



ACTIVE DISTRIBUTED RC LINE FILTERS



จัดทําโดย...

นาย พงษ์พันธ์ุ	ตระกูลศรีชัย	34.131120
นาย เหวี่ยวพันธ์ุ	จิรสุวรสกุล	34.131122
นาย มาโนท	พลเกลี้ยง	34.131126

อาจารย์ที่ปรึกษา...

อาจารย์ นิกร สุกขมคันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACTIVE DISTRIBUTED RC LINE FILTERS

REPRESENTED BY...

MR. PONGPUN TRAKULSRICHAJ 34.131120

MR. PREWPAN CHIRASUTSAKUL 34.131122

MR. MANIT PHOLKLIAG 34.131126

PROJECT ADVISOR...

MR. NIKORN SUKUTAMATUNTI

THE PROJECT IS IN PARTIAL FULL FILLMENT OF THE COMPULSION
FOR THE BACHELOR OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY IN ELECTRONICS

MAJOR ELECTRONICS

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ACADEMIC YEAR 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032573

หัวข้อบริษัทยานิพนธ์ : ACTIVE DISTRIBUTED RC LINE FILTERS

รายชื่อผู้จัดทำ : นาย พงษ์พันธุ์ กระกุลศรีชัย 34.131120

นาย เปรี้ยวพันธ์ จิรสุนทรสกุล 34.131122

นาย มานิต ผลเกลี้ยง 34.131126

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ นิกร สุกุมกัมปิติ

หลักสูตรการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา : 2535

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้บริษัทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรการศึกษาปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(.....)

คณะกรรมการตรวจสอบบริษัทยานิพนธ์

.....
ประธานกรรมการ

(.....)
กรรมการ

.....
กรรมการ

(.....)
กรรมการ

.....
กรรมการ

(.....)
กรรมการ

.....
กรรมการ

(.....)

ลิขสิทธิ์บริษัทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE : ACTIVE DISTRIBUTED RC LINE FILTERS
 THESIS EDITOR : MR.PONGPUN TRAKULSRICHAI 34.131120
 MR.PREWPAW CHIRASUTSAKUL 34.131122
 MR.MANIT PHOLKLIAG 34.131126
 PROJECT ADVISOR : MR.NIKON SUKUTAMATUNTI
 THE BACHELOR OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY IN ELECTRONICS
 MAJOR ELECTRONICS DEPARTMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
 FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 ACADEMIC YEAR : 1992

THIS THESIS APPROVED TO A PART OF CURRICULAM THE
 BACHELOR OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY IN ELECTRONICS

..... DEAN OF ENGINEERING
 (-----) FACULTY
 BOARD OF PROJECT EXAMINATION
 BOARD DIRECTOR
 (-----)
 SHAREMAN
 (-----)
 SHAREMAN
 (-----)
 SHAREMAN
 (-----)

THIS COPYRIGHT BELONG TO FACULTY OF ENGINEERING, KING
 MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

กานา

การทดลองในรายงานฉบับนี้ เป็นการนำเอาวงจร URC มาทำการทดลองต่อเป็นวงจรต่างๆ เช่น วงจร Band pass filter , High pass filter และวงจร Low pass filter ซึ่งโดยปกติแล้ว วงจรของตัว URC จะทำหน้าที่เป็นวงจร LPF ผลการทดลองที่อยู่ในรายงานนี้ได้มาจากการวัดค่าของเครื่อง Audio Precision System one และผลการทดลองที่เป็นทฤษฎีได้มาจากการพล็อตโดย Computer Simulation โดยโปรแกรม Power BASIC ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกันมาก และได้แสดงผลการทดลองอยู่ภายในรายงานฉบับนี้แล้ว

บทนา

านการทดลองฉบับนี้ประกอบไปด้วย

1. โครงสร้างของ URC และวงจรแบบจำลองของ URC
2. ทฤษฎีของตัว URC ที่ทำงานเป็น LPF และผลการทดลอง
3. ทฤษฎีของวงจร High pass filter (HPF) โดยาใช้ URC เป็นตัวฟิลเตอร์ และผลการทดลอง
4. ทฤษฎีของวงจร Band pass filter (BPF) โดยาใช้ URC เป็นตัวฟิลเตอร์ และผลการทดลอง
5. ทฤษฎีของวงจร Low pass filter (LPF) โดยาใช้ URC เป็นตัวฟิลเตอร์ และผลการทดลอง
6. การาใช้ Computer Simulation ของวงจรที่าใช้ URC มาเป็นส่วนประกอบ โดยาใช้โปรแกรม Power BASIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

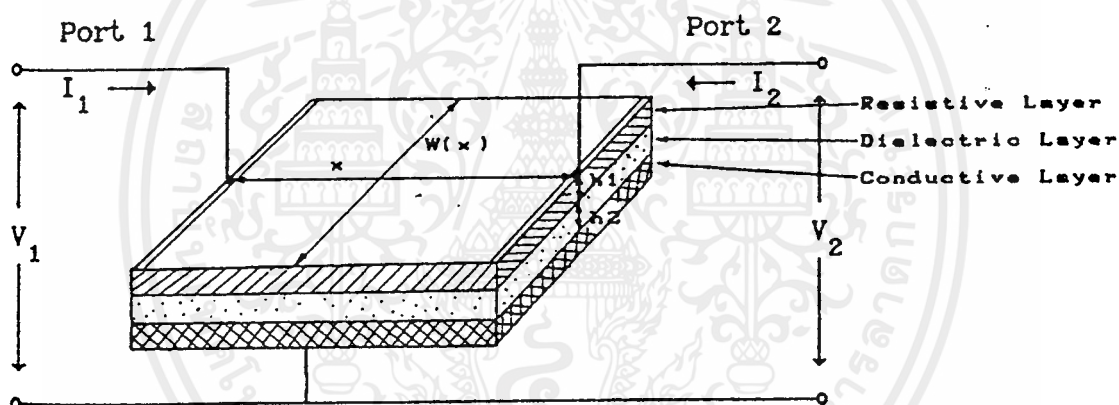
สารบัญ

	หน้า
โครงสร้างของคิสมหริบิวท์อาชี	2
UNIFORMLY DISTRIBUTED RC LINE (URC)	4
- แบบจำลอง URC	
- การทดลอง	
URC LOW PASS FILTER	16
- สมการ Transfer function	
- การทดลอง	
URC HIGH PASS FILTER	27
- แบบที่ 1	
- แบบที่ 2	
- การทดลอง	
URC BAND PASS FILTER	40
- สมการ Transfer function	
- การทดลอง	
ความไวของอุปกรณ์ (SENSITIVITY)	53
- การทดลอง	
- สรุปผลการทดลอง	
สรุปการทำงาน	83
เอกสารอ้างอิง	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของคิสรูปิวที่อาซี

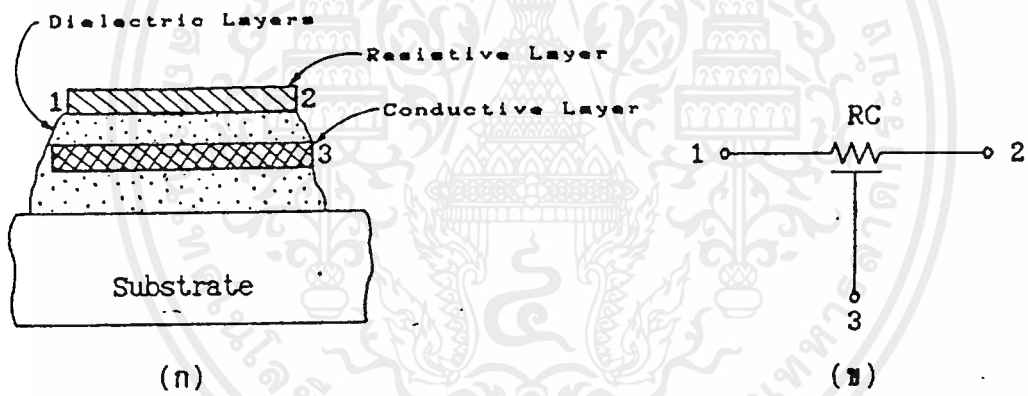
เน็ทเว็กร์แบบคิสรูปิวที่อาซีสามารถทากัฮ้อยู่ภายในไอซี (Passive Integrated Circuit) [11,13] โดยมึ 2 พอรท์และมีโครงสร้างแสดงดังในรูปที่ 1. ซึ่งประกอบกันจึ้นจากส่วนต้ง่าง ๆ ดังนึ้ คึอ ส่วนบนสุดจะเป็นชั้นของควมต้านทาน (Resistive Layer) รองลงมาเป็นชั้นของฉนวน (Dielectric Layer) และชั้นของตัวนำ (Conductive Layer) ความหนาของต้ง่าะชั้นประมาณ 10^{-5} นิ้ว จึงทากัฮ้อยู่จรมึขนาดเล็กมาก (Microcircuits) โดยมีโครงสร้าง 2 อย่างคึอ โครงสร้าง Thin-Film และ โครงสร้าง Monolithic



รูปที่ 1. แสดงโครงสร้างของ 2 พอรท์ Distributed RC

โครงสร้าง Thin-Film ประกอบด้วยชั้นของวัสดุหลายอย่าง ซึ่งวางอยู่บนตัวกลางที่ เหมาะสม (Substrate) ตัวอย่างเช่น แผ่นบาง ๆ ของสาร Dielectric อาจจะถูก Titanate ด้วยแผ่นบางของ Nichrome Resistive Film ซึ่งวางไว้ด้านบน และแผ่น Conductive Copper-Film ซึ่งวางไว้ด้านล่าง หุ้มห่อด้วยสาร Dielectric และอยู่บน Passive Substrate ด้วยวิธี Vaporization หรือ Electrochemical Technique

โครงสร้าง Monolithic ประกอบด้วยชั้นของสารเซมิคอนดักเตอร์ถูกทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เช่น Distributed Resistance ได้มาจาก Lightly Doped เซมิคอนดักเตอร์ และ Distributed Capacitance ได้มาจากการป้อนไบแอสกลับข้างของรอยต่อภายใน P-N จึงจัดชั้น Microcircuit จะถูกนำมาใช้สำหรับ Distributed RC Active Network การทำงานทางไฟฟ้าจากโครงสร้างขึ้นอยู่กับคุณลักษณะการทำงาน ตัวอย่างโครงสร้างของวงจร Uniform Distributed RC [5] ซึ่งอยู่ภายในไอซี แสดงดังรูปที่ 2.(ก) และมีสัญลักษณ์ของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.(ข)

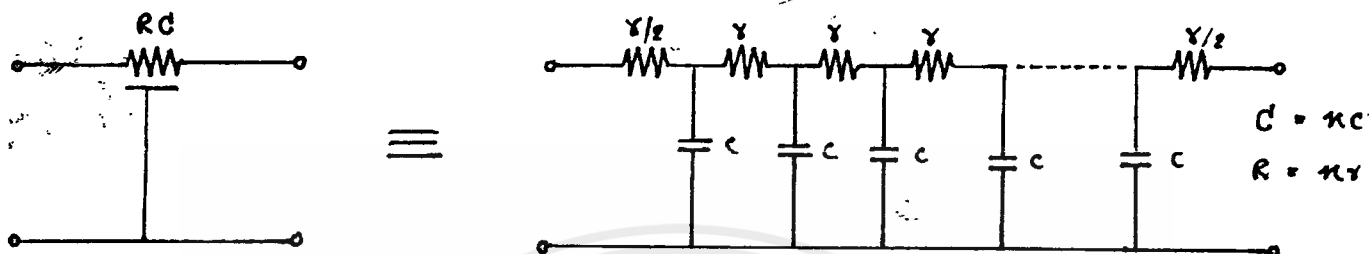


รูปที่ 2. แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของ Uniform Distributed RC

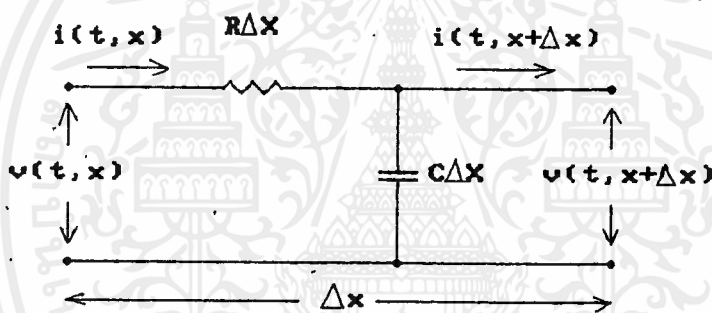
Uniformly Distributed RC Line (URC)

The two-port model ของ URC จะมีคุณสมบัติเป็น Low pass filter

ซึ่งมีรูปแบบมาจากสายส่ง คังรูปข้างล่าง



จากการพิจารณา network ที่แสดงอยู่ในเทอมของสายส่งที่มีความยาวไม่เกิน x โดยใช้สมการ equilibrium equation ของวงจร โดยใช้กฎของเคอร์ชอฟ



$$v(t, x + \Delta x) - v(t, x) = -Ri(t, x)\Delta x \quad (1a)$$

$$i(t, x + \Delta x) - i(t, x) = -\Delta x C \frac{\partial v(t, x + \Delta x)}{\partial t} \quad (1b)$$

ทำการหารสมการ 1 ด้วย Δx และ take limite ให้ Δx เข้าใกล้ศูนย์

จะทำให้สมการอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย

$$\frac{\partial v(t, x)}{\partial x} = -Ri(t, x) \quad (2a)$$

$$\frac{\partial i(t, x)}{\partial x} = -C \frac{\partial v(t, x)}{\partial t} \quad (2b)$$

นำสมการ 2 มาทำการ take laplace โดยเทียบกับเวลา

$$V(s, x) = L[v(t, x)] = \int_0^{\infty} v(t, x) e^{-st} dt \quad (3)$$

เราสามารถที่จะนำสมการ 3 มาหาอนุพันธ์ โดยเทียบกับ x

$$\begin{aligned} L\left[\frac{\partial v(t, x)}{\partial x}\right] &= \int_0^{\infty} \frac{\partial v(t, x)}{\partial x} \cdot e^{-st} dt = \int_0^{\infty} \frac{\partial v(t, x)}{\partial x} e^{-st} dt \\ &= \frac{\partial V(s, x)}{\partial x} \end{aligned} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือการดูเข้าอย่างมีรูปแบบเมื่อเทียบกับ x ซึ่งทราบกันดีว่าสถานะนี้ เราเรียกว่า Boundary Condition และเทียบกับ t เมื่ออยู่ในสถานะเริ่มต้น ถ้าสถานะเริ่มต้น เราสมมติให้เท่ากับศูนย์ สมการทรานส์ฟอร์ม ที่ตอบสนองสมการ (2a) คือ

$$\frac{\partial V(s,x)}{\partial x} = -RI(s,x) \quad \text{----- (5)}$$

เราสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของ Ordinary differential equation

$$\frac{d V(s,x)}{dx} = -RI(s,x) \quad \text{----- (6)}$$

และสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการของกระแส จะได้

$$\frac{d I(s,x)}{dx} = -SC V(s,x) \quad \text{----- (7)}$$

ดิฟเฟอเรนเชียล สมการ (6) เทียบ x และ C ไม่ได้เป็นฟังก์ชันของ x อดยาก็

$$\frac{d^2}{dx^2} V(s,x) = -R \frac{d I(s,x)}{dx} \quad \text{----- (8)}$$

ดิฟเฟอเรนเชียล สมการ (7) เทียบกับ x เช่นเดียวกับ (8)

$$\frac{d^2}{dx^2} I(s,x) = -SCRV = 0 \quad \text{----- (9)}$$

สำหรับสายส่งแบบยูนิฟอร์ม ทำการแทน (7) ลงใน (8) และ (6) ลงใน (9)

$$\frac{d^2}{dx^2} V - SCRV = 0 \quad \text{----- (10 a)}$$

$$\text{และ} \quad \frac{d^2}{dx^2} I - SCRI = 0 \quad \text{----- (10 b)}$$

สมการ (10) อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่สองแบบสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่

$$a_0 d^2y + a_1 dy + a_2 y = 0, \quad (a_0 \neq 0)$$

และคำตอบสมการคือ

$$Y = e^{st} (A \cos w_n t + B \sin w_n t)$$

เมื่อกำหนดค่าให้

$$= -\frac{a_1}{2a_0} \quad \text{และ} \quad w_n = \frac{\sqrt{4a_0a_2 - a_1^2}}{2a_0}$$

A , B ไม่เป็นฟังก์ชันของ X และสามารถกำหนดค่าได้จากสมการ boundary conditions (10 a) และ (10 b) , เมื่อ $a_0 = 1$, $a_1 = 0$,

$$a_2 = -sCR \quad \text{และ} \quad w_n = \frac{-4sCR}{2} = j\sqrt{sCR}$$

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}$$

$$\cos w_n = \cos j\sqrt{sCR} = \frac{e^{-\sqrt{sCR}} + e^{\sqrt{sCR}}}{2} = \cosh \sqrt{sCR}$$

$$\sin w_n = \sinh \sqrt{sCR}$$

เราสามารถทราบได้จาก

$$V(s,x) = A_1 \cosh \sqrt{SCR} x + A_2 \sinh \sqrt{SCR} x \quad (11 a)$$

และ
$$I(s,x) = B_1 \cosh \sqrt{SCR} x + B_2 \sinh \sqrt{SCR} x \quad (11 b)$$

สำหรับสายส่งที่มีความยาว d ซึ่งแสดงโดย two port network สภาวะ boundary ที่ อินพุต คือ $V(s,0)$, $I(s,0)$ และที่เอาต์พุตคือ $V(s,d)$ และ $I(s,d)$ และที่เอาต์พุตคือ $V(s,d)$ และ $I(s,d)$ จากสมการ (11) เมื่อ $x = 0$ เราให้

$$A_1 = V(s,0) , \quad B_1 = I(s,0) \quad (12)$$

ดิฟเฟอเรนเชียล (11) เทียบกับ x และใช้สมการ (6) และ (7) กำหนดค่า $x = 0$ จะได้ผลของ A_2 และ B_2

$$(11 a) ; \quad \frac{d}{dx} V(s,x) = A_1 \frac{d}{dx} \cosh \sqrt{SCR} x + A_2 \frac{d}{dx} \sinh \sqrt{SCR} x$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} V(s,0) &= \{-\sinh \sqrt{SCR} x [\sqrt{SCR} + x d \sqrt{SCR}]\}_{x=0} \\ &+ A_2 \{ \cosh \sqrt{SCR} x [\sqrt{SCR} + x d \sqrt{SCR}]\}_{x=0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -RI(s,0) &= \sqrt{SCR} A_2 \\ A_2 &= -\sqrt{\frac{R}{SC}} I(s,0) = -Z_0 I(s,0) \end{aligned} \quad (13a)$$

$$(11 b) ; \quad \frac{d}{dx} I(s,x) = B_1 \frac{d}{dx} \cosh \sqrt{SCR} x + B_2 \frac{d}{dx} \sinh \sqrt{SCR} x$$

$$\begin{aligned} -SCV(s,0) &= \sqrt{SCR} B_2 \\ B_2 &= -\sqrt{\frac{SC}{R}} V(s,0) = -\frac{1}{Z_0} V(s,0) \end{aligned} \quad (13b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ Z_0 คือค่า characteristic impedance ของ uniform line = R/SC
อินพุตและเอาต์พุตของ two port RC line แสดงอยู่ในสมการ (11),(12)และ(13)
แทนสมการ (12)และ(13) ลงใน (11)

$$V(s,d) = V(s,o) \cosh \sqrt{SCR} d - I(s,o) Z_0 \sinh \sqrt{SCR} d \quad (15a)$$

$$-I(s,d) = [V(s,o) \sinh \sqrt{SCR} d] / Z_0 - I(s,o) \cosh \sqrt{SCR} d \quad (15b)$$

เมื่อเขียนอยู่ในรูปเมตริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} V(s,d) \\ -I(s,d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{SCR} d & Z_0 \sinh \sqrt{SCR} d \\ [\sinh \sqrt{SCR} d] / Z_0 & \cosh \sqrt{SCR} d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(s,o) \\ -I(s,o) \end{bmatrix} \quad (16)$$

เราจะแทนค่าต่างๆ โดยใช้สัญลักษณ์ AA BB CC DD

$$\begin{aligned} AA &= \cosh \sqrt{SCR} d & BB &= Z_0 \sinh \sqrt{SCR} d \\ CC &= [\sinh \sqrt{SCR} d] / Z_0 & DD &= \cosh \sqrt{SCR} d \end{aligned} \quad (17)$$

ซึ่งพารามิเตอร์ AA BB CC DD จะนำไปทำการเปลี่ยนเป็นค่าพารามิเตอร์

อิมพีแดนซ์วงจรมืด Z_{ij} และค่าแอดมิตแตนซ์ชอร์ตเซอร์กิต Y_{ij}

จากการใช้สูตรการเปลี่ยน จากตาราง 1-1

$$\begin{bmatrix} Z_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DD/CC & 1/CC \\ \Delta AA/CC & AA/CC \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} Y_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AA/BB & -1/BB \\ -\Delta AA/BB & DD/BB \end{bmatrix}$$

$$\text{เมื่อ } \Delta AA = AA_{11} \cdot AA_{22} - AA_{12} \cdot AA_{21}$$



ดังนั้นพารามิเตอร์ของ ยูนิฟอร์ม อาร์ซีไลน์ คือ

$$\begin{bmatrix} Z_{ij} \end{bmatrix} = \sqrt{R/SC} \begin{bmatrix} \frac{\cosh\sqrt{SCR} d}{\sinh\sqrt{SCR} d} & \frac{1}{\sinh\sqrt{SCR} d} \\ 1 & \frac{\cosh\sqrt{SCR} d}{\sinh\sqrt{SCR} d} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$= R/\sqrt{SCR} \sinh\sqrt{SCR} d \begin{bmatrix} \cosh\sqrt{SCR} d & 1 \\ 1 & \cosh\sqrt{SCR} d \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{ij} \end{bmatrix} = \sqrt{SC/R} \begin{bmatrix} \frac{\cosh\sqrt{SCR} d}{\sinh\sqrt{SCR} d} & -\frac{1}{\sinh\sqrt{SCR} d} \\ -\frac{1}{\sinh\sqrt{SCR} d} & \frac{\cosh\sqrt{SCR} d}{\sinh\sqrt{SCR} d} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$= \sqrt{SCR/R} \sinh\sqrt{SCR} d \begin{bmatrix} \cosh\sqrt{SCR} d & -1 \\ -1 & \cosh\sqrt{SCR} d \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าความยาว d เท่ากับ unity ค่าพารามิเตอร์ของ open-circuit impedance และ short-circuit admittance ของ URC คือ

$$[Z] = R/\sqrt{SCR} \sinh\sqrt{SCR} \begin{bmatrix} \cosh\sqrt{SCR} & 1 \\ 1 & \cosh\sqrt{SCR} \end{bmatrix} \quad (22)$$

และ $[Y] = \sqrt{SCR}/R \sinh\sqrt{SCR} \begin{bmatrix} \cosh\sqrt{SCR} & -1 \\ -1 & \cosh\sqrt{SCR} \end{bmatrix} \quad (23)$

จากสมการ two-port admittance

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \quad (24a)$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \quad (24b)$$

ให้ค่า $I_2 = 0$ เราจะได้ค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

$$V_2/V_1 = -Y_{21}/Y_{22} = 1/\cosh\sqrt{SCR} \quad \text{เมื่อ } I_2=0 \quad (25)$$

โดยการกระจายอนุกรมกำลังของฟังก์ชัน $\cosh x$

$$\begin{aligned} \cosh\sqrt{SCR} &= 1 + \frac{(\sqrt{SCR})^2}{2!} + \frac{(\sqrt{SCR})^4}{4!} + \frac{(\sqrt{SCR})^6}{6!} + \frac{(\sqrt{SCR})^8}{8!} + \dots \\ &= 1 + \frac{SCR}{2} + \frac{(SCR)^2}{24} + \frac{(SCR)^3}{720} + \dots \\ &= 1 + SCR/2 = (2+SCR)/2 \end{aligned} \quad (26)$$

* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายจะได้

$$\begin{aligned} V_2/V_1 &= -y_{21}/y_{22} = 1/\cosh SCR = 2/(2+SCR) ; \text{เมื่อ } I_2 = 0 \\ &= 2/(2+SCR) = 2/(2+jwCR) ; \text{เมื่อ } S = jw \end{aligned} \quad (27)$$

จาก $\sqrt{SCR} = \sqrt{jwCR}$; เมื่อ $S = jw$ จะได้

$$(\sqrt{jwCR})^2 = (A+jB)^2 = A^2 - B^2 + j2AB ; \text{ให้ } A = B \quad (28)$$

$$0 + jwCR = A^2 - B^2 + j2AB$$

เทียบสัมประสิทธิ์ ; $A^2 - B^2 = 0$

และ $2AB = wCR$

$$A = \sqrt{wCR/2} = B \quad (29)$$

แทนสมการ (29) ลงใน \sqrt{jwCR}

$$\sqrt{jwCR} = \sqrt{wCR/2} + j\sqrt{wCR/2}$$

ให้ $t = \sqrt{wCR/2}$;

$$\sqrt{SCR} = \sqrt{jwCR} = t + jt$$

ดังนั้น

$$V_2/V_1 = 1/\cosh(t+jt) = 1/[\cosht \cdot \cost + j\sinht \cdot \sint] \quad (30)$$

