.5$

รูปที่ 7.15 วงจรออสซิลเลเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.16 กราฟผลตอบสนองเชิงเวลาของวงจรในรูปที่ 7.15

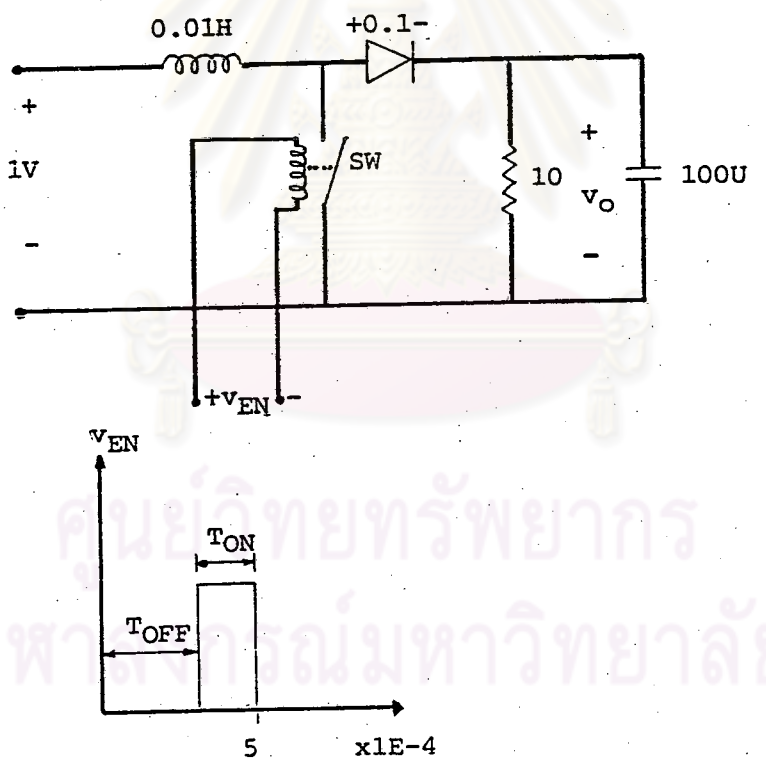
7.7 วงจรแปลงผันไฟตรง (dc to dc converter)

วงจรขยายไฟตรงนี้เป็นส่วนของการทดลองโปรแกรมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (power electronics) วงจรที่ใช้ทดลองดังแสดงในรูปที่ 7.17 เป็นวงจรขยายไฟตรงแบบ boost คือ แรงดันไฟตรงทางด้านขาออก จะมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟตรงทางด้านขาเข้า ซึ่งอัตราขยายไฟตรง (Ad.c) ขึ้นอยู่กับอัตราการเปิดและปิดวงจรของสวิตช์ โดยที่