ค่าสมมูลของ (30) จะอยู่ในรูป

$$\left| V_2/V_1 \right| = \frac{1}{\sqrt{\cosh^2 \sqrt{wCR/2} \cdot \cos^2 \sqrt{wCR/2} + \sinh^2 \sqrt{wCR/2} \cdot \sin^2 \sqrt{wCR/2}}}$$

และความสัมพันธ์ระหว่าง $\left| V_2/V_1 \right|$ และ w คือ $R = 100k$, $C = 500 \text{ pf}$

```

'***** GRAPH URC *****
CLS
SCREEN 9 :DEFDBL R,J,A,B,X,Y,Z
PRINT "* URC *"
INPUT "X:(X1-X2)Hz=";X1,X2 :XW1=INT(LOG10(X1))
                :XW2=INT(LOG10(X2))
INPUT "Y:(Y1-Y2)dB=";Y1,Y2 :YW1=Y1 :YW2=Y2
WINDOW SCREEN(XW1,-YW2)-(XW2,-YW1) :NX1=XW1 :NX2=XW2
VIEW (239,1)-(638,300),,2
LINE (XW1,0)-(XW2,0),2

CCC:
INPUT "STEP(Y)dB >>";YSTEP
SELECT CASE YSTEP
CASE >0
GOTO DDD
CASE ELSE
GOTO CCC
END SELECT

DDD:
C=3 :BB=1
FOR N=NX1 TO NX2 STEP 1
FOR ST=1*10^N TO 10*10^N STEP 10^N
STW=LOG10(ST)
LINE (STW,-YW2)-(STW,-YW1),2
NEXT
NEXT

FOR ST=YSTEP TO Y2 STEP YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST
FOR ST=YSTEP TO Y1 STEP -YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST

'***** URC PLOT *****
EEE:
DEF FNCH(T)=(EXP(T)+EXP(-T))/2
DEF FNSH(T)=(EXP(T)-EXP(-T))/2
IF X1>0 THEN S=1 ELSE S=X1

INPUT "STEP log(w2/w1)=";ST
SELECT CASE ST
CASE 0.001 TO 100
GOTO AAA
CASE ELSE
GOTO EEE
END SELECT

```

```

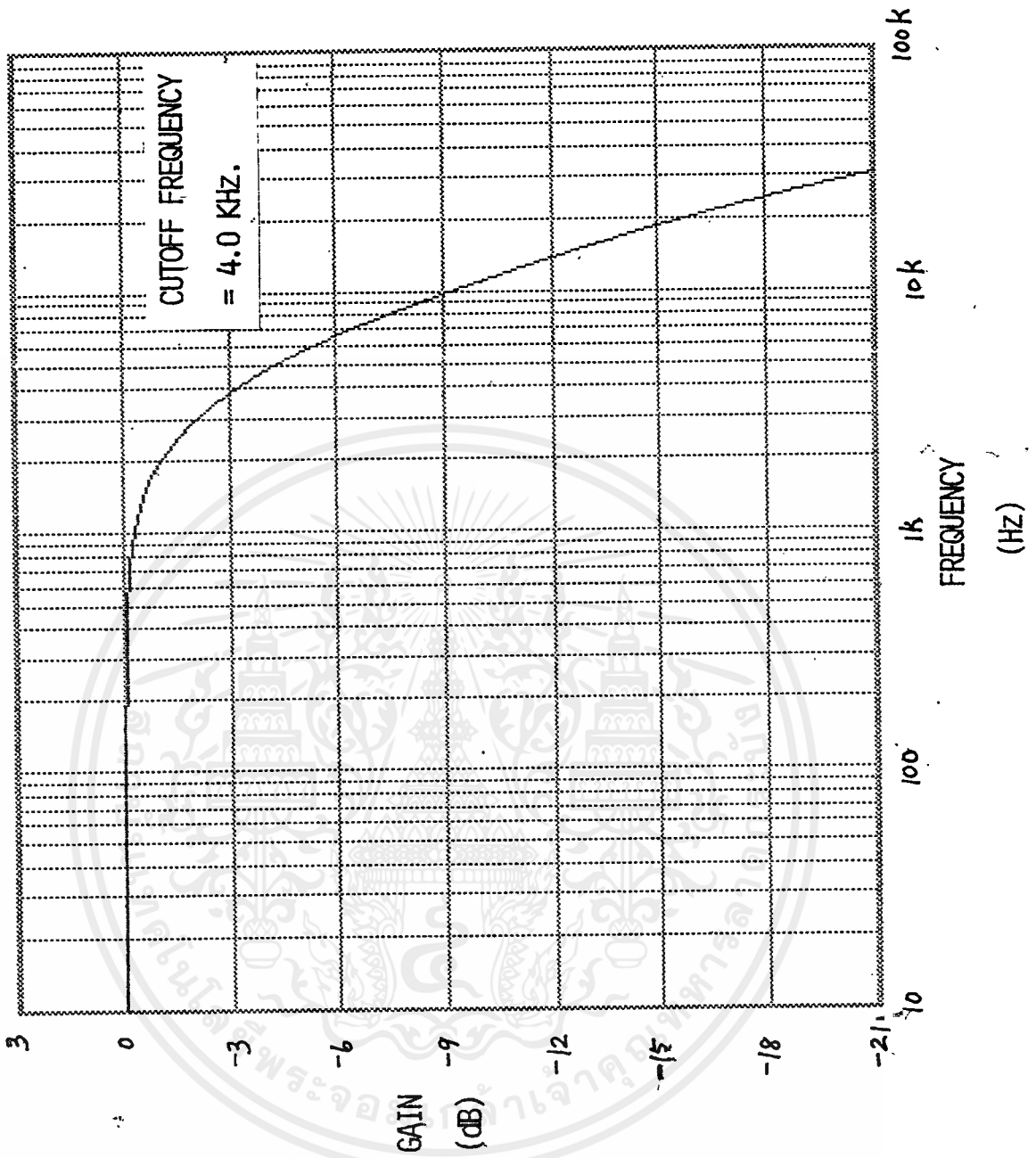
AAA:
INPUT "C=";CC
INPUT "R=";RR
H=1
W=X1
PI=6.283185307

BBB:
T=SQR (W*CC*RR/2)
GOSUB ZZZ
XP=LOG10(W)-LOG10(2*PI) :Y=20*LOG10(Z)

'LPRINT X,Y
IF I=0 THEN PSET(XP,-Y) :I=1
LINE -(XP,-Y)
IF W<10*X2 THEN W=W*10^ST :GOTO BBB
END

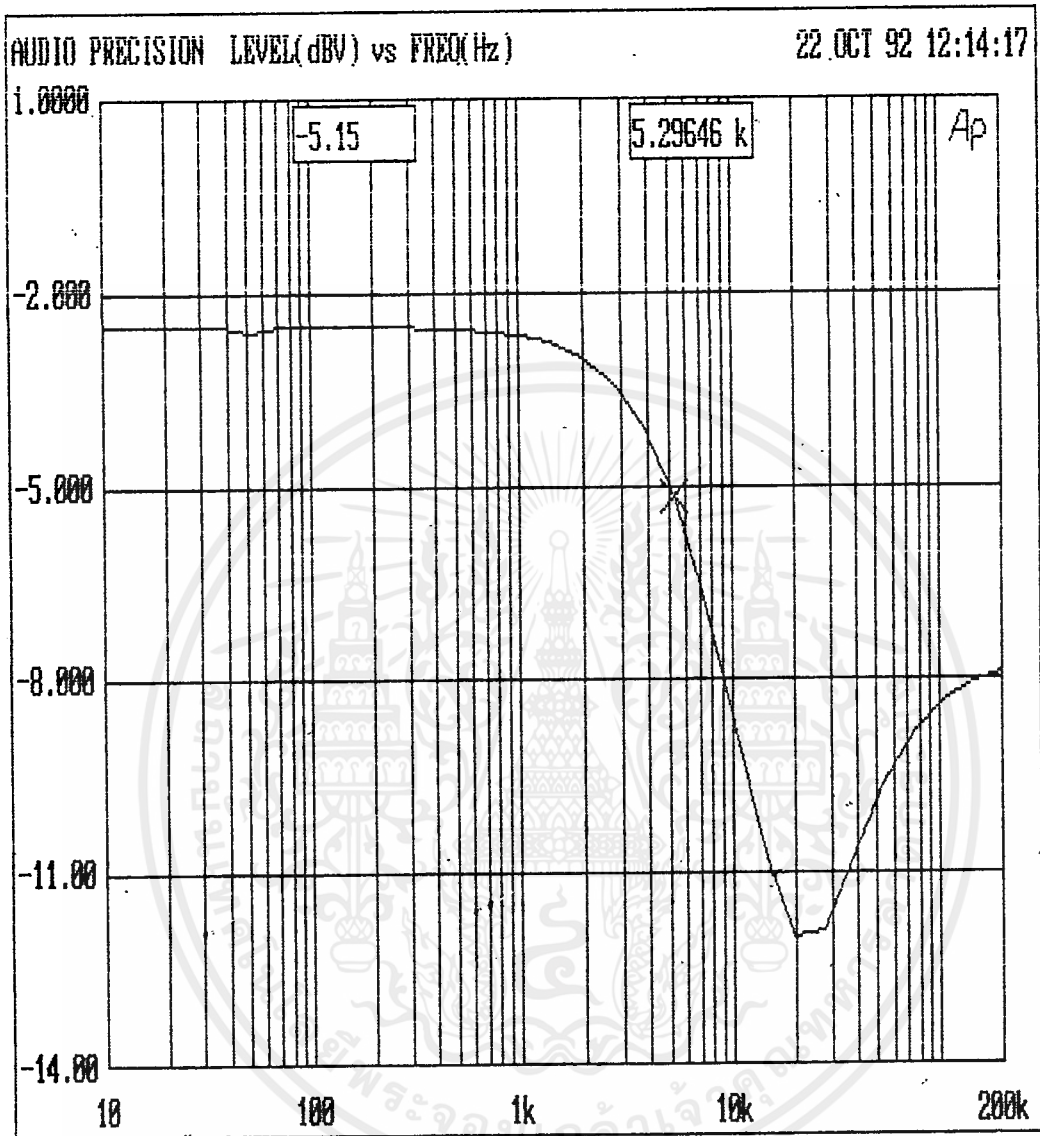
ZZZ:
R1=1
J1=0
AA= H*SQR(R1^2+J1^2)
R2= FNCH(T)*COS(T)
J2= FNSH(T)*SIN(T)
BB= SQR(R2^2+J2^2)
Z=AA/BB
RETURN

```



```
* URC *
X:(X1-X2)Hz=? 10,100E3
Y:(Y1-Y2)dB=? -21,3
STEP(Y)dB >>? 3
STEP log(w2/w1)=? 0.01
C=? 500E-12
R=? 100E3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



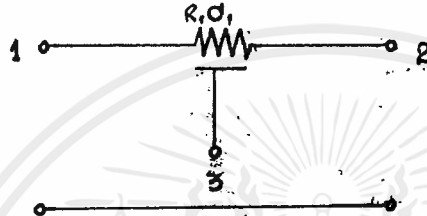
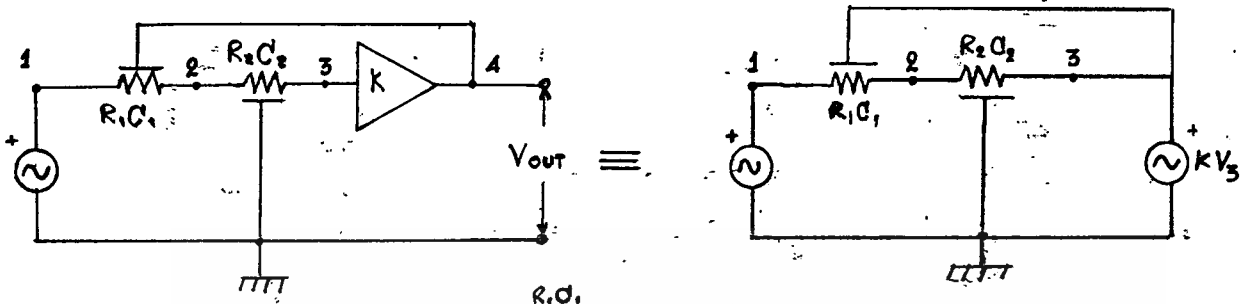
* URC *

$r = 10 \text{ k}$

$c = 50 \text{ pf}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

URC LOW PASS FILTER



$$Y_1 = X_1 \begin{bmatrix} Y_1 & -1 & 1-Y_1 \\ -1 & Y_1 & 1-Y_1 \\ 1-Y_1 & 1-Y_1 & 2(Y_1-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 Y_1 & -X_1 & X_1(1-Y_1) \\ -X_1 & X_1 Y_1 & X_1(1-Y_1) \\ X_1(1-Y_1) & X_1(1-Y_1) & 2X_1(Y_1-1) \end{bmatrix}$$

$$Y_2 = X_2 \begin{bmatrix} Y_2 & -1 \\ -1 & Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_2 Y_2 & -X_2 \\ -X_2 & X_2 Y_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ 0 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 Y_1 & -X_1 & 0 & X_1(1-Y_1) \\ -X_1 & X_1 Y_1 + X_2 Y_2 & -X_2 & X_1(1-Y_1) \\ 0 & -X_2 & X_2 Y_2 & 0 \\ \leftarrow \text{Indicated in the term of } V_3 \rightarrow & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 Y_1 & -X_1 & X_1(1-Y_1) \\ -X_1 & X_1 Y_1 + X_2 Y_2 & X_1(1-Y_1) - X_2/K \\ 0 & -X_2 & X_2 Y_2/K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

Note $X_2 V_3 = X_2 (V_4/K)$

$$V_1 = \Delta_1 / \Delta ; \quad V_2 = \Delta_2 / \Delta ; \quad V_4 = \Delta_4 / \Delta$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} I_1 & -X_1 & X_1(1-Y_1) \\ 0 & X_1 Y_1 + X_2 Y_2 & X_1(1-Y_1) - X_2/K \\ 0 & -X_2 & X_2 Y_2/K \end{vmatrix} \\ &= I_1 \left[(X_1 Y_1 + X_2 Y_2)(X_2 Y_2)/K + X_2(X_1 - X_1 Y_1) - X_2^2/K \right] \\ &= I_1 X_2 \left[(X_1 Y_1 + X_2 Y_2) Y_2/K + X_1(1-Y_1) - X_2/K \right] \end{aligned}$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} X_1 Y_1 & -X_1 & I_1 \\ -X_1 & X_1 Y_1 + X_2 Y_2 & 0 \\ 0 & -X_2 & 0 \end{vmatrix} = -I_1 X_1 X_2$$

$$V_4/V_1 = \Delta_4/\Delta_1 = [KX_1] / [(X_1 Y_1 + X_2 Y_2) Y_2 - X_2 - X_1(Y_1 - 1)K]$$

ให้ $P = \sqrt{SCR}$; โดยที่ $X = P/R \sinh P$ และ $Y = \cosh P$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_4/V_1 = \frac{KP_1/R_1 \sinh P_1}{\frac{P_1 \cosh P_1 \cosh P_2}{R_1 \sinh P_1} + \frac{P_2 \cosh^2 P_2}{R_2 \sinh P_2} - \frac{P_2}{R_2 \sinh P_2} - \frac{P_1 (\cosh P_1 - 1)K}{R_1 \sinh P_1}}$$

ให้ค่า time constant ของ URC ทั้ง 2 เท่ากัน ; $R_1 C_1 = R_2 C_2$

$$R_1/R_2 = C_2/C_1 ; P_1 = P_2 = P$$

$$V_4/V_1 = \frac{KP/R_1 \sinh P}{\frac{P \cosh^2 P}{R_1 \sinh P} + \frac{P \cosh^2 P}{R_2 \sinh P} - \frac{P}{R_2 \sinh P} - \frac{P(\cosh P - 1)K}{R_1 \sinh P}}$$

ทำการคูณด้วย $(R_1 \sinh P) / P$ ทั้งเศษและส่วน

$$V_4/V_1 = K / [(1+\alpha) \cosh^2 P - K(\cosh P - 1) - \alpha]$$

Case 1 Unity gain amplifier ; $K = 1$

$$V_4/V_1 = 1 / [(1+\alpha) \cosh^2 P - \cosh P + 1 - \alpha]$$

Case 2 The same time constant URC ; Let $\alpha = 1$

$$V_4/V_1 = K / [2 \cosh^2 P - K(\cosh P - 1) - 1]$$

```

'***** GRAPH URC LOW PASS FILTER *****
CLS
SCREEN 9 :DEFDBL R,J,A,B,X,Y,Z
PRINT "* URC LPF *"
INPUT"X:(X1-X2)Hz=";X1,X2 :XW1=INT(LOG10(X1))
                                :XW2=INT(LOG10(X2))
INPUT"Y:(Y1-Y2)dB=";Y1,Y2 :YW1=Y1 :YW2=Y2
WINDOW SCREEN(XW1,-YW2)-(XW2,-YW1) :NX1=XW1 :NX2=XW2
VIEW (239,1)-(638,300),,2
LINE (XW1,0)-(XW2,0),2

CCC:
INPUT "STEP(Y)>>";YSTEP
SELECT CASE YSTEP
CASE >0
GOTO DDD
CASE ELSE
GOTO CCC
END SELECT

DDD:
C=3 :BB=1
FOR N=NX1 TO NX2 STEP 1
FOR ST=1*10^N TO 10*10^N STEP 10^N
STW=LOG10(ST)
LINE (STW,-YW2)-(STW,-YW1),2
NEXT
NEXT

FOR ST=YSTEP TO Y2 STEP YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST
FOR ST=YSTEP TO Y1 STEP -YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST

'***** FUNCTION URC LPF *****
EEE:
DEF FNCH(T)=(EXP(T)+EXP(-T))/2
DEF FNCH(T)=(EXP(T)-EXP(-T))/2
IF X1>0 THEN S=1 ELSE S=X1

INPUT"STEP log(w2/w1)=";ST
SELECT CASE ST
CASE 0.001 TO 100
GOTO AAA
CASE ELSE
GOTO EEE
END SELECT

```

```

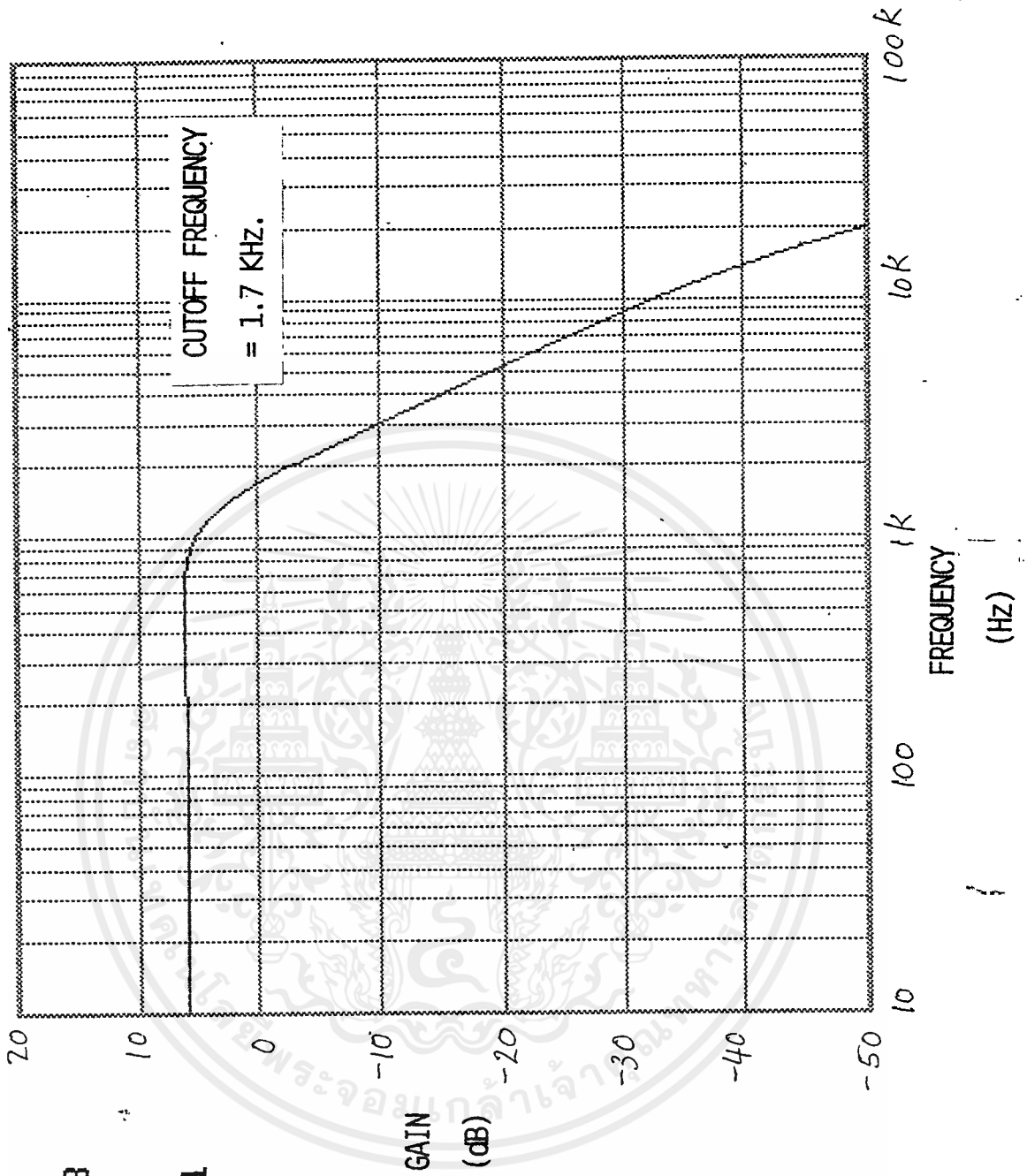
AAA:
INPUT "A1=Gain =";A1
INPUT "A2=R1/R2=";A2
INPUT "A3=R*C =";A3
H=1
W=X1
PI=6.283185307

BBB:
T=SQR ((W*A3)/2)
GOSUB ZZZ
XP=LOG10(W)-LOG10(2*PI) :Y=20*LOG10(Z)

'LPRINT X,Y
IF I=0 THEN PSET(XP,-Y) :I=1
LINE -(XP,-Y)
IF W<10*X2 THEN W=W*10^ST :GOTO BBB
END

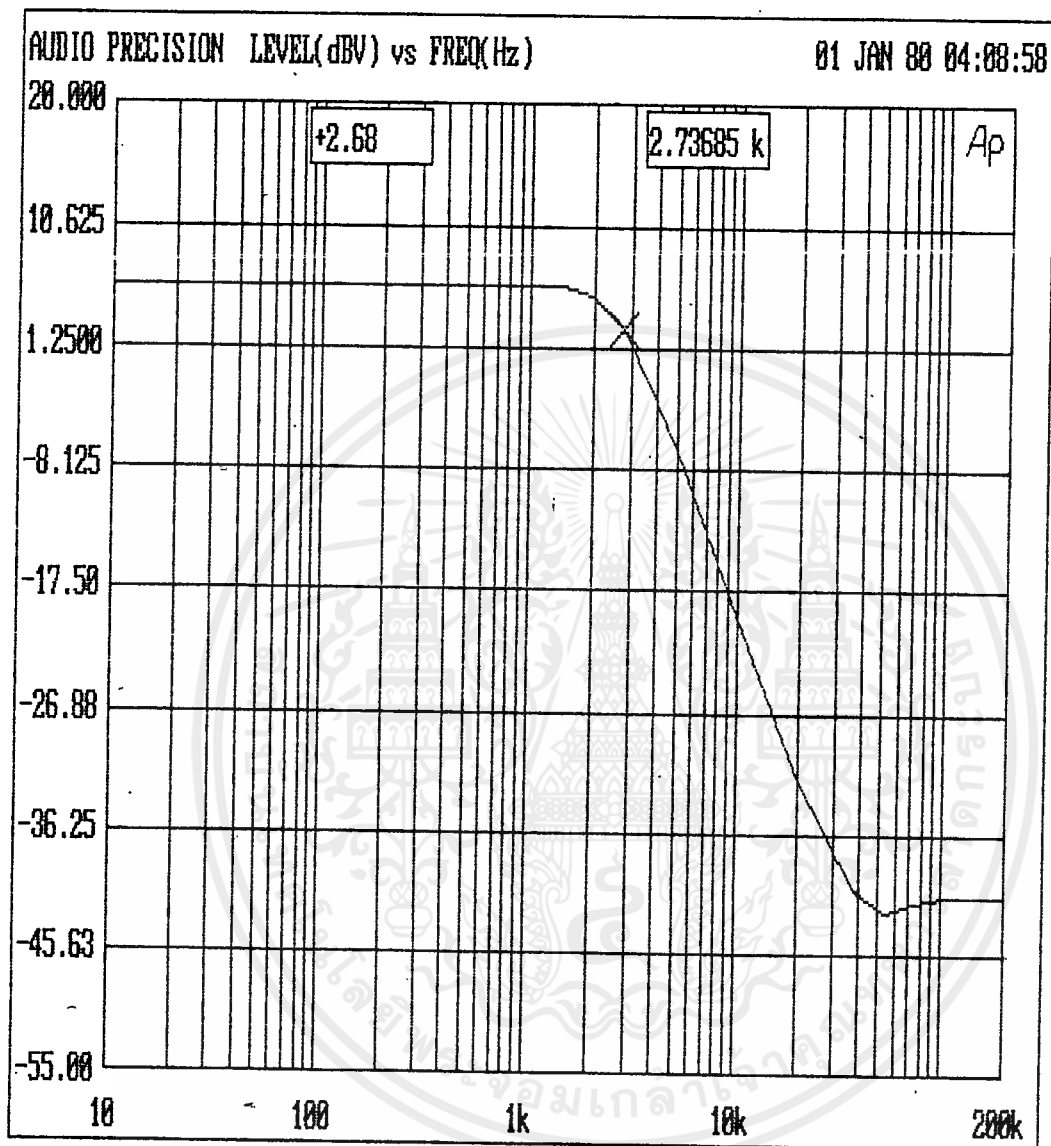
ZZZ:
D1=FNCH(T)*COS(T)
E1=FNSH(T)*SIN(T)
AA=A1
D2=(1+A2)*(D1^2-E1^2)-A1*(D1-1)-A2
E2=2*D1*E1*(1+A2)-A1*E1
BB=SQR(D2^2+E2^2)
Z =AA/BB
RETURN

```



```
* URC LPF *
X:(X1-X2)Hz=? 10,100E3
Y:(Y1-Y2)dB=? -50,20
STEP(Y)>>? 10
STEP log(w2/w1)=? 0:01
A1=Gain =? 2
A2=R1/R2=? 1
A3=R*C =? 100E-6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

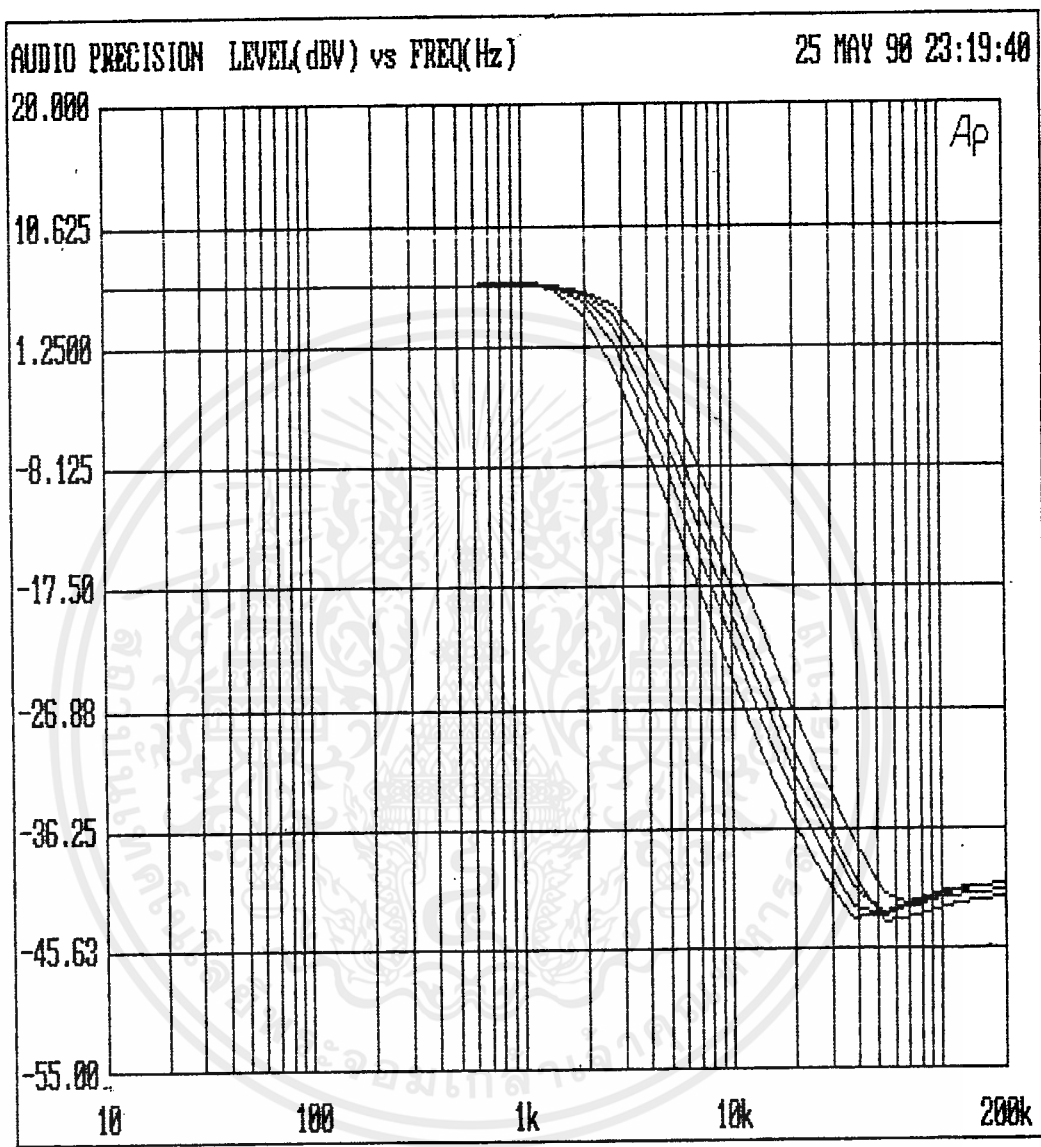


* URC LPF *

$$r1 = r2 = 10 \text{ k}$$

$$c1 = c2 = 100 \text{ pf}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



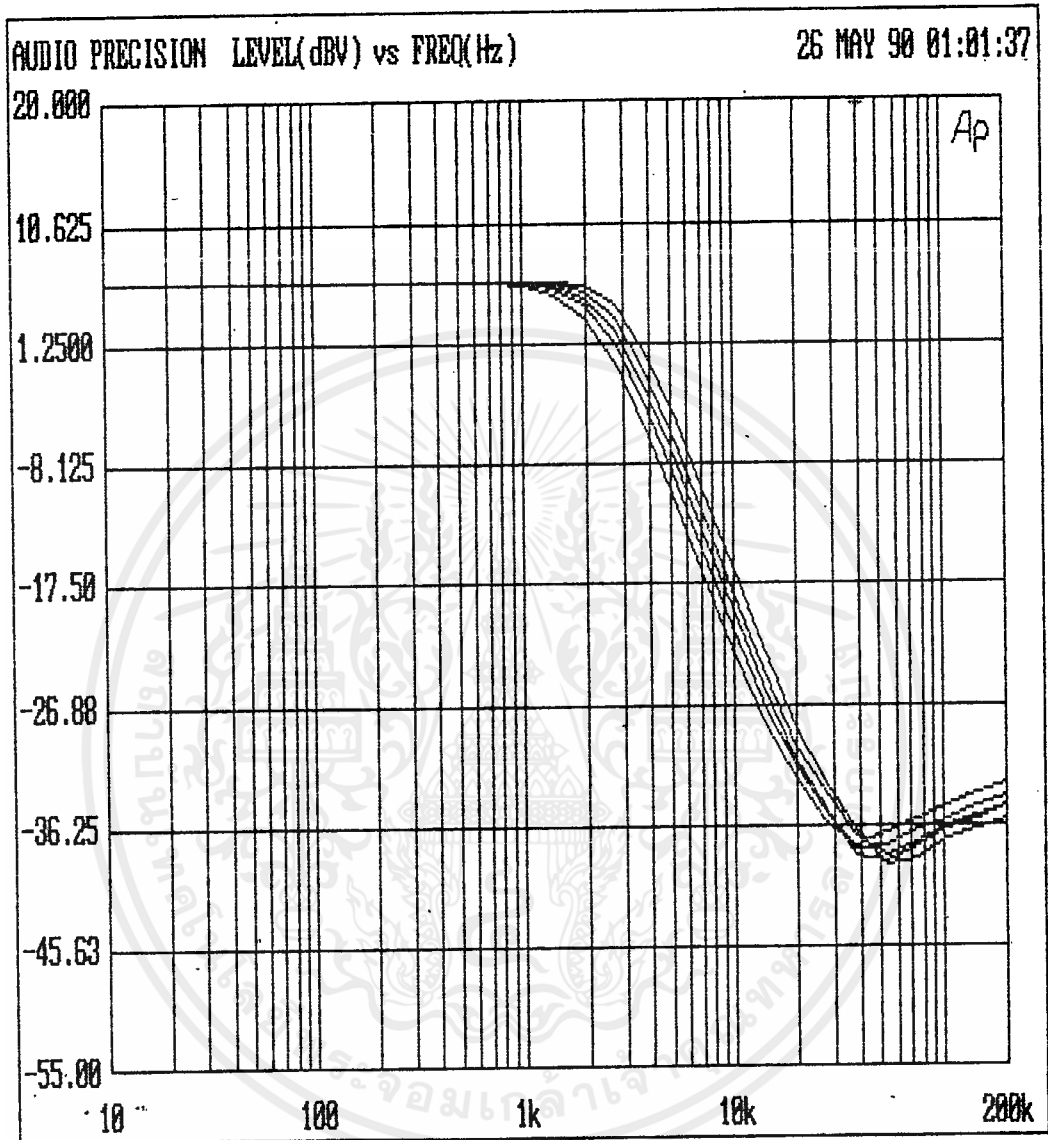
* URC LPF *

- r1 = 6.2k(1)
- = 8.2k(2)
- = 10k(3)
- = 12k(4)
- = 15k(5)

r2 = 10k

c1=c2 = 100 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC LPF *

$$r2 = 6.2k \quad \dots (1)$$

$$= 8.2k \quad \dots (2)$$

$$= 10k \quad \dots (3)$$

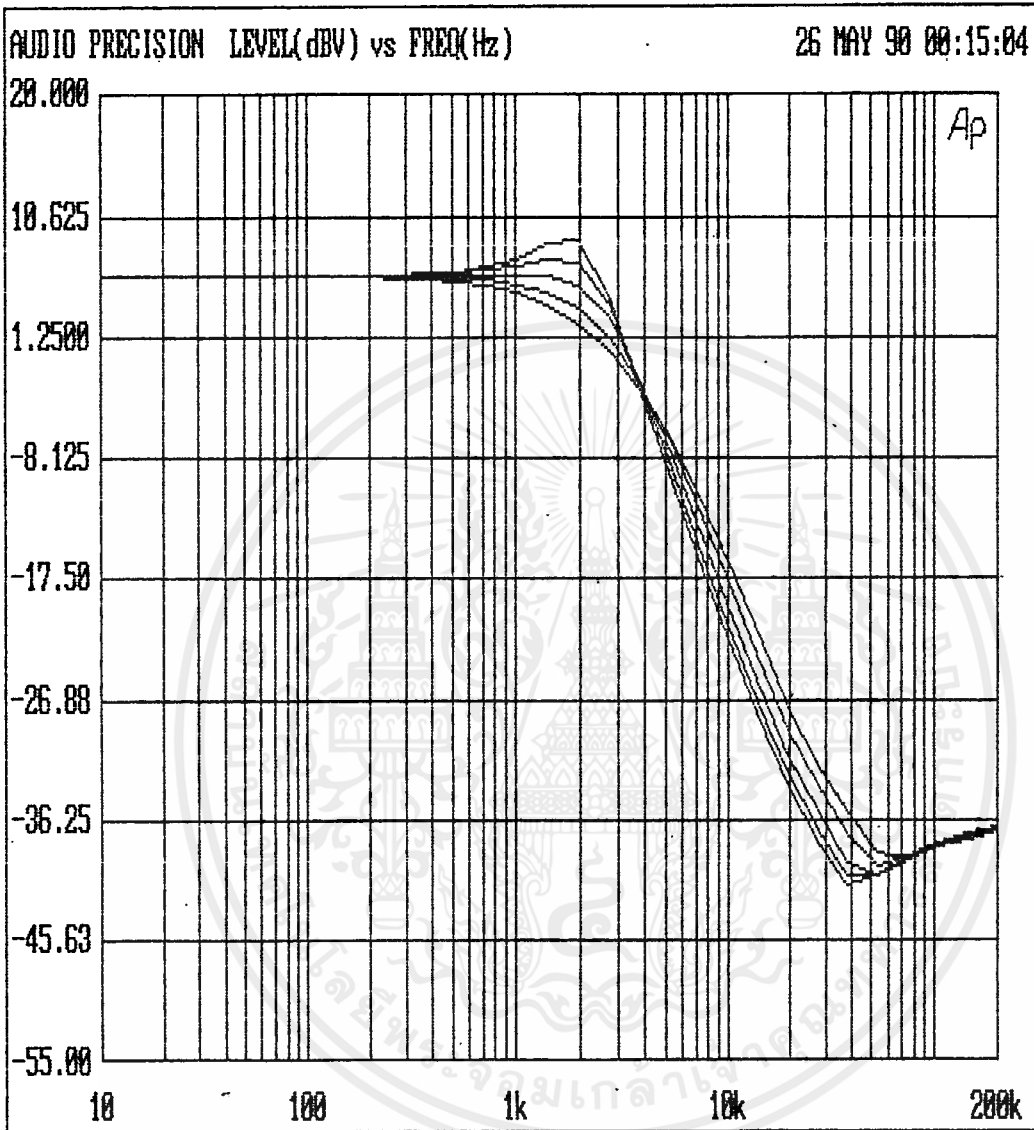
$$= 12k \quad \dots (4)$$

$$= 15k \quad \dots (5)$$

$$r1 = 10k$$

$$c1=c2 = 100 \text{ pF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC LPF *

c1 = 150pf(1)

= 121pf(2)

= 100pf(3)

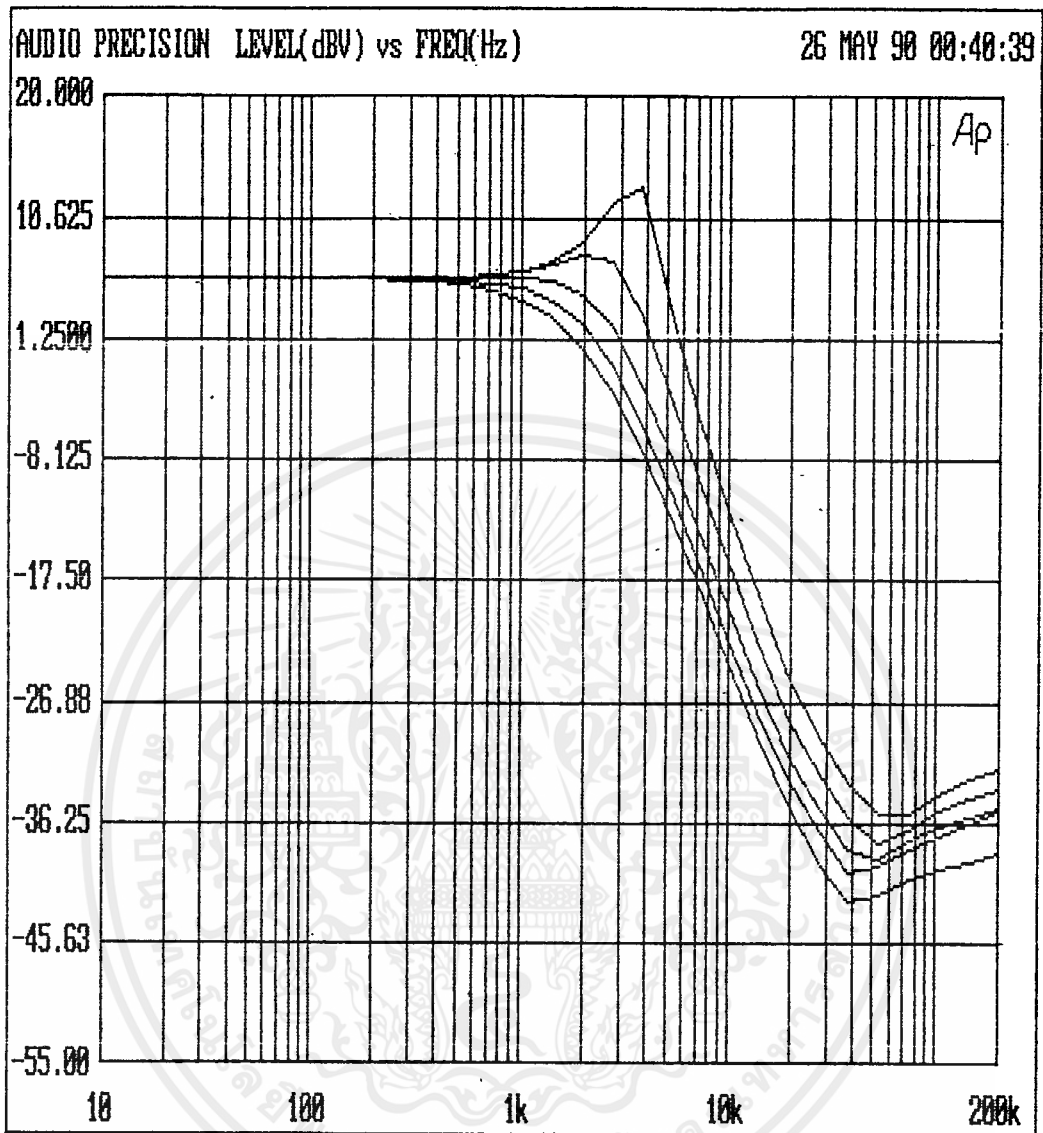
= 75pf(4)

= 50pf(5)

c2 = 100 pF

r1=r2 = 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC LPF *

c2 = 50pf(1)

= 75pf(2)

= 100pf(3)

= 121pf(4)

= 150pf(5)

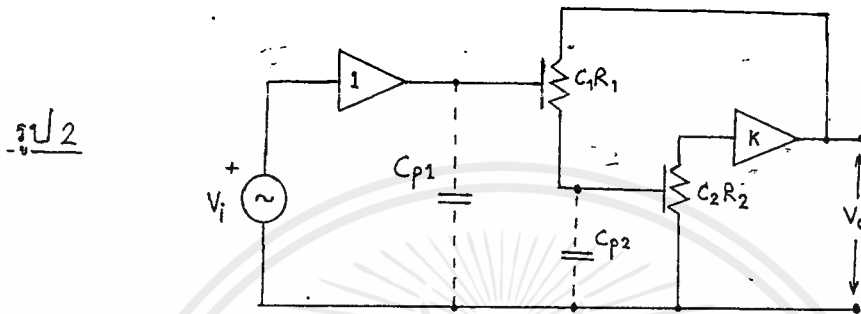
c1 = 100 pF

r1=r2 = 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Active distributed RC high-pass Filter

Case I



ในรูป 2 เป็นวงจร URC Filter แบบ High pass Filter Voltage transfer function $[T(p)=V_{out}/V_{in}]$ ของวงจรหาได้จากสมการ

$$T = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{K(Y_1-1)(Y_2-1)}{(Y_2-1)(\alpha Y_2 + \alpha - K) + \alpha Y_1 Y_2} \quad (2)$$

ในรูป 2 ค่า C_{P1} และ C_{P2} เป็นตัวป้องกันความถี่รบกวนย่านความถี่สูง ๆ

$$\begin{aligned} Y_1 &= \cosh \sqrt{SC_1 R_1} & , & & Y_2 &= \cosh \sqrt{SC_2 R_2} \\ X_1 &= \frac{\sqrt{SC_1 R_1}}{R_1 \sinh \sqrt{SC_1 R_1}} & , & & X_2 &= \frac{\sqrt{SC_2 R_2}}{R_2 \sinh \sqrt{SC_2 R_2}} \end{aligned} \quad (3)$$

ค่า K เป็นค่า gain ของวงจรทางด้าน Voltage ค่า R_1 , R_2 และ C_1 , C_2 เป็นค่า R รวม และ C รวมทั้งหมดของค่า r และ c แต่ละตัวที่อยู่ใน line หรืออยู่ภายในตัว URC Filter

จากสมการ (1) เมื่อให้เป็นกรณี Time constants เท่ากัน คือให้ $Y_1=Y_2=Y=\cosh \sqrt{SCR}$, $R_1/R_2 = C_2/C_1 = \alpha$ และ $C_1 R_1 = C_2 R_2$ แล้ว สามารถลดรูปสมการ

(1) ได้ดังนี้

$$T = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{K (Y-1)^2}{Y^2 (\alpha+1) - KY + K - \alpha} \quad (4)$$

เมื่อที่ $\alpha = 1$, $K = 2$ แล้ว จะได้ค่าความถี่ตอบสนองของวงจร high-pass Filter ดังในรูปที่ 3

การทดลอง

นำค่า Transfer function จากสมการ (4) มาทดลองโดยให้ $K=2$ และ $\alpha=1$ (ในกรณีที่มีค่า Time constants เท่ากัน) โดยเลือกค่า Parameter ต่าง ๆ ดังนี้

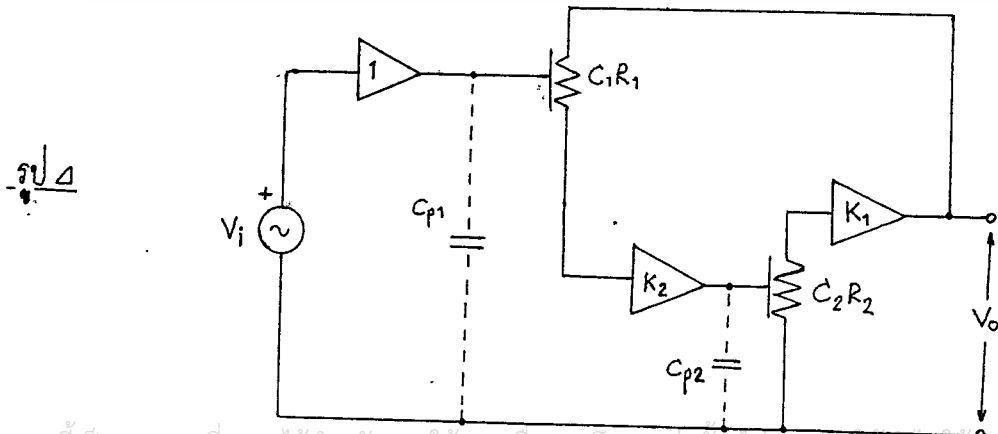
$$R_1 = R_2 = 100[\text{Kohm}]$$

$$C_1 = C_2 = 2000[\text{PF}]$$

$$K = 2, V_i = 1[\text{V}]$$

จากผลการทดลองจะได้ ความถี่ตอบสนองของวงจร ดังในรูปที่ 3 ในทางทฤษฎี ในช่วงความถี่ต่ำ ๆ เราจะได้ค่าของ $C_{p1} = C_{p2}$ เท่ากับศูนย์ ($C_{p1} = C_{p2} = 0$) และในช่วงที่วงจรตอบสนองความถี่สูง ๆ นั้นจะให้ค่า $C_{p1} = C_{p2} = 100 \text{ PF}$ ในการจำลองตัว distributed Rc line หรือตัว URC-Filter นั้นจะให้ตัว R และ ตัว C ต่อกัน 10 section และใช้ Ic μA 741 เป็นตัวขยายสัญญาณวงจร

Case II



ในรูป 4 เป็นวงจร URC = Filter แบบ HPF Voltage transfer function ($T(p) = V_{out}/V_{in}$) ของวงจรคือ

$$T = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{K_1 K_2 (Y_1 - 1) (Y_2 - 1)}{Y_1 Y_2 - K_1 K_2 (Y_2 - 1)} \quad (6)$$

$C_{p1} = C_{p2}$ เป็นตัวป้องกันสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่สูง ๆ

เมื่อให้ $\alpha = 1$, $K_1 K_2 = 2$ แล้ว จะได้ค่าความถี่ตอบสนองของวงจรเหมือนกับ

ในรูป 3 ของ Case I

Parasitic capacitor

ในรูปที่ 4 C_{p1} และ C_{p2} คือ Parasitic capacitors C_{p1} ต่ออยู่ระหว่าง I/P ของวงจร กับ ground และ C_{p2} ต่ออยู่ระหว่าง O/P ของ K_2 กับ ground (Impedance ของ output เท่ากับ 0) เพราะฉะนั้น C_{p1} และ C_{p2} จะไม่มีผลต่อ output ของวงจรเลย

การทดลอง

ให้ $C_1 R_1 = 3.3$, $C_2 R_2 = 1$, $K_1 = 2$, $K_2 = 1$ จากสมการ (6) เลือกค่า Parameters ต่าง ๆ ดังนี้

$$R_1 = R_2 = 100 \text{ [Kohm]}$$

$$C_1 = 2000 \text{ [PF]}, C_2 = 6600 \text{ [PF]}$$

$$K_1 = 2, K_2 = 1, V_1 = 1 \text{ [V]}$$

จากผลการทดลองจะได้ความถี่ตอบสนองของวงจรมีค่าดังในรูปที่ 5 ค่า C_{p1} และ C_{p2} ในช่วงความถี่ต่ำ ๆ จะให้ค่าเท่ากับศูนย์ ($C_{p1} = C_{p2} = 0$) และในช่วงความถี่สูง ๆ จะให้ $C_{p1} = 400 \text{ [PF]}$ และ $C_{p2} = 1360 \text{ [PF]}$ แต่ค่าของ C_{p1} และ C_{p2} นี้จะไม่มีผลต่อความถี่ตอบสนองของวงจรเลย

```

'***** GRAPH URC HIGH PASS FILTER *****
CLS
SCREEN 9 :DEFDBL R,J,A,B,X,Y,Z
PRINT "* URC HPF SINGLE GAIN STAGE *"
INPUT "X:(X1-X2)Hz=";X1,X2 :XW1=INT(LOG10(X1))
                        :XW2=INT(LOG10(X2))
INPUT "Y:(Y1-Y2)dB=";Y1,Y2 :YW1=Y1 :YW2=Y2
WINDOW SCREEN(XW1,-YW2)-(XW2,-YW1) :NX1=XW1 :NX2=XW2
VIEW (239,1)-(638,300),,2
LINE (XW1,0)-(XW2,0),2

CCC:
INPUT "STEP(Y)>>";YSTEP
SELECT CASE YSTEP
CASE >0
GOTO DDD
CASE ELSE
GOTO CCC
END SELECT

DDD:
C=3 :BB=1
FOR N=NX1 TO NX2 STEP 1
FOR ST=1*10^N TO 10*10^N STEP 10^N
STW=LOG10(ST)
LINE (STW,-YW2)-(STW,-YW1),2
NEXT
NEXT

FOR ST=YSTEP TO Y2 STEP YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST
FOR ST=YSTEP TO Y1 STEP -YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST

'***** FUNCTION URC *****
EEE:
DEF FNCH(T)=(EXP(T)+EXP(-T))/2
DEF FNCH(T)=(EXP(T)-EXP(-T))/2
IF X1>0 THEN S=1 ELSE S=X1

INPUT "STEP log(w2/w1)=";ST
SELECT CASE ST
CASE 0.001 TO 100
GOTO AAA
CASE ELSE
GOTO EEE
END SELECT