$$Ad.c = \frac{T}{TOFF} \qquad -(7.1)$$

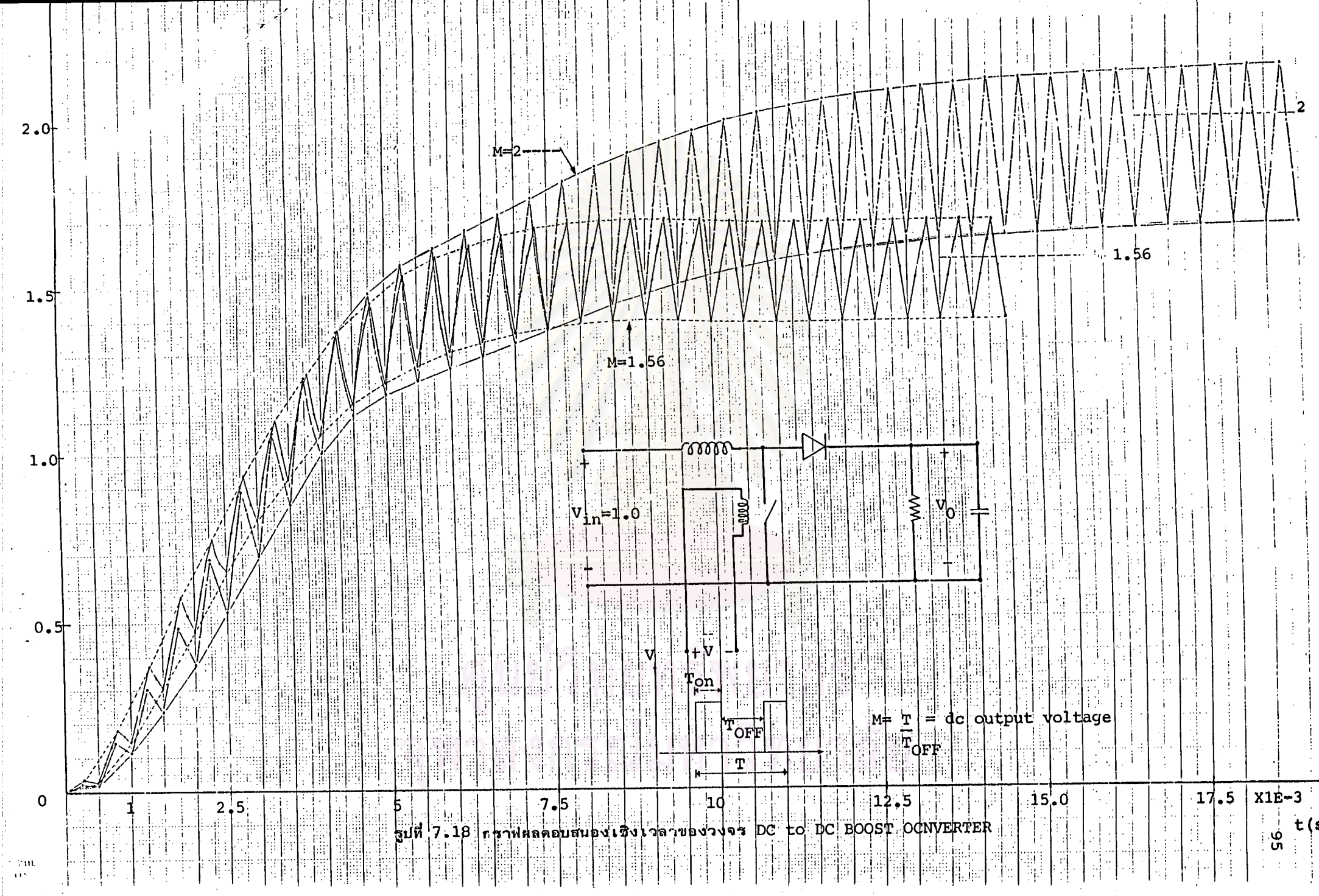
โดยที่ TOFF = เวลาที่สวิตช์เปิดวงจร และ T = เวลาต่อ 1 คาบ

การทดลองตามรูปที่ 7.17 นี้เราให้ T:TOFF = 5:3 และ 2:1 ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 7.18 ได้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงผลการคำนวณทางทฤษฎี



รูปที่ 7.17 วงจรขยายไฟตรง

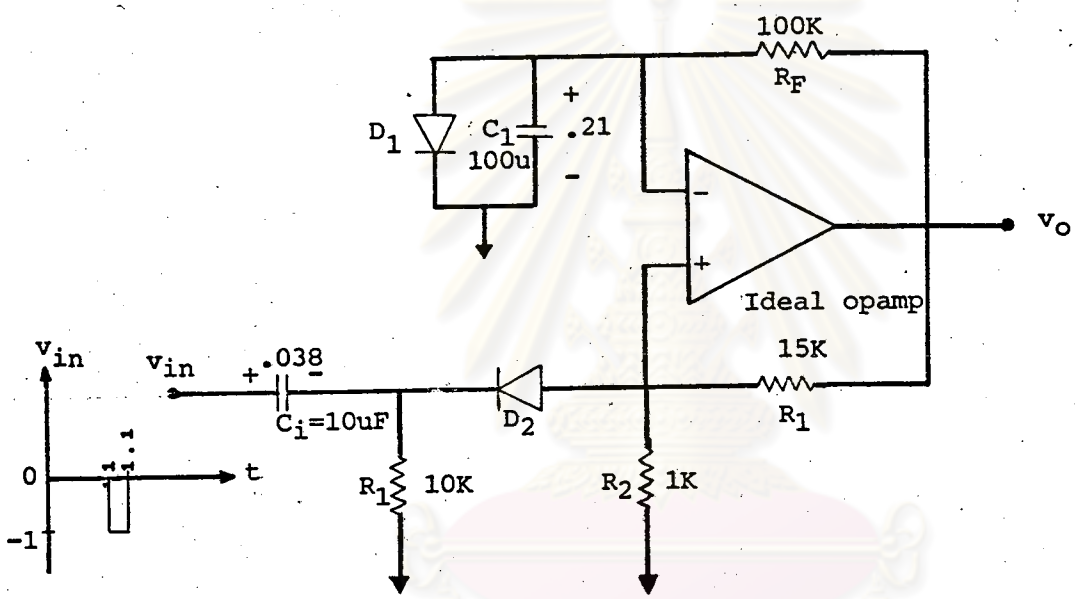
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.18 กราฟผลตอบสนองเชิงเวลาของวงจร DC to DC BOOST OCNVERTER