```

```

AAA:
INPUT "A1=GAIN =" ;A1
INPUT "A2=R*C =" ;A2
INPUT "A3=R1/R2=" ;A3

```

```

H=1
W=X1
PI=3.141592654

```

```

BBB:
T1=SQR ((W*A2)/2)
GOSUB ZZZ
XP=LOG10(W)-LOG10(2*PI) :Y=20*LOG10(Z)

```

```

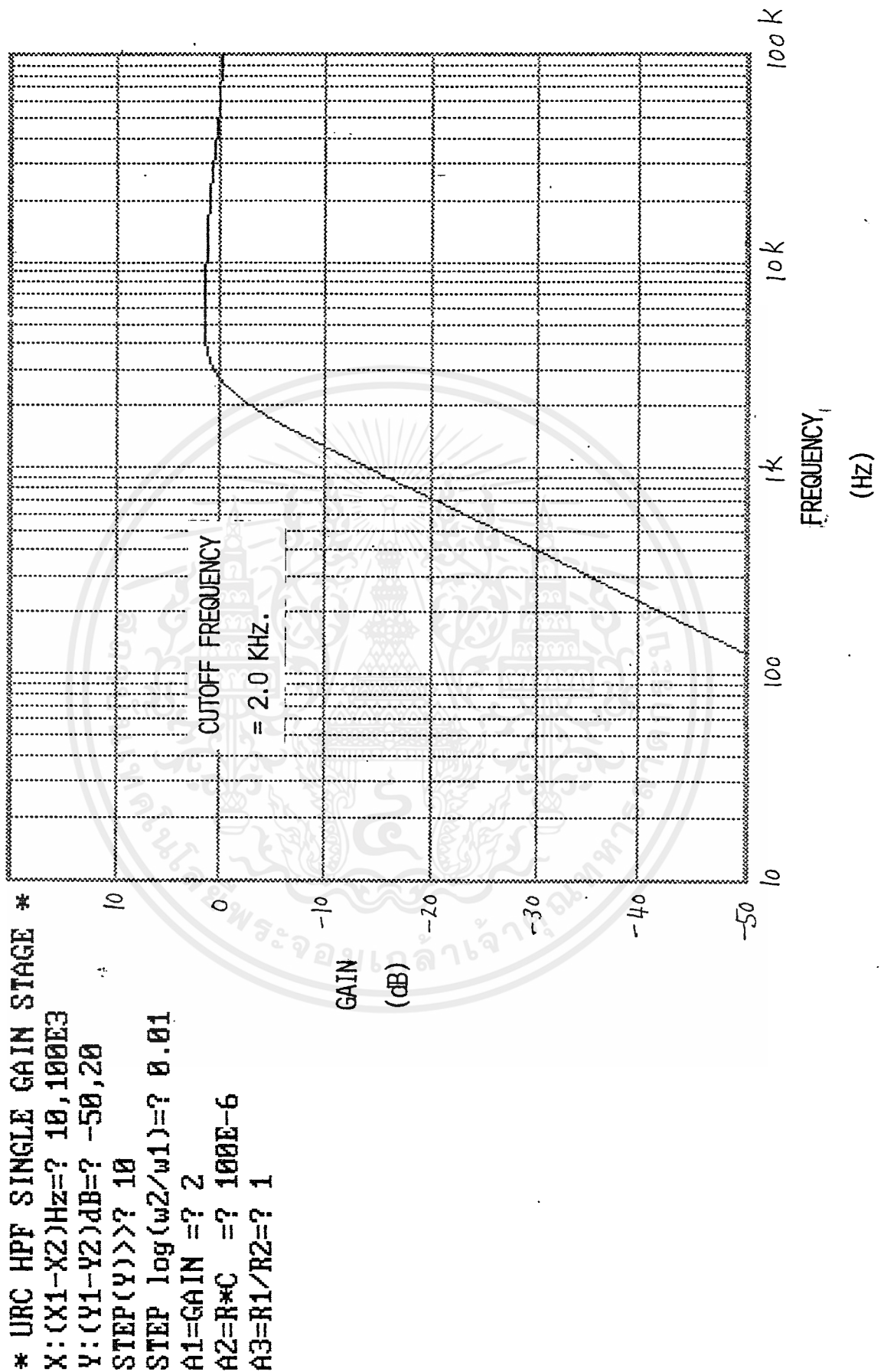
'LPRINT X,Y
IF I=0 THEN PSET(XP,-Y) :I=1
LINE -(XP,-Y)
IF W<10*X2 THEN W=W*10^ST :GOTO BBB
END

```

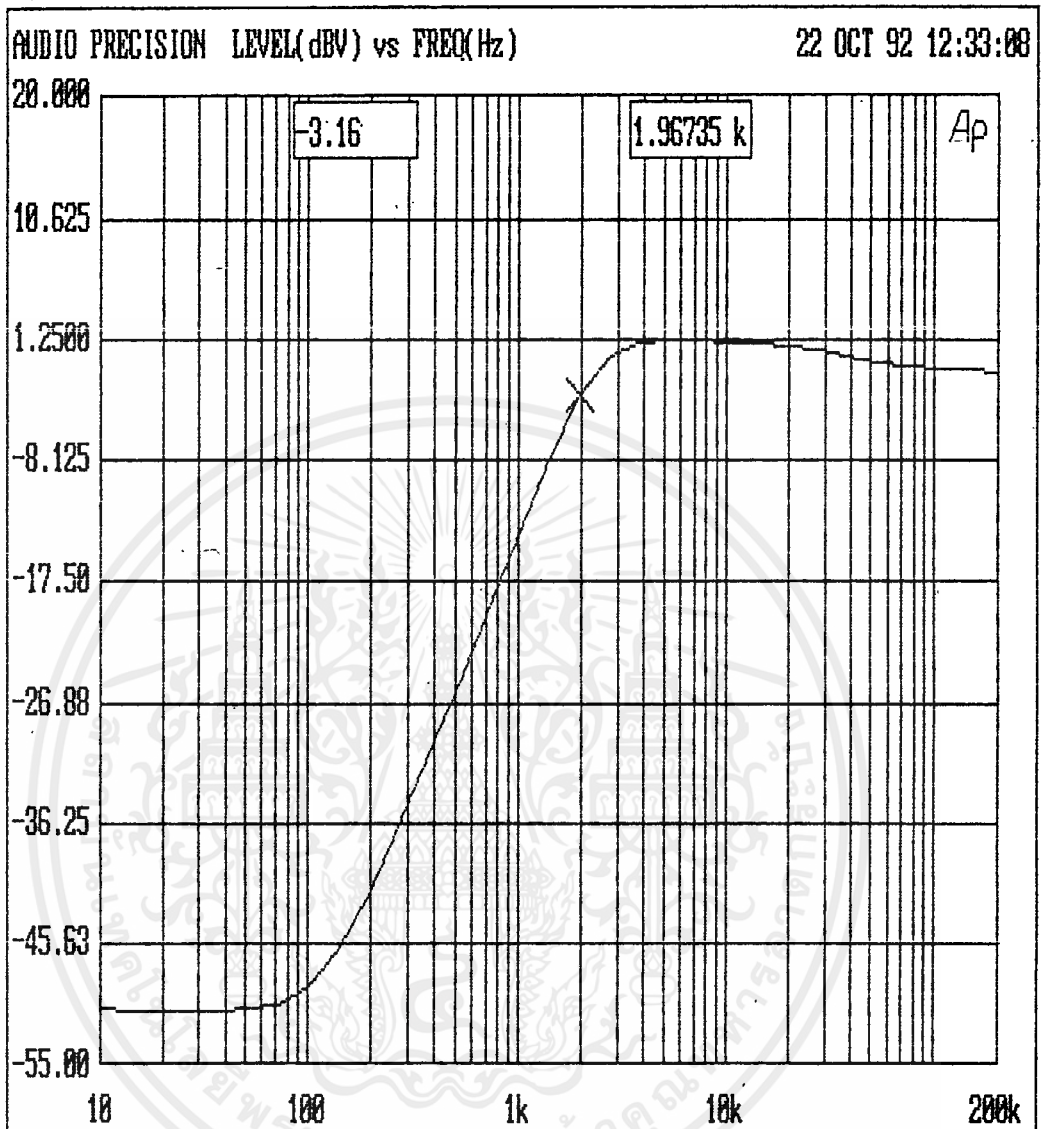
```

ZZZ:
D1=FNSH(T1)*SIN(T1) :E1=FNCH(T1)*COS(T1)
M1=A1*(E1*(E1-2)-(D1^2)+1)
L1=2*A1*D1*(E1-1)
AA=SQR(M1^2+L1^2)
M=(1+A3)*((E1^2)-(D1^2))-A1*(E1-1)-A3
L=D1*(2*(1+A3)*E1-A1)
BB=SQR(M^2+L^2)
Z =AA/BB
RETURN

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

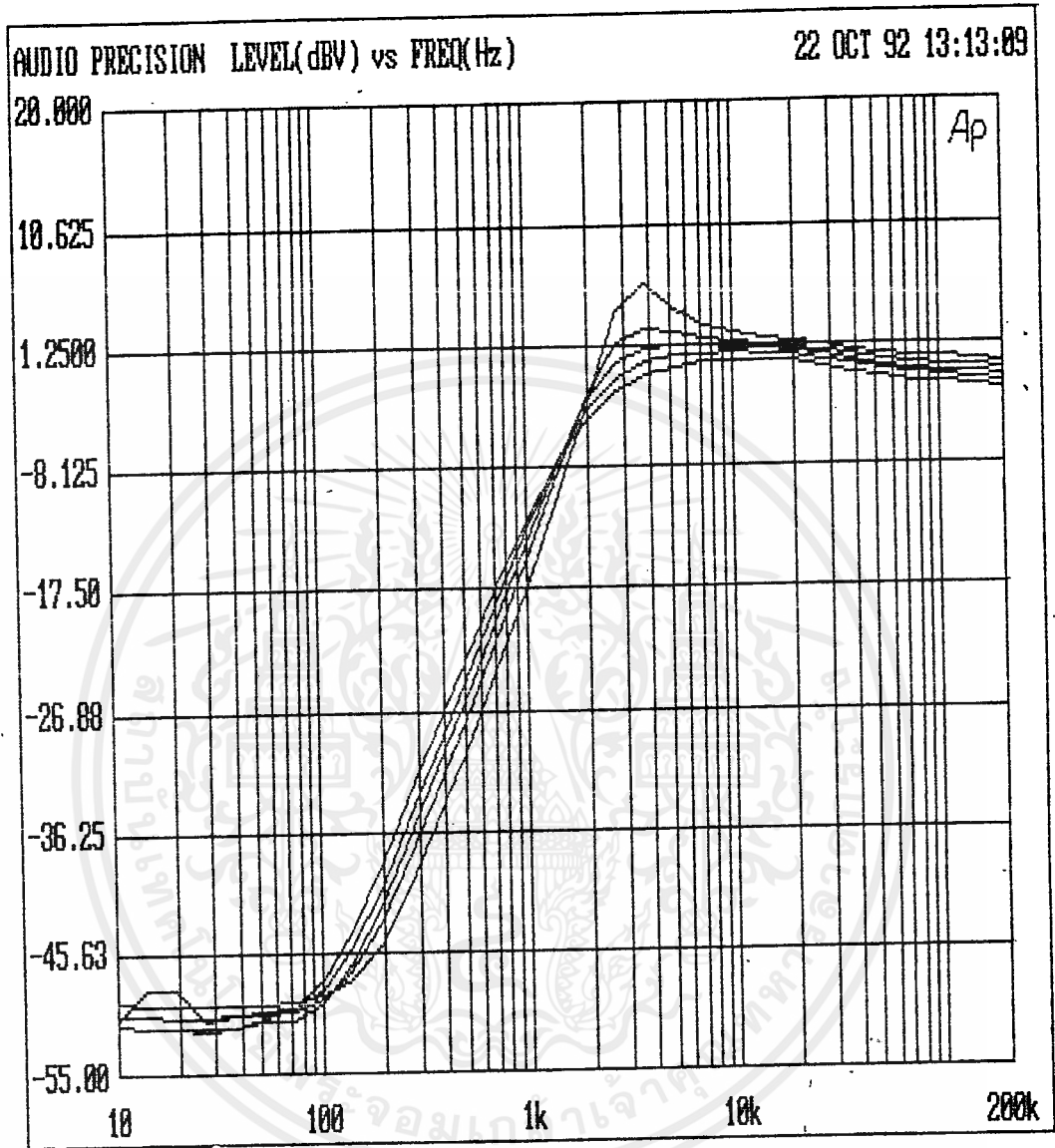


* URC HPF *

$r1 = r2 = 10 \text{ k}$

$c1 = c2 = 100 \text{ pf}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC. HPF *

r1 = 6.2k (1)

= 8.2k (2)

= 10k (3)

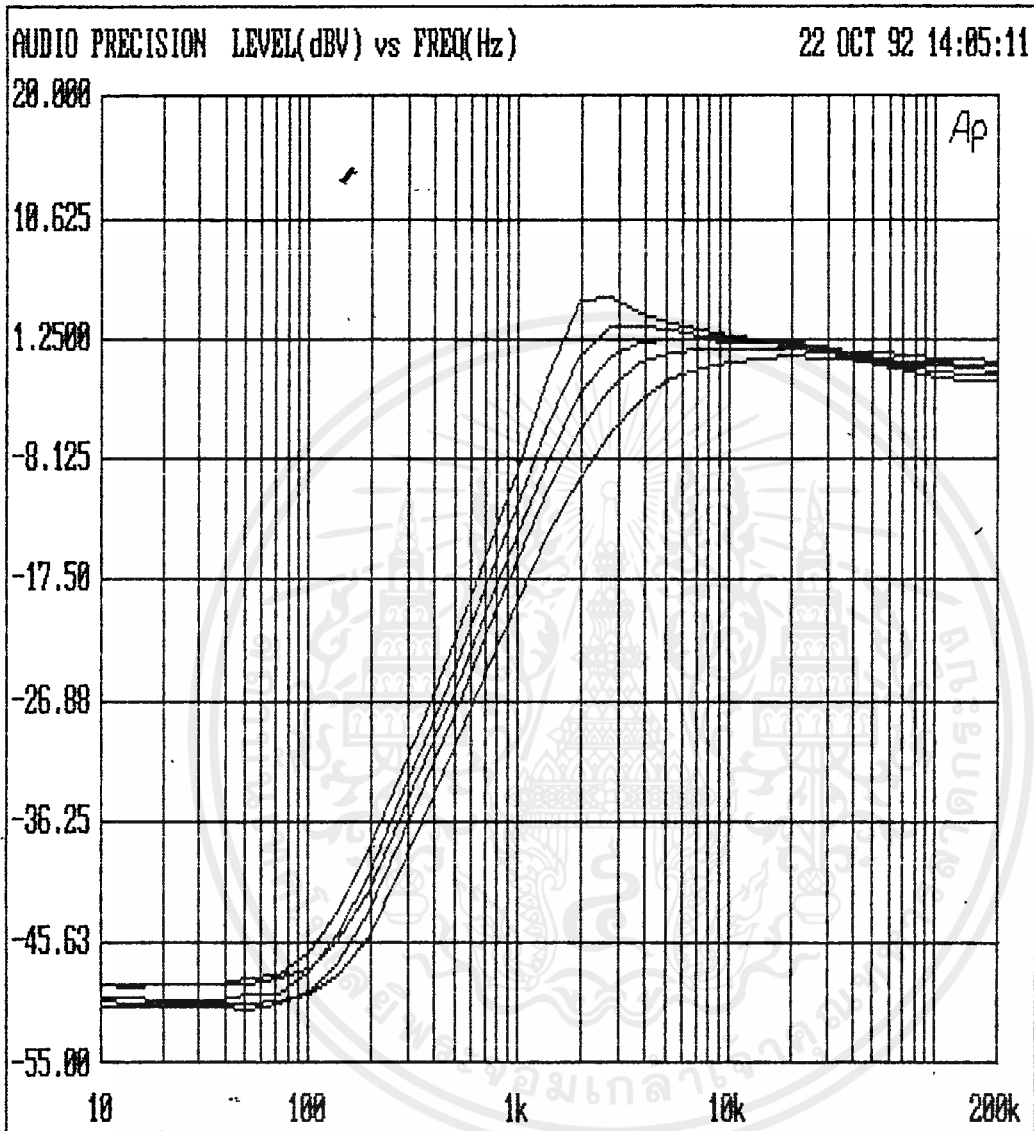
= 12k (4)

= 15k (5)

r2 = 10k

c1=c2 = 100 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC HPF *

$r2 = 15k \dots (1)$

$= 12k \dots (2)$

$= 10k \dots (3)$

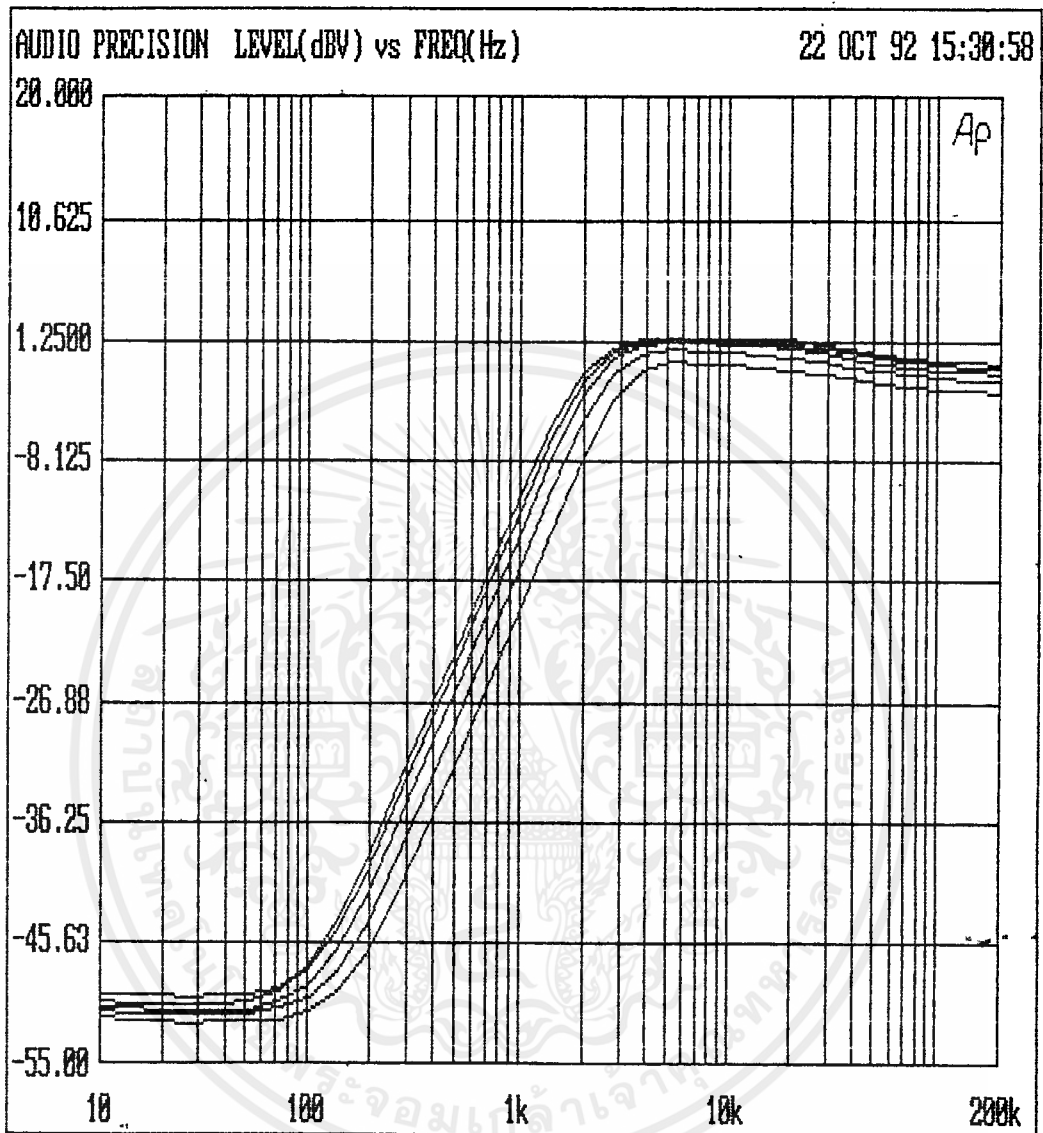
$= 8.2k \dots (4)$

$= 6.2k \dots (5)$

$r1 = 10k$

$c1=c2 = 100 \text{ pF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC HPF *

c1 = 150pf(1)

= 121pf(2)

= 100pf(3)

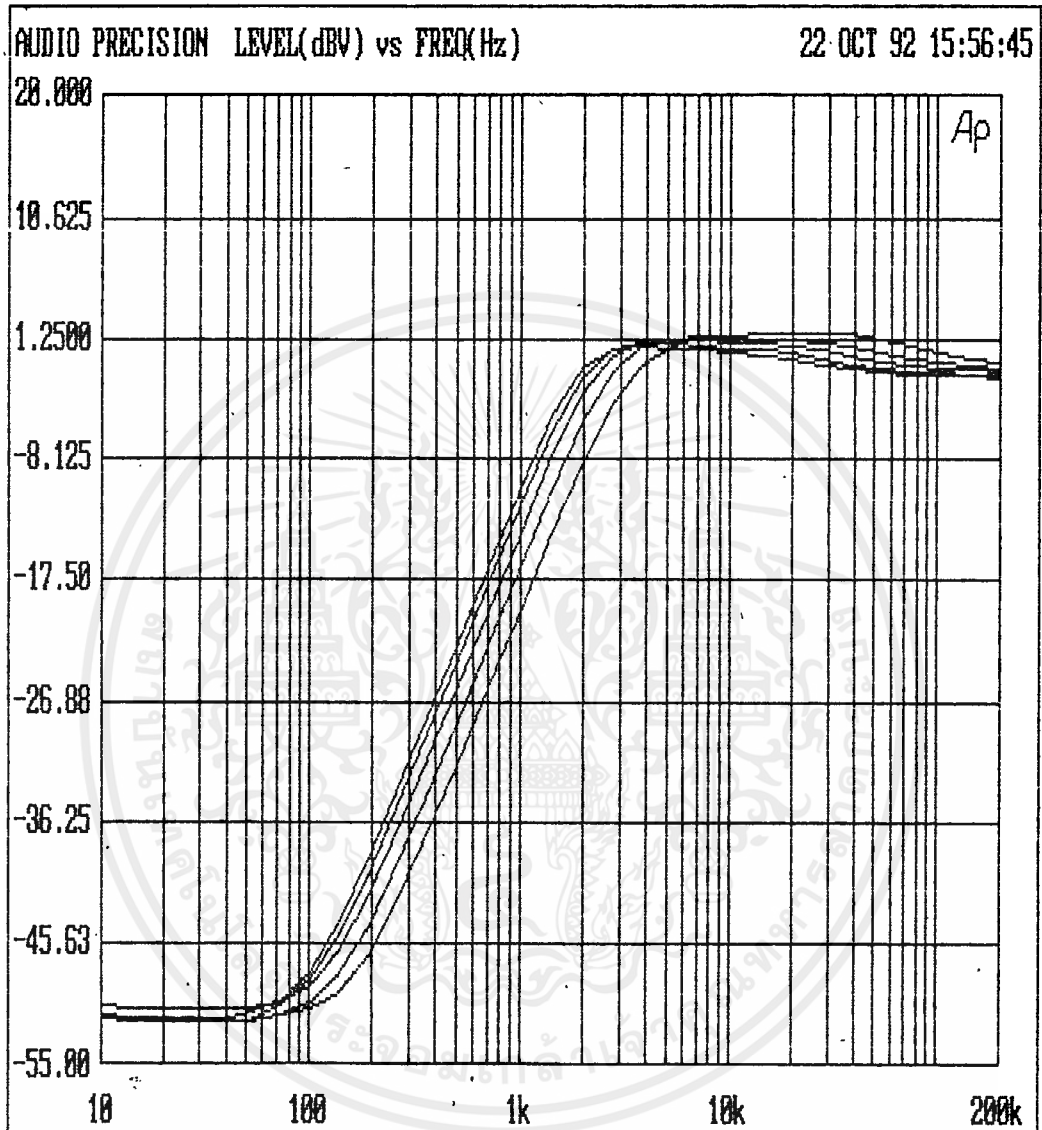
= 75pf(4)

= 50pf(5)

c2 = 100 pF

r1=r2 = 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC HPF *

c2 = 150pf(1)

= 121pf(2)

= 100pf(3)

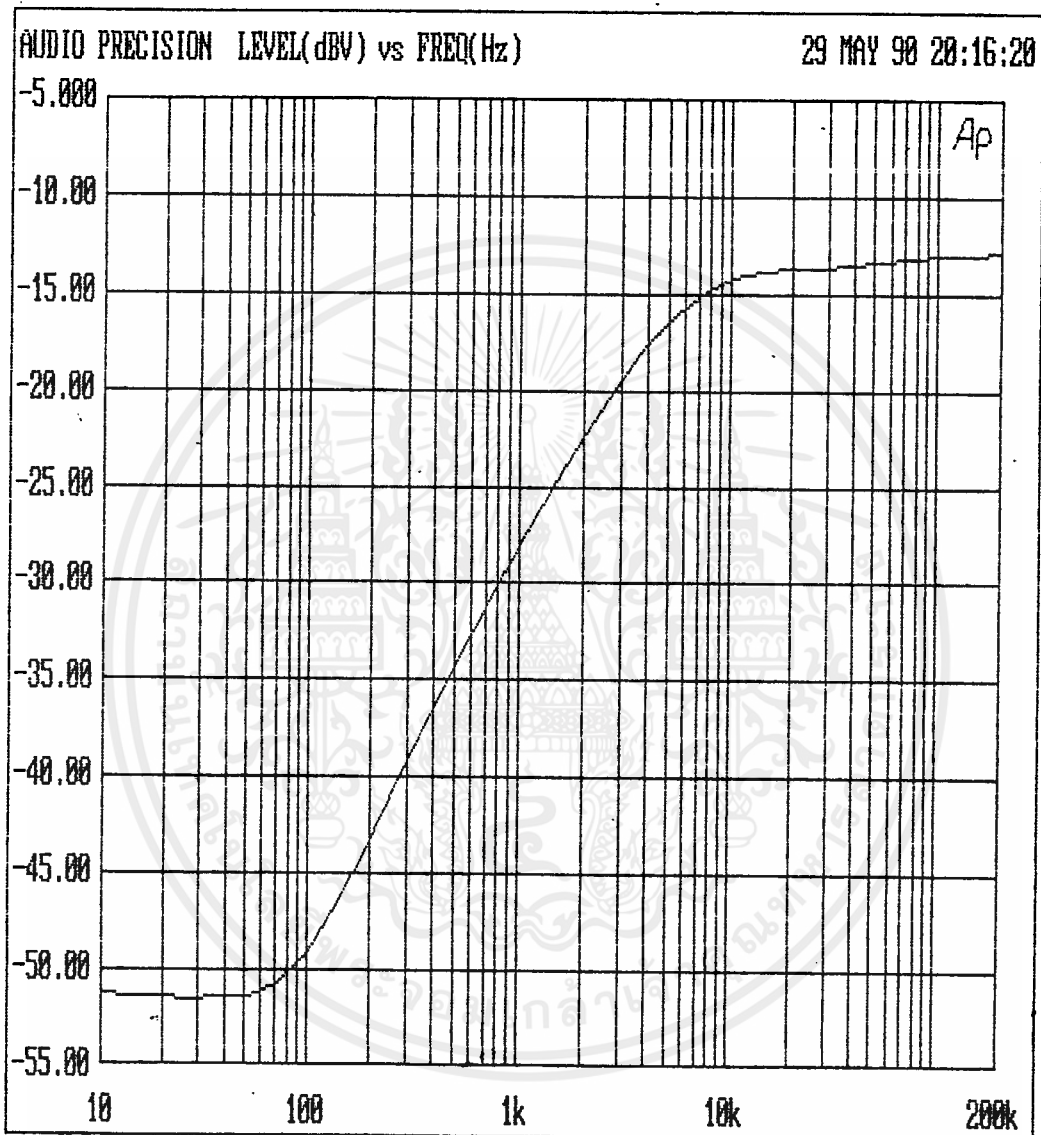
= 75pf(4)

= 50pf(5)

c1 = 100 pF

r1=r2 = 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC HPF *

Two gain stage

$$r1 = r2 = 10 \text{ k}$$

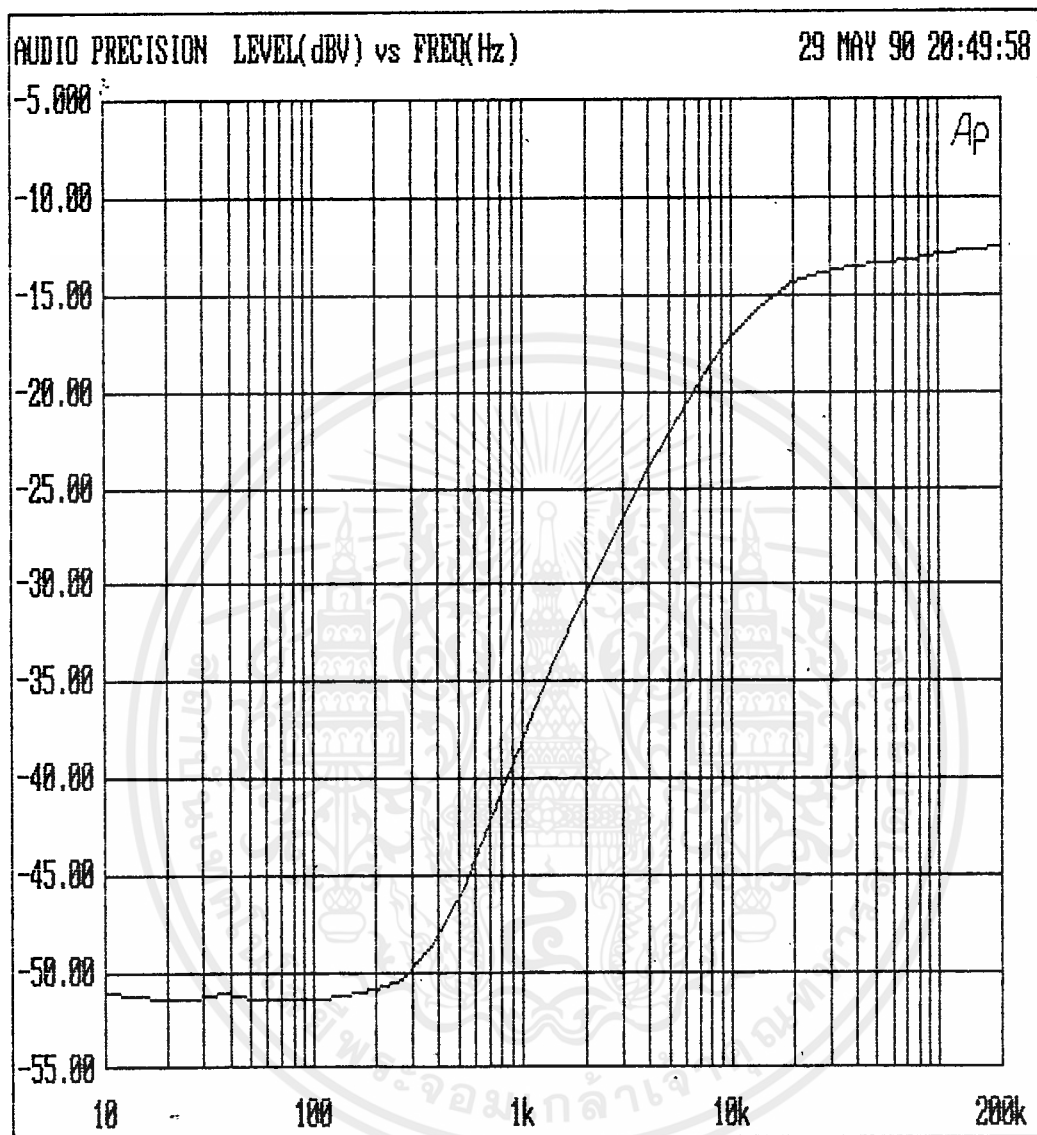
$$c1 = 200 \text{ pf}$$

$$c2 = 680 \text{ pf}$$

$$K1 = 2$$

$$K2 = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC HPF *

Two gain stage

$r1 = r2 = 10 \text{ k}$

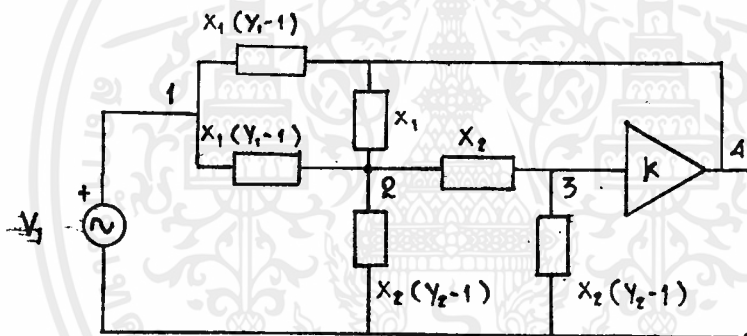
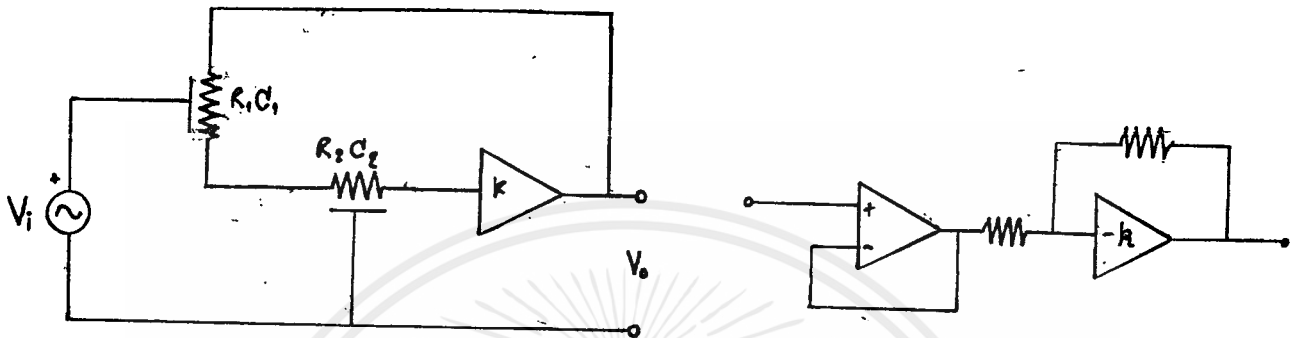
$c1 = c2 = 100 \text{ pf}$

$K1 = 2$

$K2 = 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

URC BAND PASS FILTER



$$\begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2X_1(Y_1-1) & -X_1(Y_1-1) & 0 & -X_1(Y_1-1) \\ -X_1(Y_1-1) & X_1Y_1+X_2Y_2 & -X_2 & -X_1 \\ 0 & -X_2 & X_2Y_2 & 0 \\ -X_1(Y_1-1) & -X_1 & 0 & X_1Y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2X_1(Y_1-1) & -X_1(Y_1-1) & -X_1(Y_1-1) \\ -X_1(Y_1-1) & X_1Y_1+X_2Y_2 & (-X_2/K)-X_1 \\ 0 & -X_2 & X_2Y_2/K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 2X_1(Y_1-1) & -X_1(Y_1-1) & I_1 \\ -X_1(Y_1-1) & X_1Y_1+X_2Y_2 & 0 \\ 0 & -X_2 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} I_1 & -X_1(Y_1-1) & -X_1(Y_1-1) \\ 0 & X_1Y_1+X_2Y_2 & (-X_2/K)-X_1 \\ 0 & -X_2 & X_2Y_2/K \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} V_4/V_1 = \Delta_4/\Delta_1 &= [KX_1(Y_1-1)] / [X_1Y_1Y_2 + X_2Y_2^2 - X_2 - KX_1] \\ &= [K(Y_1-1)] / [Y_1Y_2 + X_2Y_2^2/X_1 - X_2/X_1 - K] \end{aligned}$$

โดยกำหนดค่าให้ค่า time constant เท่ากัน ; $R_1C_1=R_2C_2$

$$R_1/R_2 = C_2/C_1 = \alpha$$

$$P_1 = P_2 = P$$

$$\begin{aligned} V_4/V_1 = T(s) &= [K(\cosh P - 1)] / [\cosh^2 P - \alpha \cosh^2 P - \alpha - K] \\ &= [K(\cosh \sqrt{SCR} - 1)] / [(1+\alpha) \cosh^2 \sqrt{SCR} - \alpha - K] \end{aligned}$$

$$\text{ให้ } s = j\omega ; \quad \sqrt{SCR} = \sqrt{j\omega CR} = \sqrt{\omega CR/2} + j\sqrt{\omega CR/2}$$

$$\text{ให้ } t = \sqrt{\omega CR/2} ; \quad = t+jt$$

$$T(j\omega) = [K \cosh(t+jt) - K] / [(1+\alpha) \cosh^2(t+jt) - \alpha - K]$$

จากเอกลักษณ์ตรีโกณมิติ

$$\cosh(t+jt) = \cosht \cdot \cos t + j \sinht \cdot \sin t$$

$$\cosh^2(t+jt) = [\cosh^2(t) + 1] / 2$$

$$\begin{aligned}
 T(j\omega) &= \frac{K(\cosh t \cdot \cos t + j \sinh t \cdot \sin t - 1)}{(1+\alpha)(\cosh 2t \cdot \cos 2t + j 2 \sinh 2t \cdot \sin 2t + 1) - \alpha - K} \\
 &= \frac{K(\cosh t \cdot \cos t - 1) + K j \sinh t \cdot \sin t}{(1+\alpha)(\cosh 2t \cdot \cos 2t + 1)/2 - \alpha - K + (1+\alpha)(j \sinh 2t \cdot \sin 2t)/2}
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

'***** GRAPH URC BAND PASS FILTER *****
CLS
SCREEN 9 :DEFDBL R,J,A,B,X,Y,Z
PRINT"* URC BPF *"
INPUT"X:(X1-X2)Hz=";X1,X2 :XW1=INT(LOG10(X1))
                                :XW2=INT(LOG10(X2))
INPUT"Y:(Y1-Y2)dB=";Y1,Y2 :YW1=Y1 :YW2=Y2
WINDOW SCREEN(XW1,-YW2)-(XW2,-YW1) :NX1=XW1 :NX2=XW2
VIEW (239,1)-(638,300),,2
LINE (XW1,0)-(XW2,0),2

CCC:
INPUT "STEP(Y)>>";YSTEP
SELECT CASE YSTEP
CASE >0
GOTO DDD
CASE ELSE
GOTO CCC
END SELECT

DDD:
C=3 :BB=1
FOR N=NX1 TO NX2 STEP 1
FOR ST=1*10^N TO 10*10^N STEP 10^N
STW=LOG10(ST)
LINE (STW,-YW2)-(STW,-YW1),2
NEXT
NEXT

FOR ST=YSTEP TO Y2 STEP YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST
FOR ST=YSTEP TO Y1 STEP -YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST

'***** FUNCTION URC *****
EEE:
DEF FNCH(T)=(EXP(T)+EXP(-T))/2
DEF FNCH(T)=(EXP(T)-EXP(-T))/2
IF X1>0 THEN S=1 ELSE S=X1

INPUT"STEP log(w2/w1)=";ST
SELECT CASE ST
CASE 0.001 TO 100
GOTO AAA
CASE ELSE
GOTO EEE
END SELECT

```

```

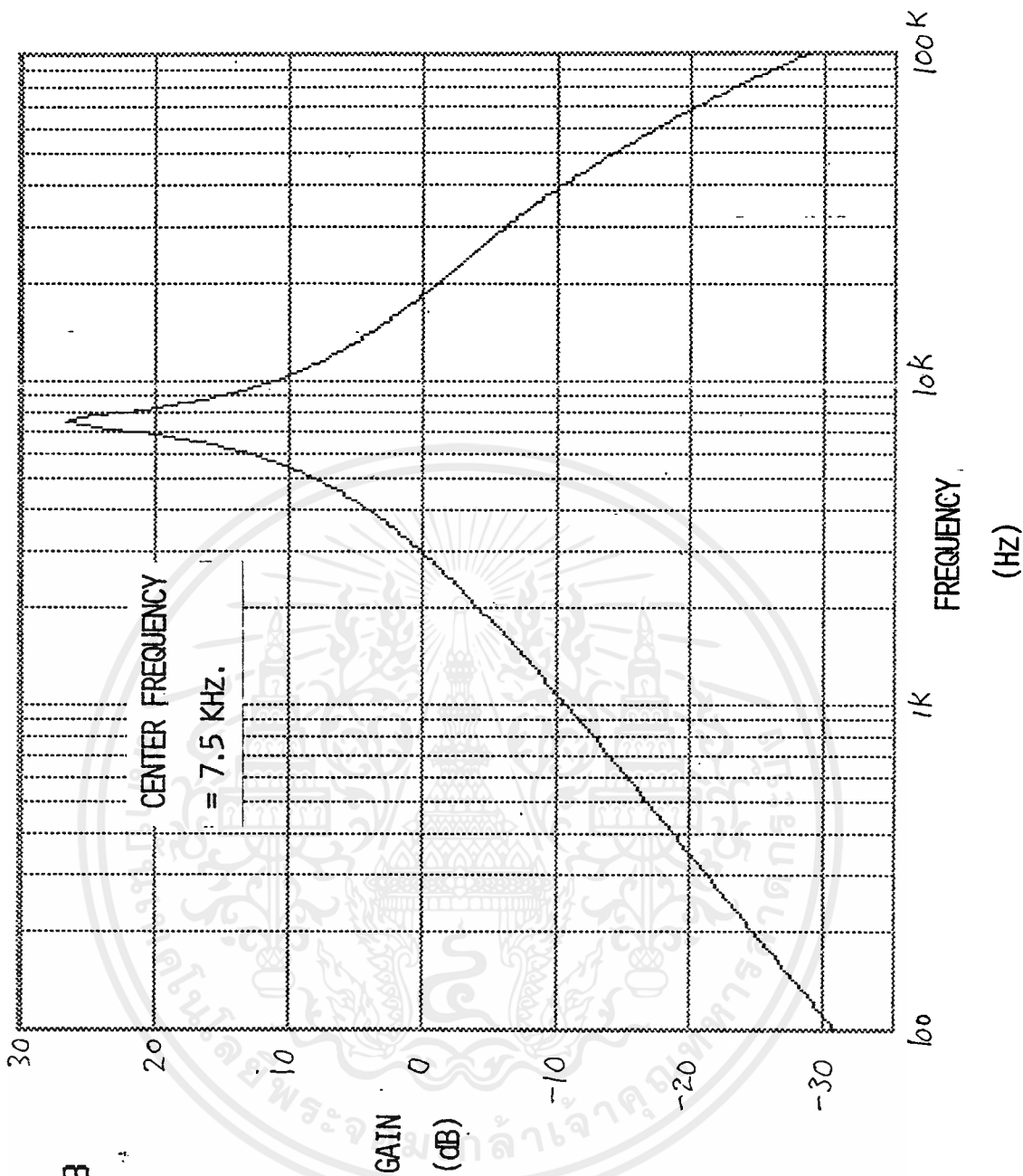
AAA:
INPUT "A1=Gain =";A1
INPUT "A2=R1/R2=";A2
INPUT "A3=R*C  =";A3
H=1
W=X1
PI=3.141592654

'***** Frequency (Hz) PLOT *****
BBB:
T=SQR (W*A3/2)
GOSUB ZZZ
XP=LOG10(W)-LOG10(2*PI) :Y=20*LOG10(Z)

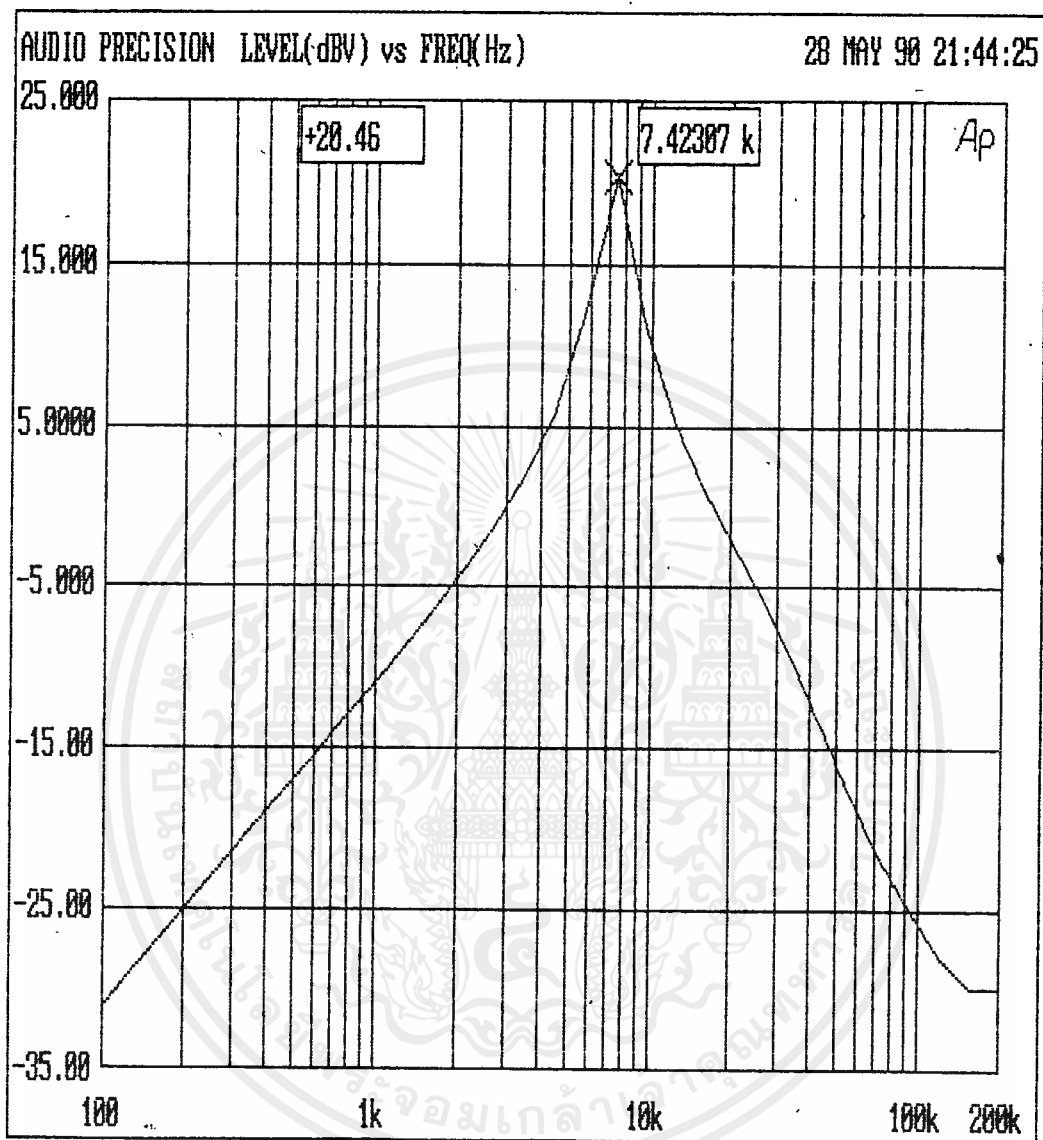
'LPRINT X,Y
IF I=0 THEN PSET(XP,-Y) :I=1
LINE -(XP,-Y)
IF W<10*X2 THEN W=W*10^ST :GOTO BBB
END

ZZZ:
R1=A1*(FNCH(T)*COS(T)-1)
J1=A1*(FNCH(T)*SIN(T))
AA=H*SQR(R1^2+J1^2)
R2=(1+A2)*0.5*(FNCH(2*T)*COS(2*T)+1)-A2-A1
J2=(1+A2)*0.5*FNCH(2*T)*SIN(2*T)
BB=SQR(R2^2+J2^2)
Z =AA/BB
RETURN

```



```
* URC BPF *
X: (X1-X2)Hz=? 100,100E3
Y: (Y1-Y2)dB=? -35,30
STEP(Y)>>? 10
STEP log(w2/w1)=? 0.01
A1=Gain =? -10
A2=R1/R2=? 1
A3=R*C =? 100E-6
```