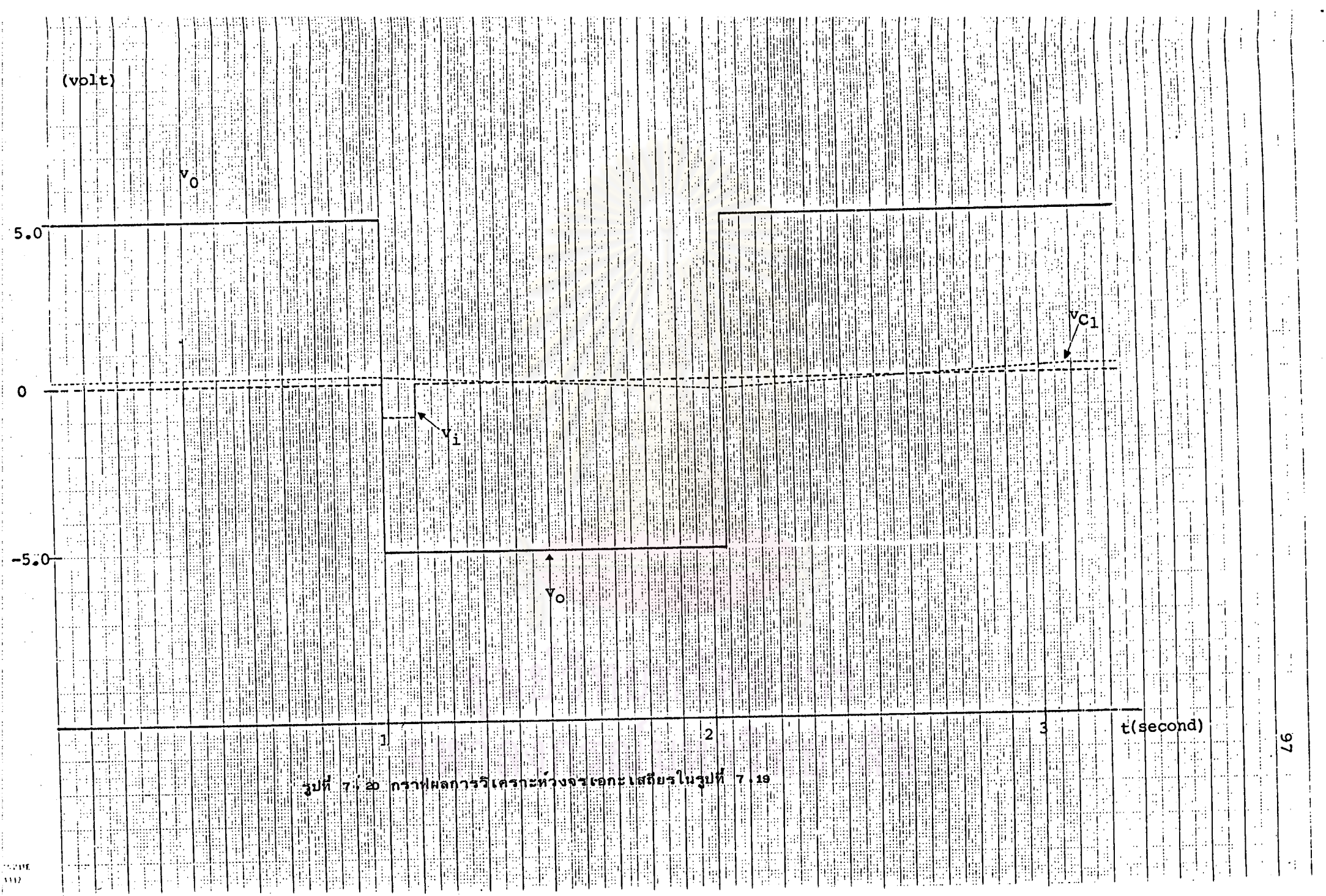
7.8 วงจรเอกะเสถียร (Monostable Multivibrator)

รูปที่ 7.19 เป็นวงจรเอกะเสถียรที่ใช้ออปแอมป์ วงจรนี้เป็นการทดสอบการเปลี่ยนภาวะการทำงานของออปแอมป์ โดยเราออกแบบให้แรงดันเอ้าท์พุท v_o เปลี่ยนค่าเป็น -5 โวลท์ เป็นเวลาประมาณ 1 วินาที ทุกครั้งที่มีสัญญาณทริกเกอร์เข้ามาที่อินพุท (v_{in}) ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังรูป 7.20 ซึ่งมีช่วงพัลส์ของการเปลี่ยนภาวะใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้



รูปที่ 7.19 วงจรเอกะเสถียร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.20 กราฟผลการวิเคราะห์วงจรเอกะเสถียรในรูปที่ 7.19