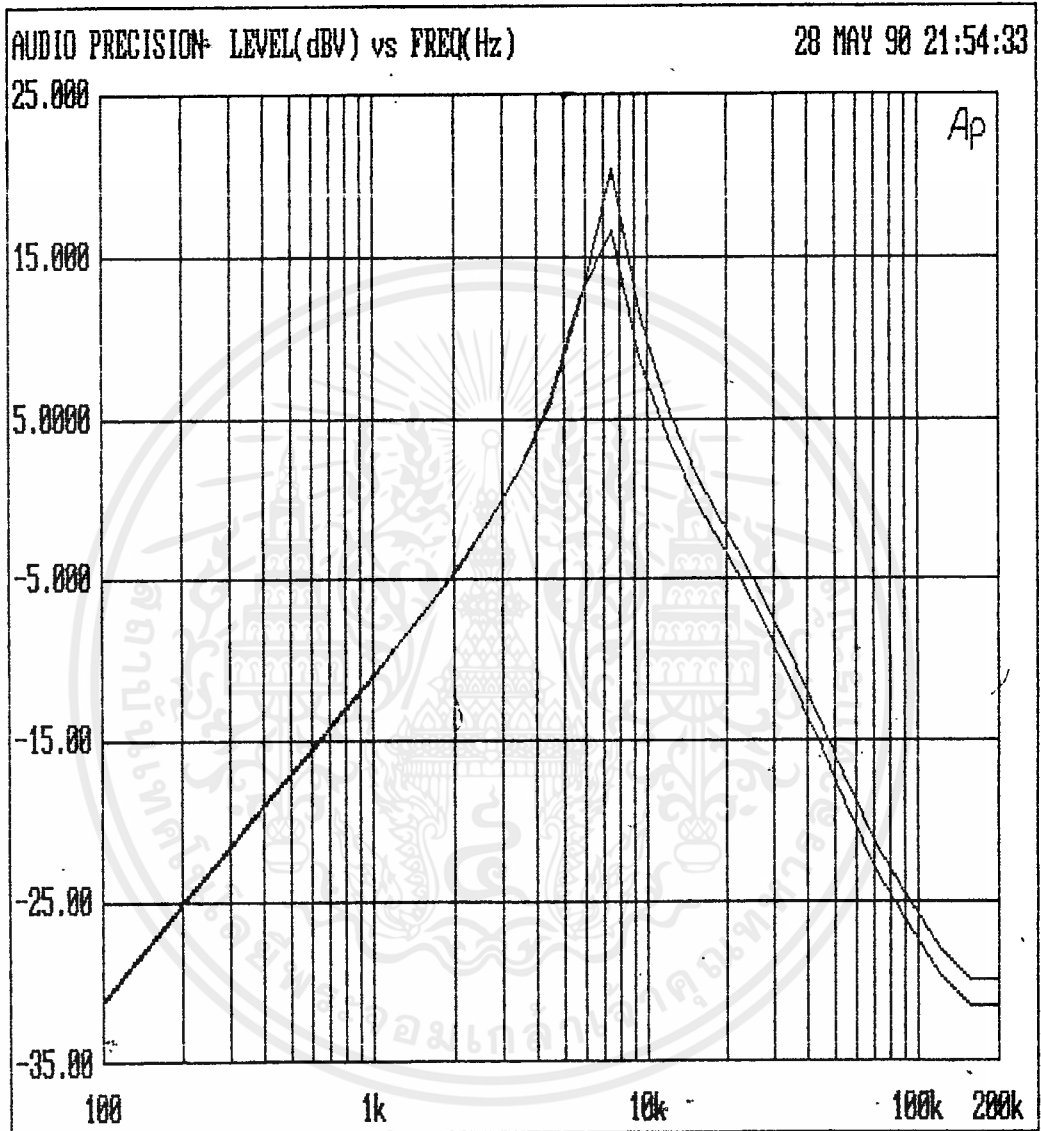
* URC BPF *

$$r1 = r2 = 10 \text{ k}$$

$$c1 = c2 = 100 \text{ pF}$$

$$K = -10$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC BPF *

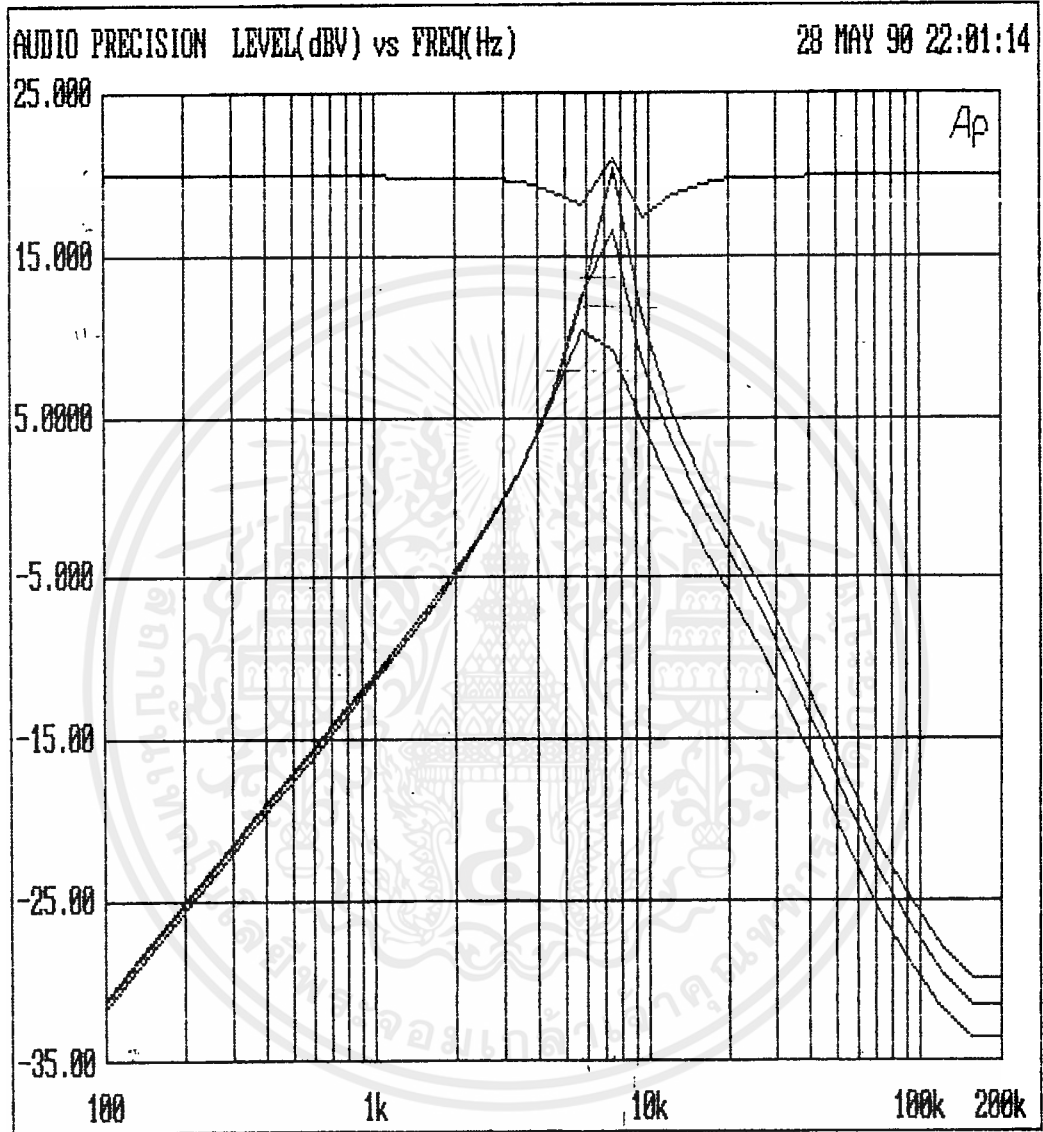
$$r1 = r2 = 10 \text{ k}$$

$$c1 = c2 = 100 \text{ pF}$$

$$K = -10 \quad \dots\dots(1)$$

$$= -8.2 \quad \dots\dots(2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC BPF *

$$r_1 = r_2 = 10 \text{ k}$$

$$c_1 = c_2 = 100 \text{ pF}$$

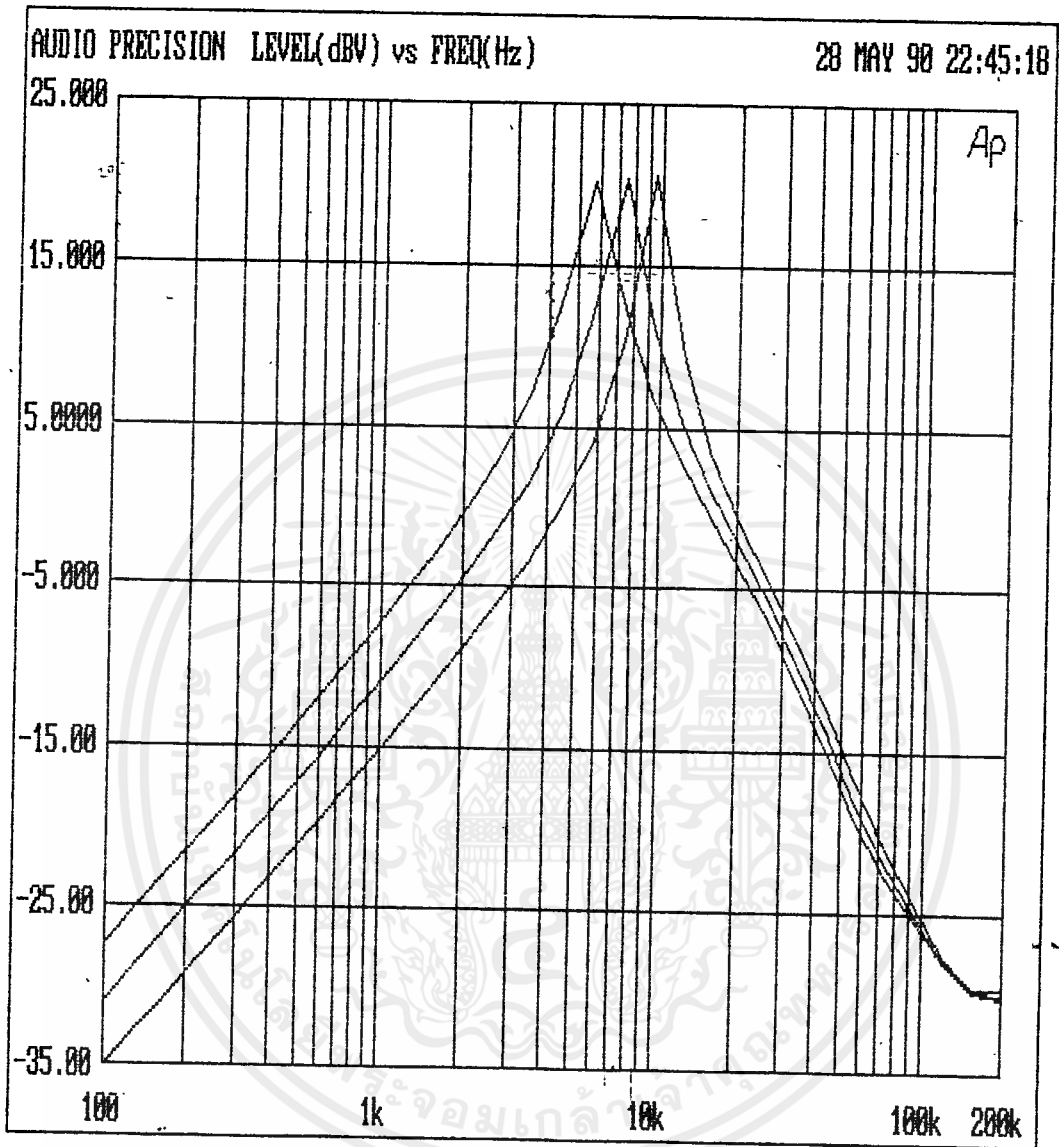
$$K_1 = -12 \dots\dots\dots(1)$$

$$= -10 \dots\dots\dots(2)$$

$$= -8.2 \dots\dots\dots(3)$$

$$= -6.2 \dots\dots\dots(4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC BPF *

$r1 = 15\text{ k} \dots\dots(1)$

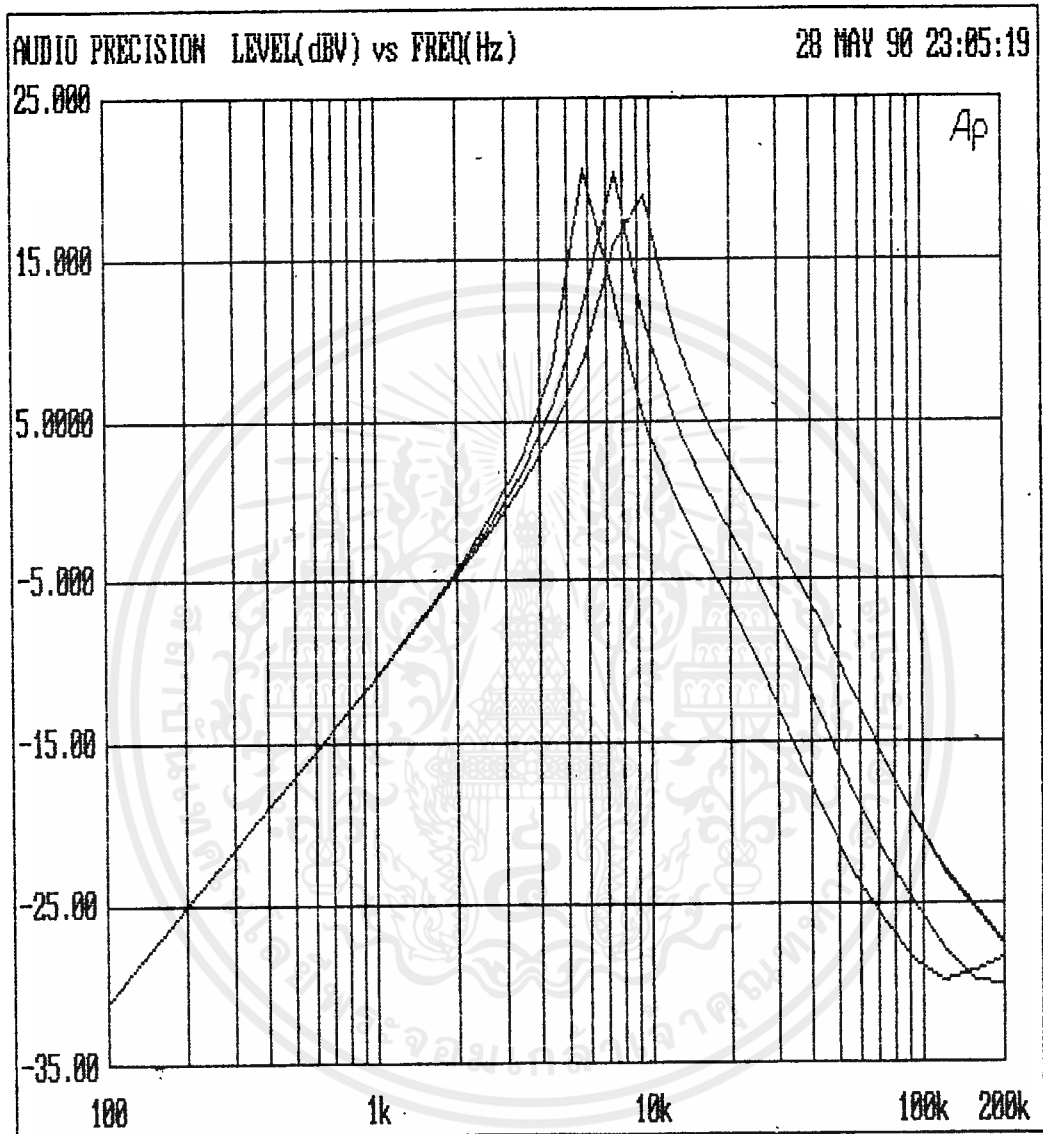
$= 10\text{ k} \dots\dots(2)$

$= 6.2\text{ k} \dots\dots(3)$

$r2 = 10\text{ k}$

$c1 = c2 = 100\text{ pF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC BPF *

$$r2 = 15 \text{ k} \quad \dots (1)$$

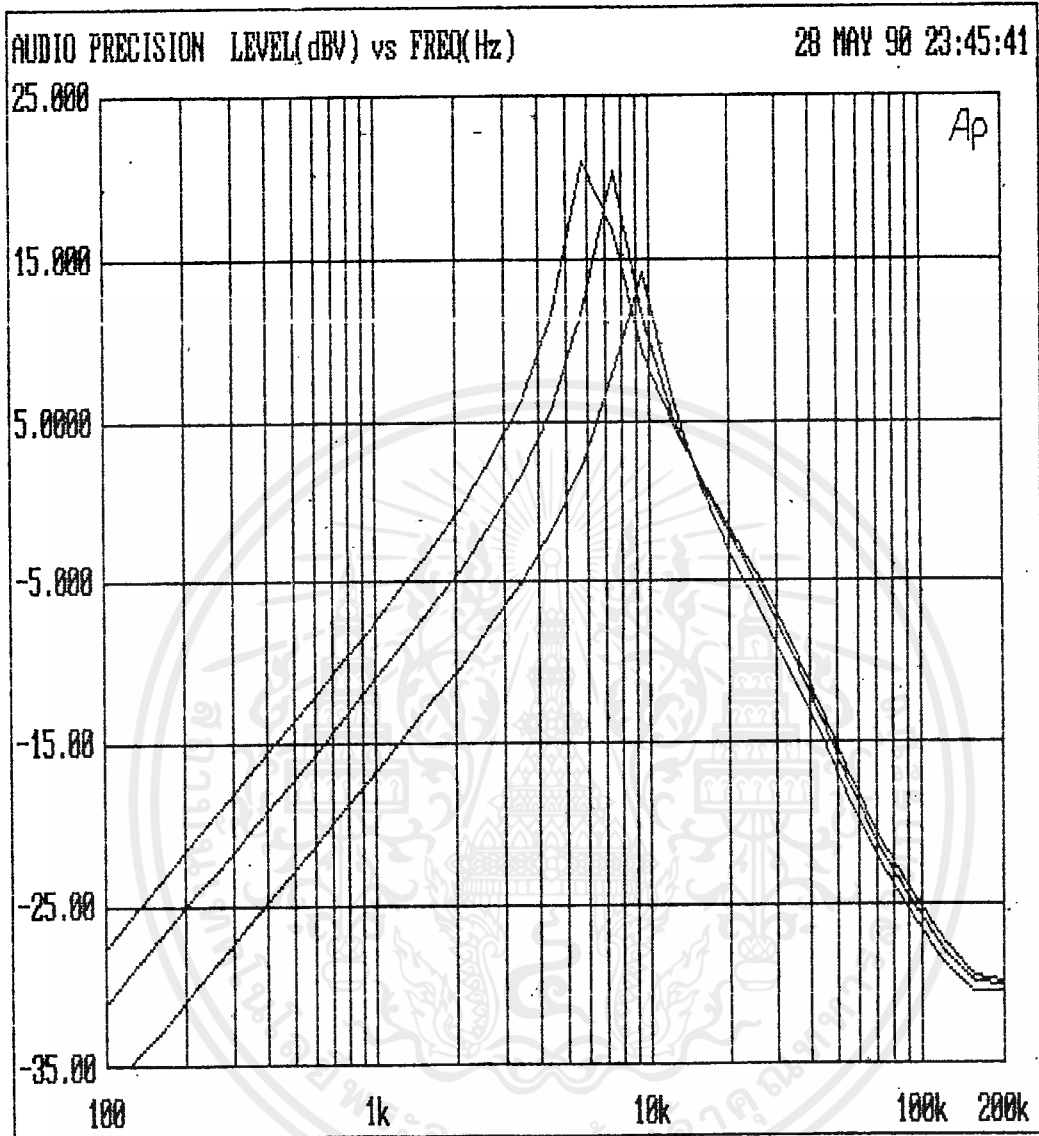
$$= 10 \text{ k} \quad \dots (2)$$

$$= 6.2 \text{ k} \quad \dots (3)$$

$$r1 = 10 \text{ k}$$

$$c1 = c2 = 100 \text{ pF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC BPF *

$$r1 = r2 = 10 \text{ k}$$

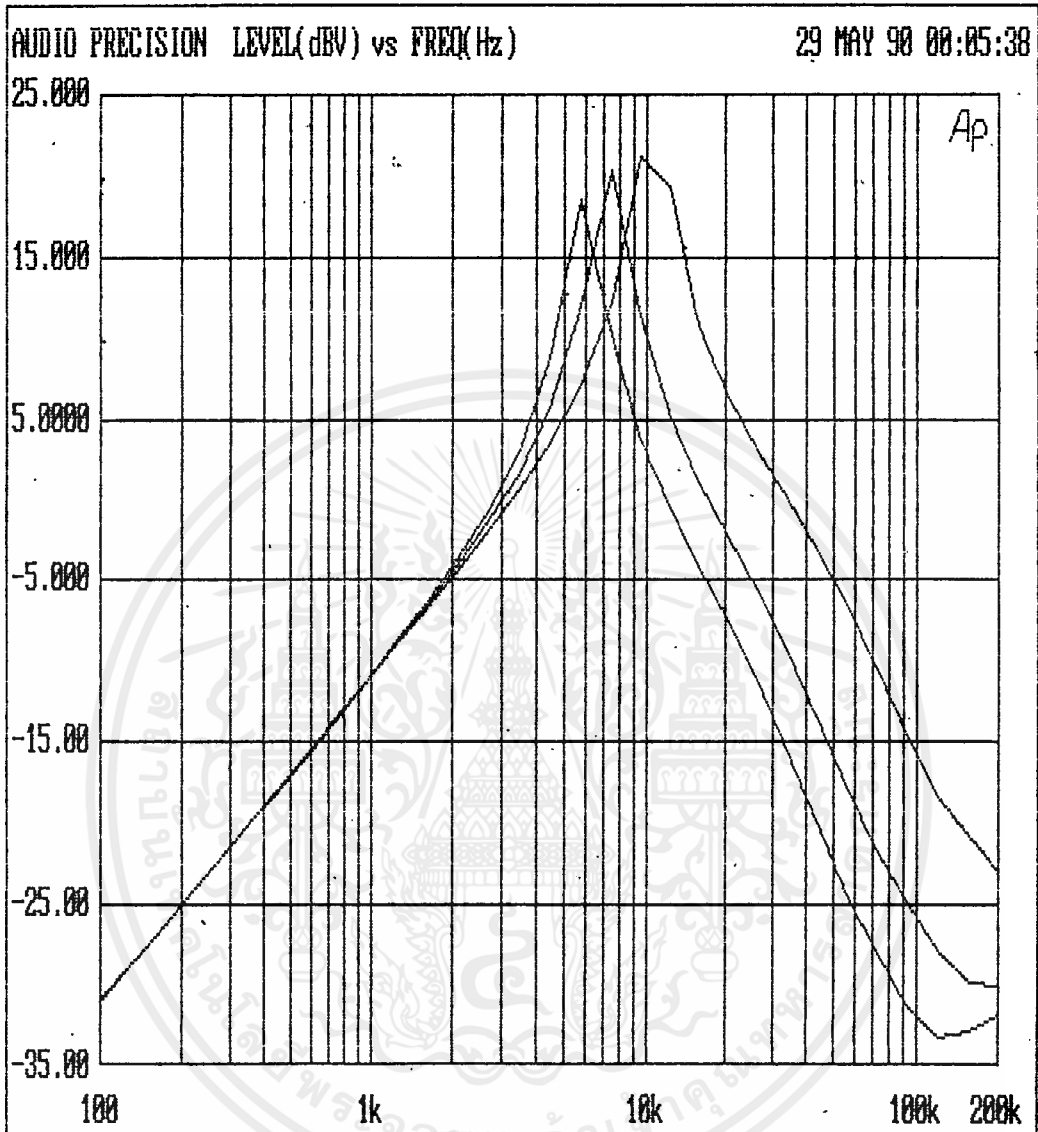
$$c1 = 150 \text{ pf} \quad \dots (1)$$

$$= 100 \text{ pf} \quad \dots (2)$$

$$= 50 \text{ pf} \quad \dots (3)$$

$$c2 = 100 \text{ pF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* URC BPF *

$$r1 = r2 = 10 \text{ k}$$

$$c2 = 150 \text{ pf} \dots (1)$$

$$= 100 \text{ pf} \dots (2)$$

$$= 50 \text{ pf} \dots (3)$$

$$c1 = 100 \text{ pF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวของอุปกรณ์ (Sensitivity)

การออกแบบวงจรใด ๆ จะต้องพิจารณาถึงค่าอิลิเมนต์แต่ละตัว เพราะค่าอิลิเมนต์ที่ใช้ในงานจริง ๆ แล้วจะไม่มีค่าตรงตามอุดมคติ ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้จากผลรวมของความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์ ที่เกิดจากกรรมวิธีในการผลิตเอง และคุณลักษณะทางโครงสร้างของอิลิเมนต์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งานอยู่ เช่น อุณหภูมิของห้อง , ความชื้น , ความเข้มของแสงสว่าง และ อายุการใช้งานของอุปกรณ์ เหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของอิลิเมนต์ต่าง ๆ ภายในวงจรที่อาจเปลี่ยนแปลงไม่ตรงตามที่คำนวณ

เซ็นซิวิตีเป็นค่าของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เอาต์พุตของวงจรซึ่งเป็นผลมาจากการแปรผันของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรเช่น การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวต้านทาน (Resistor), ค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductor), ค่าตัวเก็บประจุ (Capacitor), ค่าอัตราขยายของทรานส์ซิสเตอร์ และค่าอัตราขยายของออปแอมป์ (Operation Amplifier) ซึ่งแน่นอนว่าวงจรที่มีค่าอัตราขยายเปลี่ยนแปลงของเซ็นซิวิตีมากจะมีการแปรผันของพารามิเตอร์ภายในวงจรมีค่ามาก ซึ่งจะทำให้ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตเกิดความผิดเพี้ยนได้ง่าย ฉะนั้นโครงสร้างของวงจรที่ดีจึงควรมีค่าเซ็นซิวิตีของอิลิเมนต์แต่ละตัวต่ำ จะทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานและยังไม่ต้องเลือกใช้ค่าของอุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงมากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

การหาเซ็นซิวิตีในวงจร หาได้จากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจร โดยเริ่มต้นจากการกำหนดให้

$$S^{T(s)} = \frac{X_i}{T(s)} \cdot \frac{\partial T(s)}{\partial X_i} \quad (1)$$

เมื่อ X_i แทนค่าของอิลิเมนต์แต่ละตัวในวงจร ถ้าแทน s ด้วย $j\omega$ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน $T(s)$ จะได้

$$T_{(j\omega)} = \left| T_{(j\omega)} \right| e^{j\theta(\omega)} \quad (2)$$

แทนค่าสมการ (2) ลงในสมการ (1) ค่าฟังก์ชันของเซ็นซิวิตี สามารถเขียนได้เป็น

$$S^{T(j\omega)} = \frac{X_i}{\left| T_{(j\omega)} \right| e^{j\theta(\omega)}} \cdot \frac{\partial \left(\left| T_{(j\omega)} \right| e^{j\theta(\omega)} \right)}{\partial X_i} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3) ซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์สามารถเขียนเป็นจำนวนเชิงซ้อนได้คือ

$$S_{x_i}^{T(j\omega)} = \frac{x_i}{|T_{(j\omega)}|} \cdot \frac{\partial |T_{(j\omega)}|}{\partial x_i} + jx_i \frac{\partial \theta(\omega)}{\partial x_i} \quad (4)$$

จากสมการ (4) จะได้ว่า

$$S_{x_i}^{T(j\omega)} = \operatorname{Re} S_{x_i}^{T(j\omega)} + j \operatorname{Im} S_{x_i}^{T(j\omega)} \quad (5)$$

$$\operatorname{Im} S_{x_i}^{T(j\omega)} = \frac{1}{\theta(\omega)} \operatorname{Im} S_{x_i}^{T(j\omega)} \quad (6)$$

โดยที่สมการ (5) จะเป็นฟังก์ชันในการหาเชิงซ้อนของ Magnitude $|T(j\omega)|$ ที่ซึ่งสามารถเขียนได้ใหม่คือ

$$S_{x_i}^{T(j\omega)} = \operatorname{Re} \left[\frac{x_i}{T(s)} \cdot \frac{\partial T(s)}{\partial x_i} \right] \quad (7)$$

$$= \operatorname{Re} \left[x_i \left[\frac{N'(s)}{N(s)} - \frac{D'(s)}{D(s)} \right] \right]$$

เมื่อ $N(s)$ เป็นโพลิโนเมียลเศษของ $T(s)$

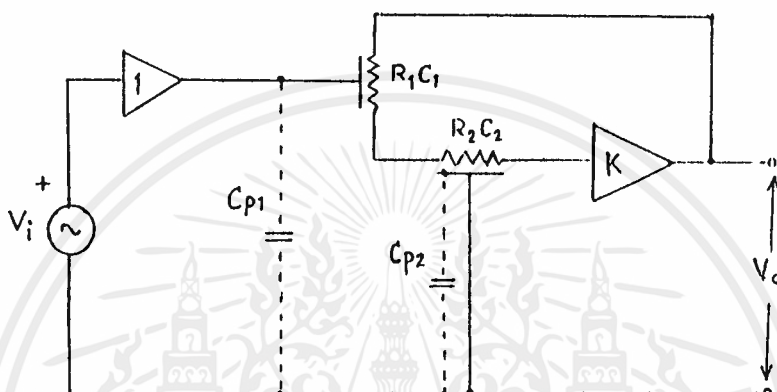
$D(s)$ เป็นโพลิโนเมียลส่วนของ $T(s)$

และ $N'(s) = \frac{d}{dx_i} N(s)$, $D'(s) = \frac{d}{dx_i} D(s)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

เราพิจารณา transfer function ของวงจร band pass filter โดยให้ $k=-10$, $\alpha=1$ และ URC มีค่า time constant เท่ากัน ตามรูปข้างล่างโดยให้ค่าของ $Q = \omega_0/\Delta\omega_0$ (-3dB BANDWIDTH) สำหรับการทดลองนี้โดยใช้ distributed RC line จำลองจาก RC Ladder 10 section และ เลือกค่าพารามิเตอร์ของวงจร ตามนี้



รูปที่ 10 วงจร ACTIVE URC BPF

$$R_1 = R_2 = 100 \text{ Kohm}$$

$$C_1 = C_2 = 1 \text{ nF}$$

$$K = 10 , V_i = 0.5 \text{ volt}$$

$$f_0 = 7.42 \text{ KHz}$$

ผลการทดลองจะได้ลักษณะของความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งผลที่ได้เป็นผลจากทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม PSPICE ช่วยในการวิเคราะห์ โดยให้ค่า $\alpha = 1$, $K = -6$ และ -10 ส่วนในทางปฏิบัติผลได้จากการทดลองที่ผ่านมาข้างต้น

- การทดลอง SENSITIVITY

PASSIVE ELEMENT SENSITIVITY

เราสามารถคำนวณหาขนาดของ SENSITIVITY ได้โดยการเปลี่ยนค่าของอุปกรณ์ PASSIVE ELEMENT R1,R2,C1 และ C2 ซึ่งผลการทดลองทั้งทางทฤษฎี และทางปฏิบัติ แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และได้นำความสัมพันธ์ระหว่างค่า PASSIVE ELEMENT กับ ค่าความถี่เชิงมุม (ω) มาเขียนกราฟ ซึ่งผลที่ได้แสดงต่อจากตารางทั้งสอง

- การทดลอง SENSITIVITY

ACTIVE ELEMENT SENSITIVITY

ในทางทฤษฎีเราสามารถคำนวณหาขนาด SENSITIVITY ได้จากการเอาค่าจริงของสมการข้างล่างนี้ นำไปเขียนเป็นโปรแกรมโดยใช้ภาษาเบสิกก็สามารถพล็อตออกมาดังแสดงในรูปที่ 12

$$S_x^r = \frac{Y^2 (1 - \alpha) - \alpha}{Y^2 (1 + \alpha) - (K + \alpha)}$$

- การทดลอง Q,WO SENSITIVITY

การทดลองนี้เป็นการหาค่า SENSITIVITY ของ Q เมื่อ ค่าของเกน (K) เปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติเมื่อต่อวงจรตามรูปที่ 10 จากนั้นก็ทำการเปลี่ยนค่าเกน (K) ของออปแอมป์ แล้ววัดหาค่า f_0, f_h, f_l ต่อไปก็คำนวณหาค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 ส่วนทางทฤษฎี จะใช้ PSPICE หาค่า f_0, f_h, f_l จากนั้นก็คำนวณหาค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้นก็นำข้อมูลในตารางทั้งสอง มาพล็อตกราฟโดยนำความสัมพันธ์ระหว่าง SENSITIVITY กับ QUALITY FACTOR, SENSITIVITY กับ GAIN, ความถี่เชิงมุม (ω) กับ GAIN ซึ่งก็ได้ผลออกมาดังแสดงถัดจากกราฟทั้งสอง

```
'***** GRAPH *****'
```

```
SCREEN 9 :DEFDBL R,J,A,B,X,Y,Z
```

```
INPUT "X: (X1-X2)=";X1,X2 :XW1=INT(LOG10(X1)) :XW2=INT(LOG10(X2))
INPUT "Y: (Y1-Y2)=";Y1,Y2 :YW1=Y1 :YW2=Y2
WINDOW SCREEN(XW1,-YW2)-(XW2,-YW1) :NX1=XW1 :NX2=XW2
VIEW (239,1)-(638,300),,2
LINE (XW1,0)-(XW2,0),2
```

```
INPUT "STEP(Y)>>";YSTEP
C=3 :BB=1
FOR N=NX1 TO NX2 STEP 1
  FOR ST=1*10^N TO 10*10^N STEP 10^N
    STW=LOG10(ST)
    LINE (STW,-YW2)-(STW,-YW1),2
  NEXT
NEXT
```

```
FOR ST=YSTEP TO Y2 STEP YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST
FOR ST=YSTEP TO Y1 STEP -YSTEP
LINE (XW1,-ST)-(XW2,-ST),2
NEXT ST
```

```
'*****
DEF FNCH(T)=(EXP(T)+EXP(-T))/2
DEF FNSH(T)=(EXP(T)-EXP(-T))/2
IF X1>0 THEN S=1 ELSE S=X1
INPUT "STEP log(w2/w1)=";ST
INPUT "C=";CC
INPUT "R=";RR
```

```
AAA:
K=K+1 :I=0
INPUT "GAIN=";A1
H=1
W=X1
```

```
BBB:
T=SQR (W*CC*RR/2)
GOSUB ZZZ
XP=LOG10(W) :Y=(Z) 'Y=20*LOG10(Z)
```

```
IF I=0 THEN PSET(XP,-Y) :I=1
LINE -(XP,-Y)
IF W<X2 THEN W=W*10^ST :GOTO BBB
END
```

ZZZ:

```
'*****
' FUNCTION SENSITIVITY OF URCBPF
' TRANSFER FUNCTION AND GAIN
'*****
R1= FNCH(2*T)*COS(2*T)
J1= FNSH(2*T)*SIN(2*T)
AA= R1*(R1-A1)+J1^2
BB= (R1-A1)^2+J1^2
Z=AA/BB
RETURN
```

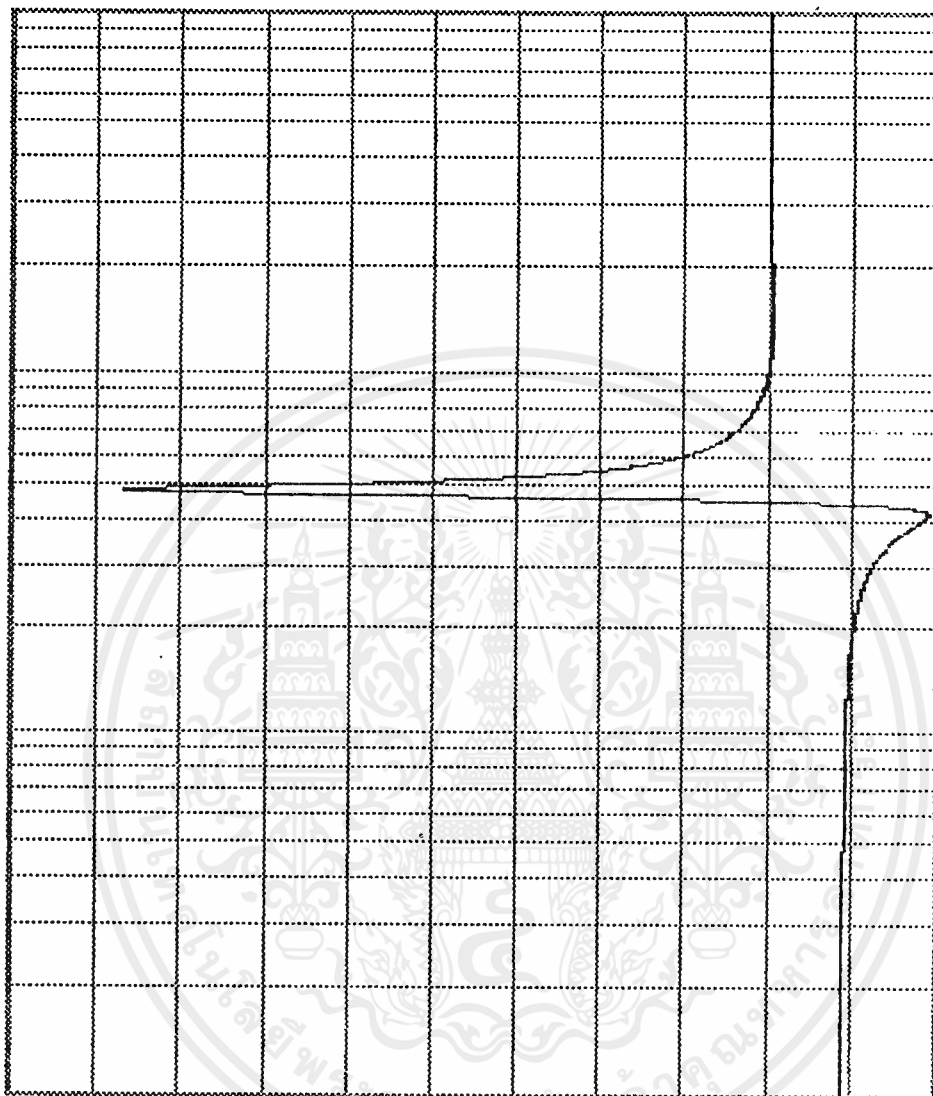


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

X: (X1-X2)=? 1E3, 1E6
Y: (Y1-Y2)=? -1, 10
STEP (Y)>>? 1
STEP log(w2/w1)=? 0.001
C=? 1E-9
R=? 100E3
GAIN=? -10

```

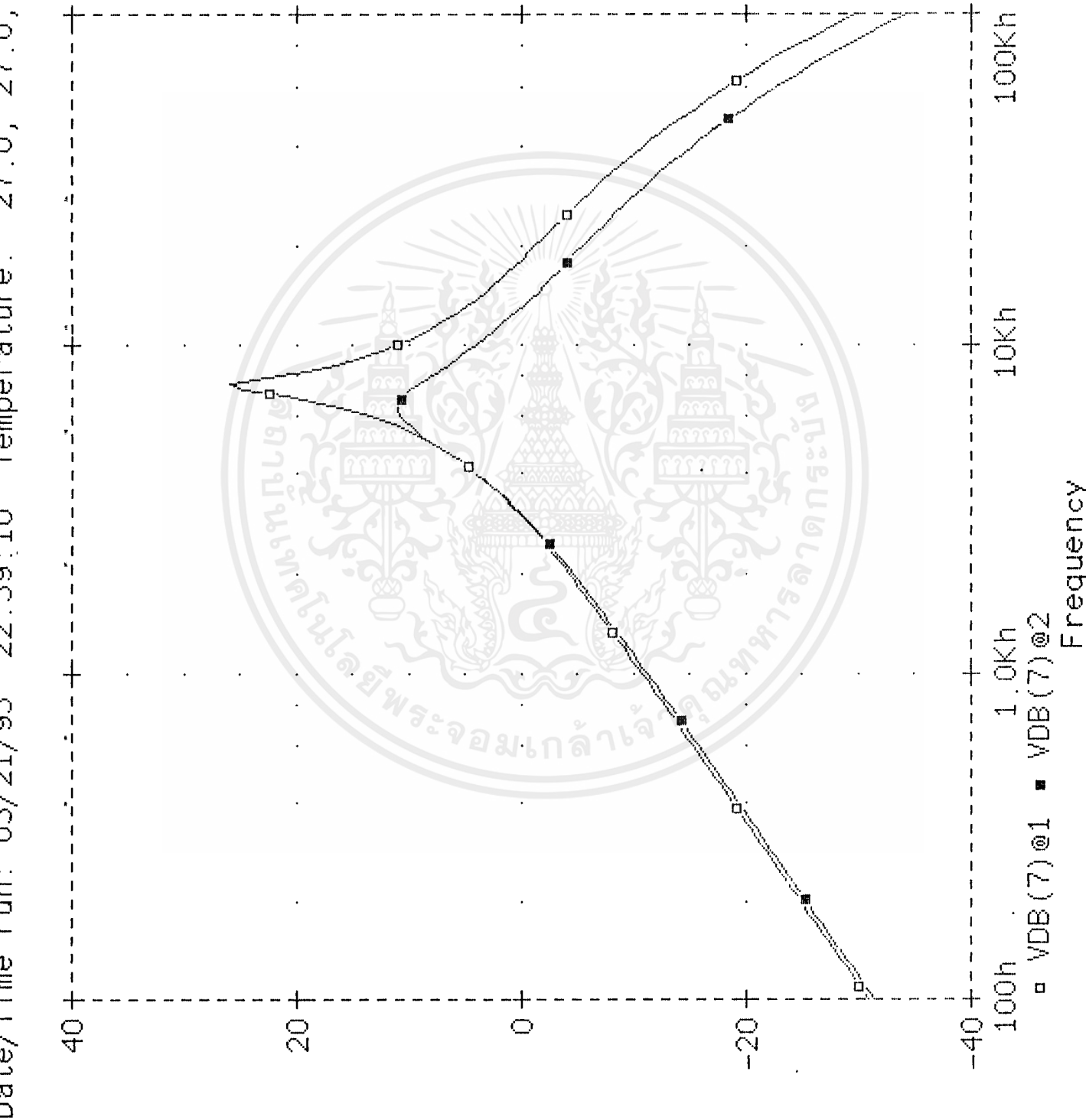


```

URCBPF.CIR
* 2 URC BAND PASS FILTER
.SUBCKT DA 4 5 6
* +IN -IN OUT
* 4 5 6
RIN 4 5 1G
EO 6 0 4 5 5E5
.ENDS DA
.SUBCKT BUF 7 8
* IN OUT
* 7 8
RIN2 7 8 1G
EO2 8 0 7 8 5E5
.ENDS BUF
*
.SUBCKT URC1 1 2 3
R1 1 4 5K
R2 4 5 10K
R3 5 6 10K
R4 6 7 10K
R5 7 8 10K
R6 8 9 10K
R7 9 10 10K
R8 10 11 10K
R9 11 12 10K
R10 12 13 10K
R11 13 3 5K
C1 4 2 100P
C2 5 2 100P
C3 6 2 100P
C4 7 2 100P
C5 8 2 100P
C6 9 2 100P
C7 10 2 100P
C8 11 2 100P
C9 12 2 100P
C10 13 2 100P
.ENDS URC1
*
VGEN 1 0 AC 1
XBUF1 1 2 BUF
XURC1 7 2 3 URC1
XURC2 3 0 4 URC1
XBUF2 4 5 BUF
*
RIN3 5 6 1K
RF3 6 7 10K
RN 8 0 100K
XOPAMP1 8 6 7 DA
*
.AC DEC 50 100HZ 100KHZ
.PROBE
.OPTION NOPAGE
.END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



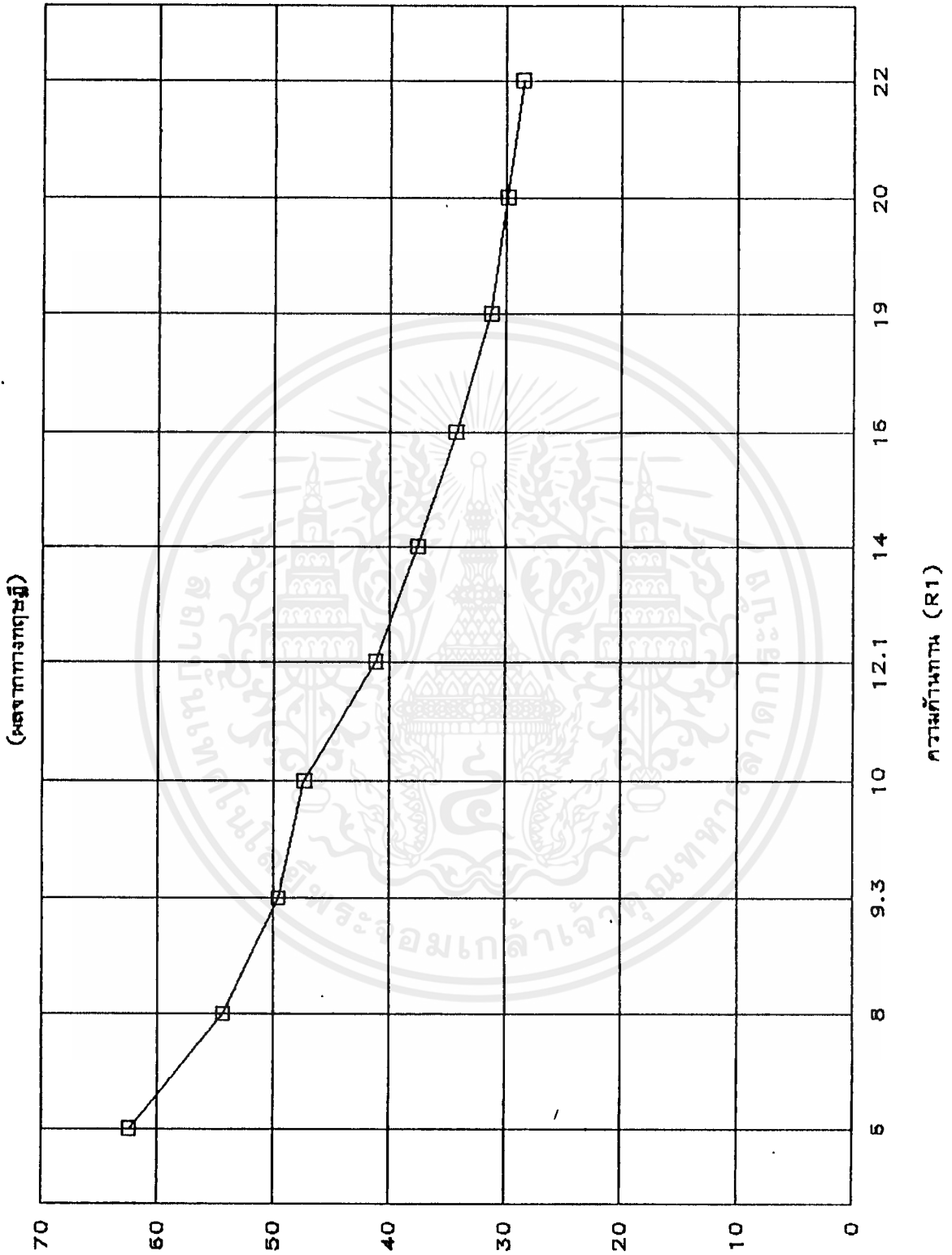
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1. SENSITIVITY (Theory)

R1 (Kohm)	6	8	9.3	10	12.1	14	16	19	20	22
VOLTAGE (volt)	38.99	13.11	11.02	10.11	7.97	7.052	6.343	5.825	5.642	5.351
FREQUENCY (KHz)	9.934	8.652	7.891	7.536	6.563	5.986	5.459	4.979	4.755	4.541
W (rad/sec)	62.415	54.361	49.579	47.349	41.235	37.610	34.299	31.283	29.876	28.531
R2 (Kohm)	1	2.05	4	6	8	9.3	10	12.1	14	16
VOLTAGE (volt)	3.466	3.992	5.015	6.326	7.872	8.683	10.11	13.6	16.45	21
FREQUENCY (KHz)	13.1	11.94	10.4	9.06	8.263	7.891	7.536	6.873	6.536	5.986
W (rad/sec)	82.307	75.019	65.343	56.924	51.916	49.579	47.349	43.183	41.066	37.610
C1 (Pf)	3	5	8	10	27	50	75	100	120	150
VOLTAGE (volt)	0.087	0.149	0.251	0.323	1.106	2.731	5.505	9.891	16.48	34.84
FREQUENCY (KHz)	13.71	13.1	13.1	13.1	11.41	9.55	8.318	7.586	6.918	6.31
W (rad/sec)	86.140	82.307	82.307	82.307	71.689	60.003	52.262	47.663	43.466	39.646
C2 (Pf)	100	120	150	180	200	220	270	300	500	680
VOLTAGE (volt)	10.11	6.484	4.35	3.233	2.726	2.345	1.713	1.485	7.477	5.111
FREQUENCY (KHz)	7.536	6.563	5.716	5.213	4.755	4.541	3.777	3.607	2.399	1.82
W (rad/sec)	47.349	41.235	35.914	32.753	29.876	28.531	23.731	22.663	15.073	11.435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

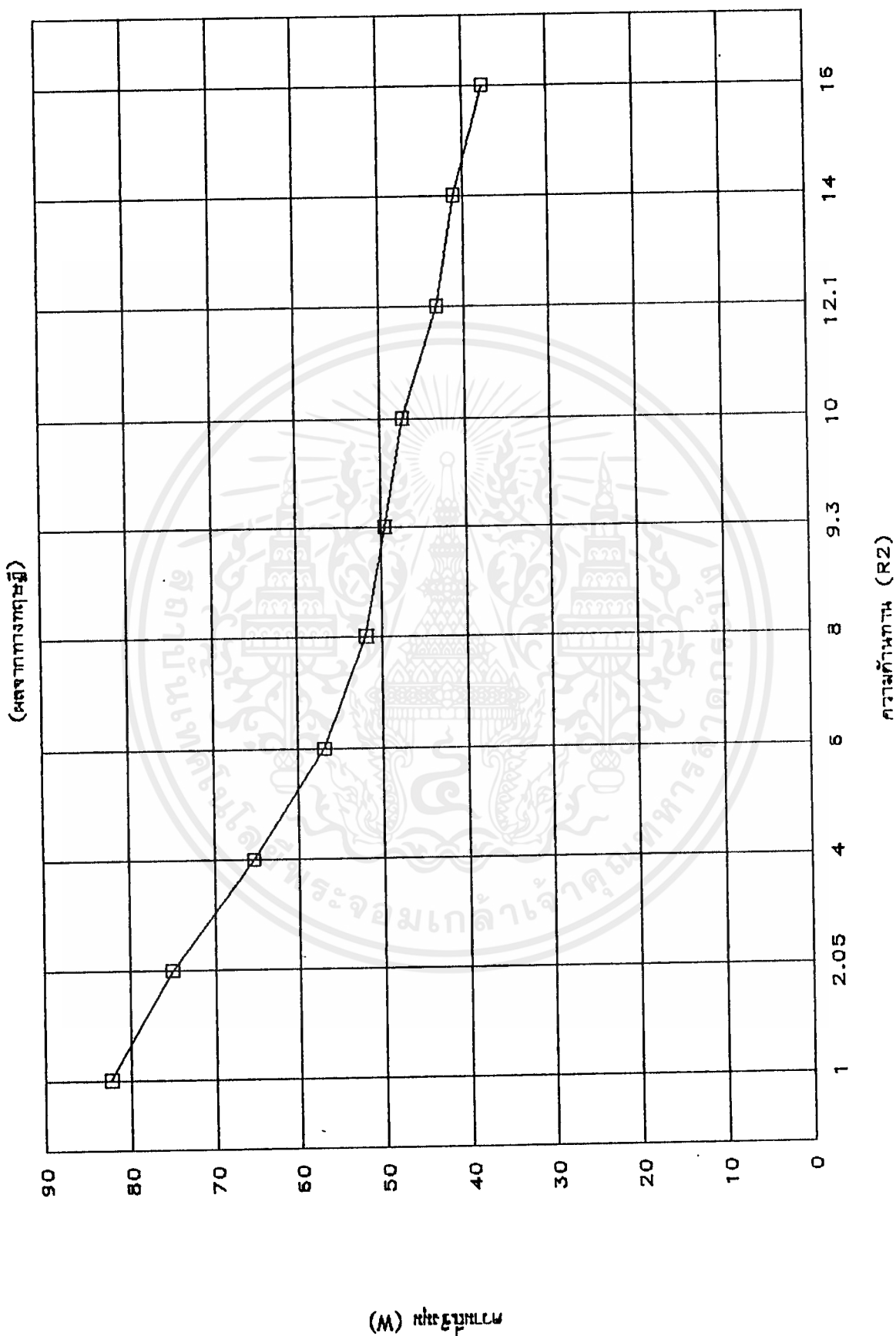
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, R1



(M) หมายเหตุ

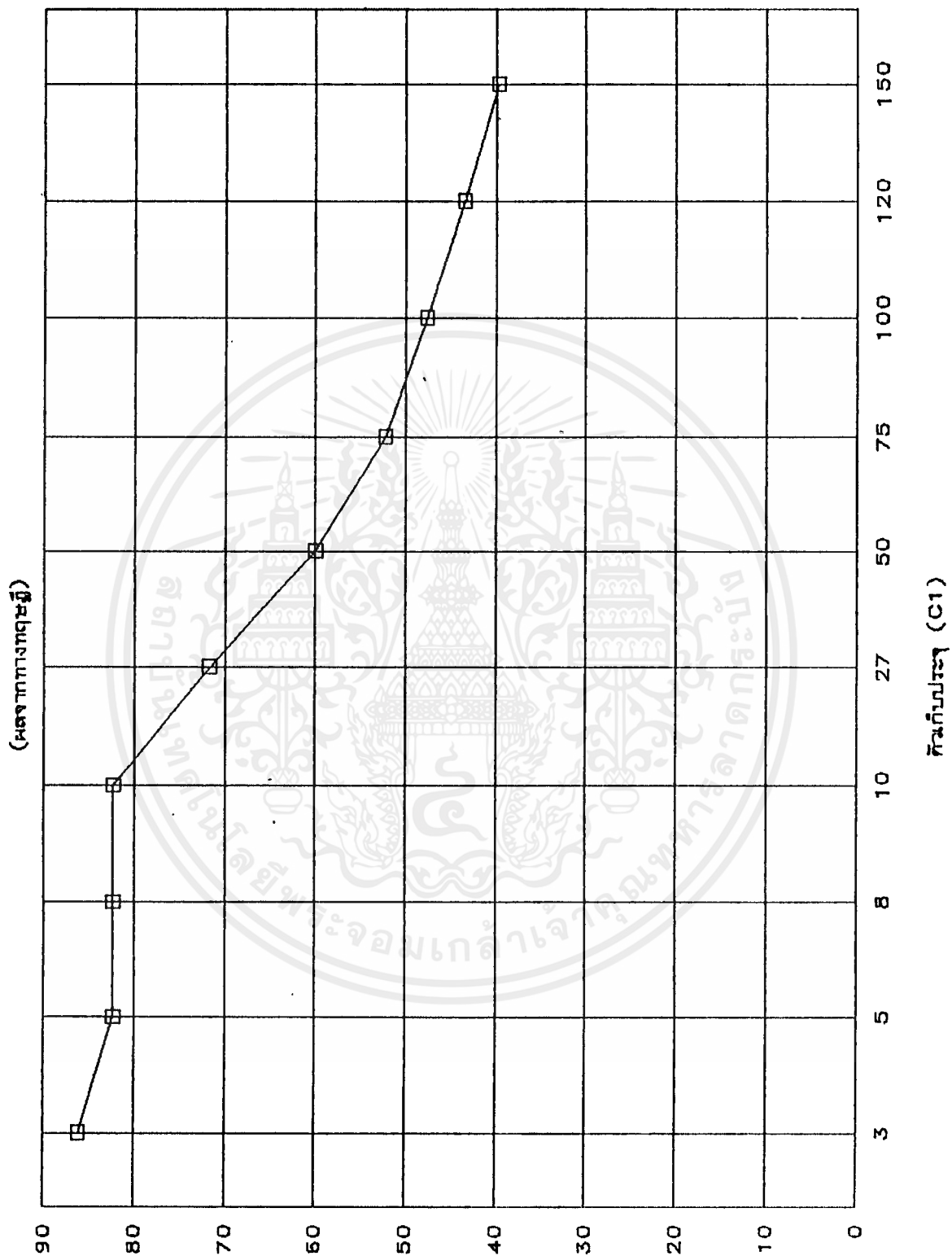
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, R2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

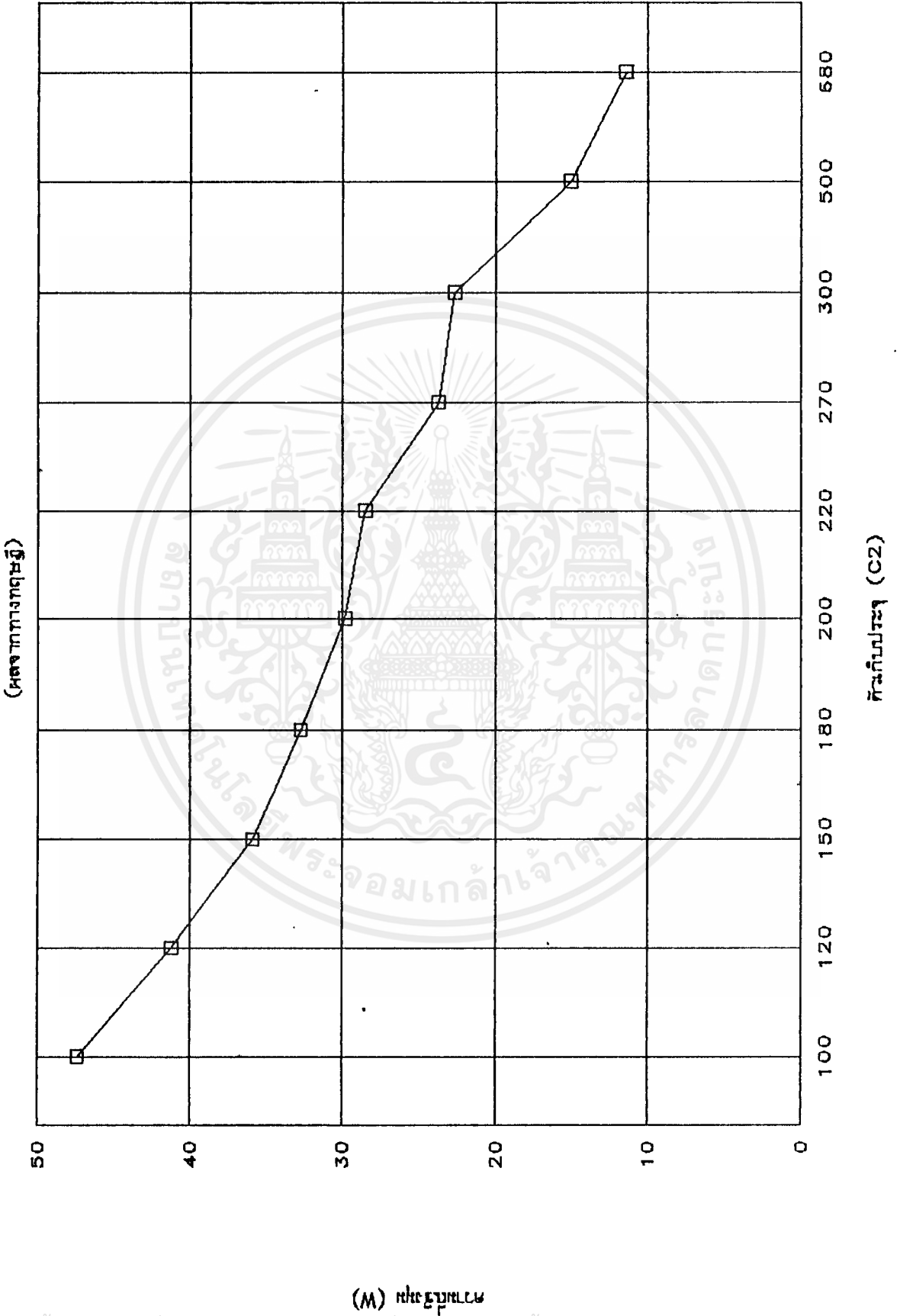
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, C1



(M) นิตยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, C2



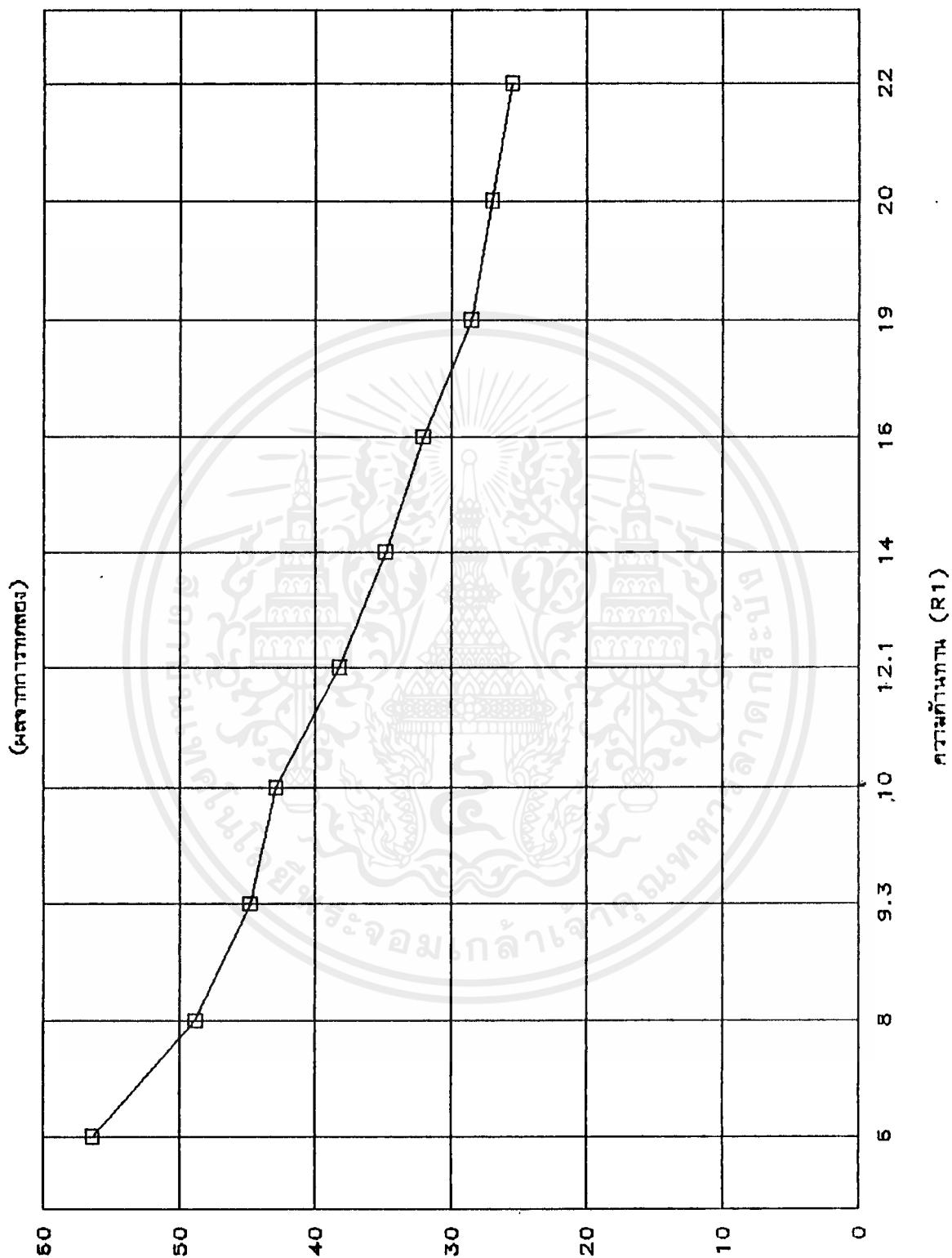
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 2. SENSITIVITY (Experiment)

R1 (Kohm)	6	8	9.3	10	12.1	14	16	19	20	22
VOLTAGE (volt)	9.983	8.63	7.63	7.05	6.67	6.14	5.74	5.22	5.09	4.93
FREQUENCY (KHz)	8.98	7.77	7.13	6.83	6.09	5.55	5.1	4.54	4.3	4.06
W (rad/sec)	56.421	48.819	44.798	42.913	38.263	34.871	32.043	28.525	27.017	25.509
R2 (Kohm)	1	2.05	4	6	8	9.3	10	12.1	14	16
VOLTAGE (volt)	3.32	3.71	4.44	5.23	6.11	6.71	7.05	8.3	9.45	10.11
FREQUENCY (KHz)	11.43	10.56	9.27	8.25	7.45	7	6.85	6.3	5.9	5.4
W (rad/sec)	71.815	66.348	58.243	51.835	46.808	43.981	43.039	39.583	37.070	33.928
C1 (Pf)	3	5	8	10	27	50	75	100	120	150
VOLTAGE (volt)	0.204	0.277	0.382	0.415	1.15	2.25	4.28	7.59	9.61	10.42
FREQUENCY (KHz)	11.57	11.41	11.39	11.08	10.06	8.91	7.81	6.8	6.32	5.59
W (rad/sec)	72.694	71.689	71.563	69.616	63.207	55.982	49.070	42.724	39.709	35.122
C2 (Pf)	100	120	150	180	200	220	270	300	500	680
VOLTAGE (volt)	7.69	5.85	4	3.18	2.73	2.42	1.76	1.64	0.92	0.63
FREQUENCY (KHz)	6.71	6.1	5.32	4.79	4.53	4.3	3.65	3.45	2.39	1.82
W (rad/sec)	42.159	38.326	33.426	30.096	28.462	27.017	22.933	21.676	15.016	11.435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, R1

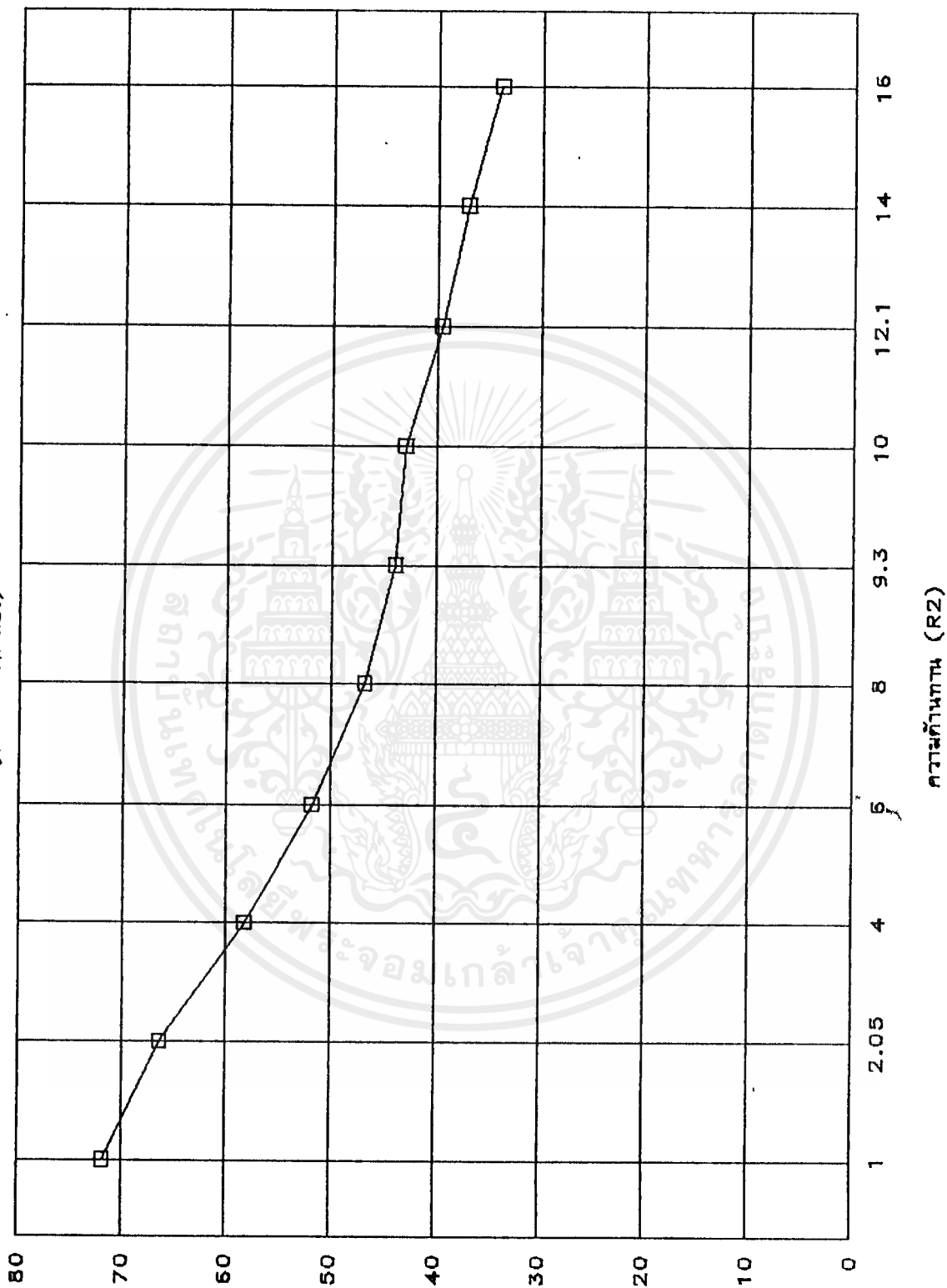


(M) หมายเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, R2 -

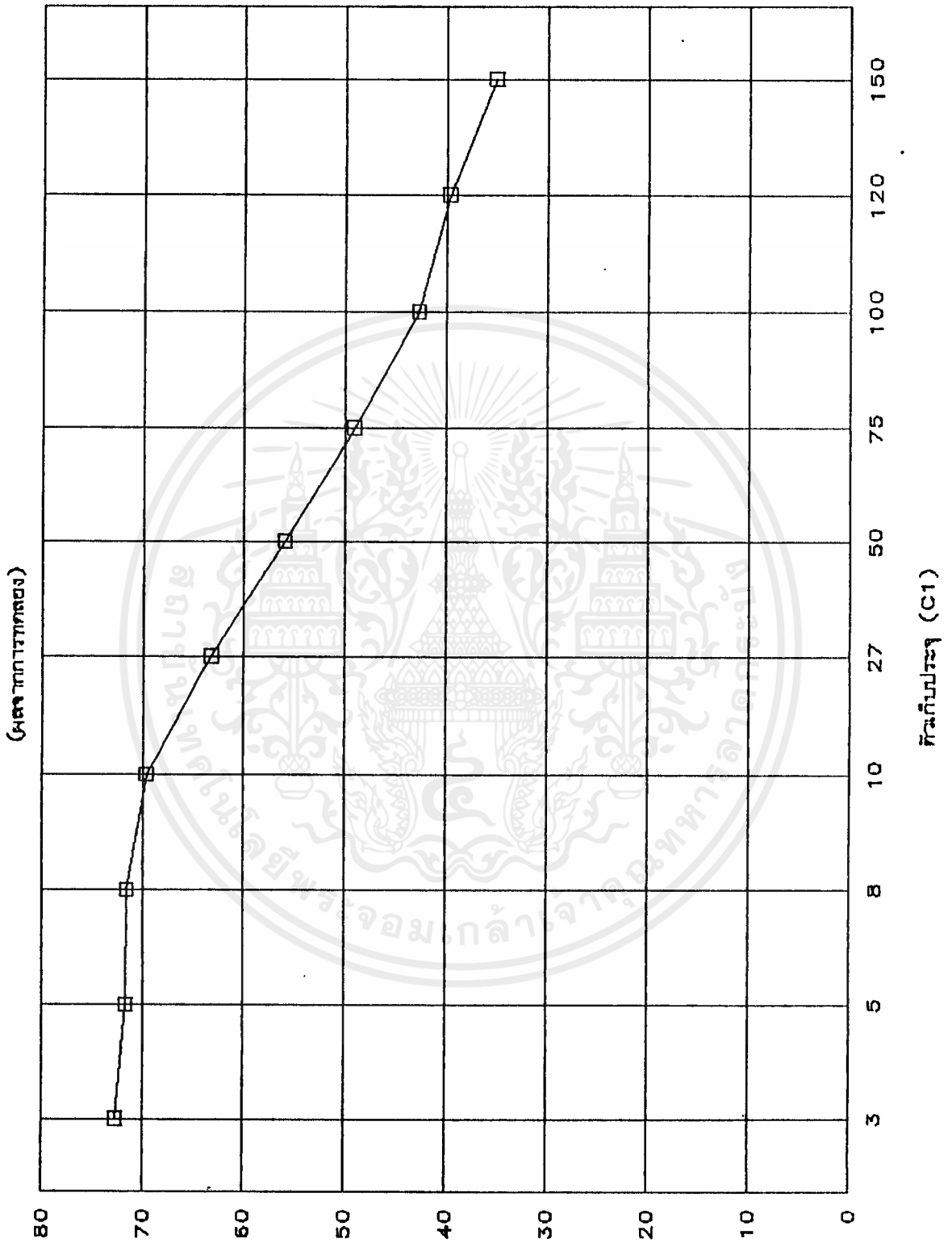
(แสดง การทดลอง)



(M) ๓๒๕๖๗๗๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

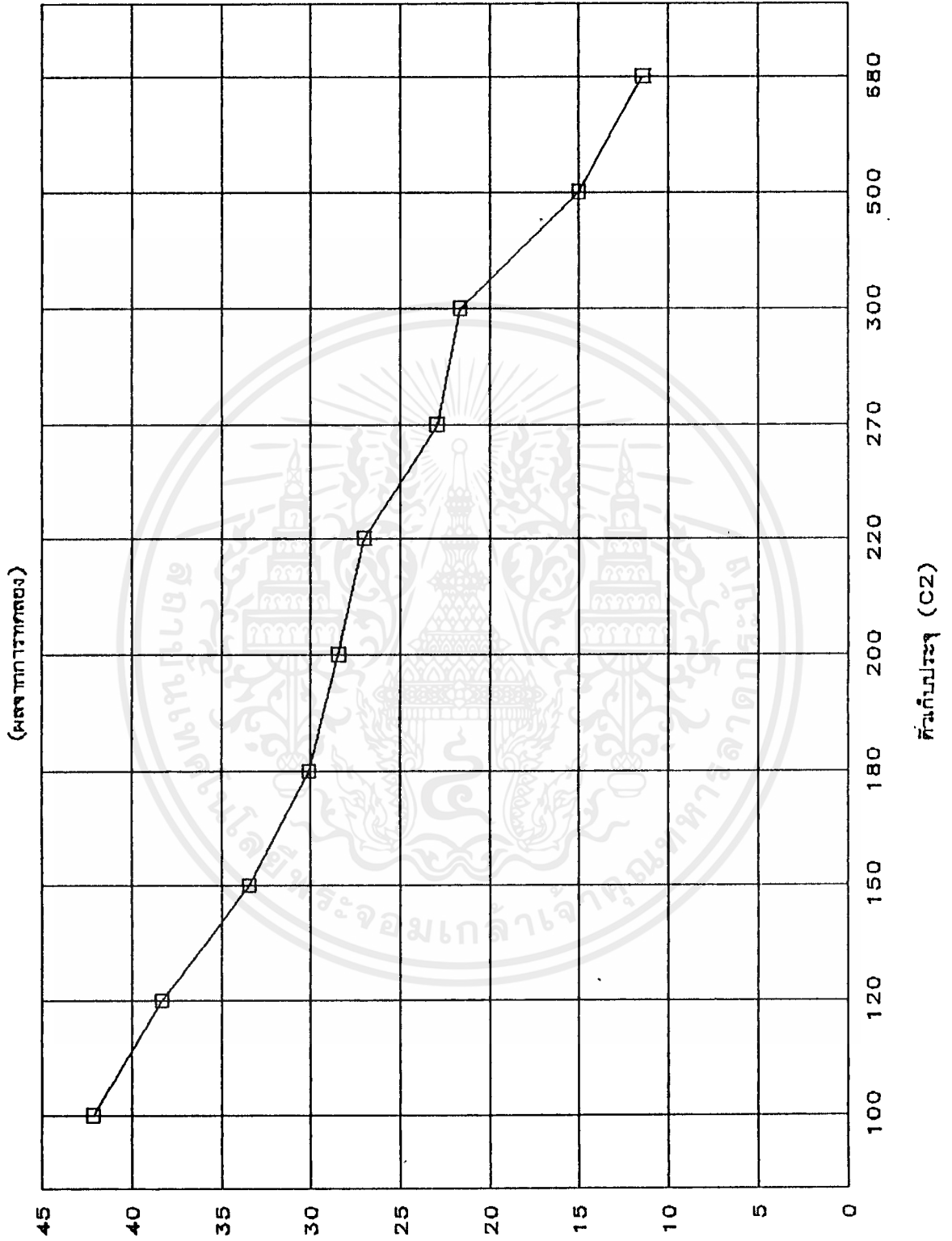
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, C1



(M) หมายเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W, C2



(M) อนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

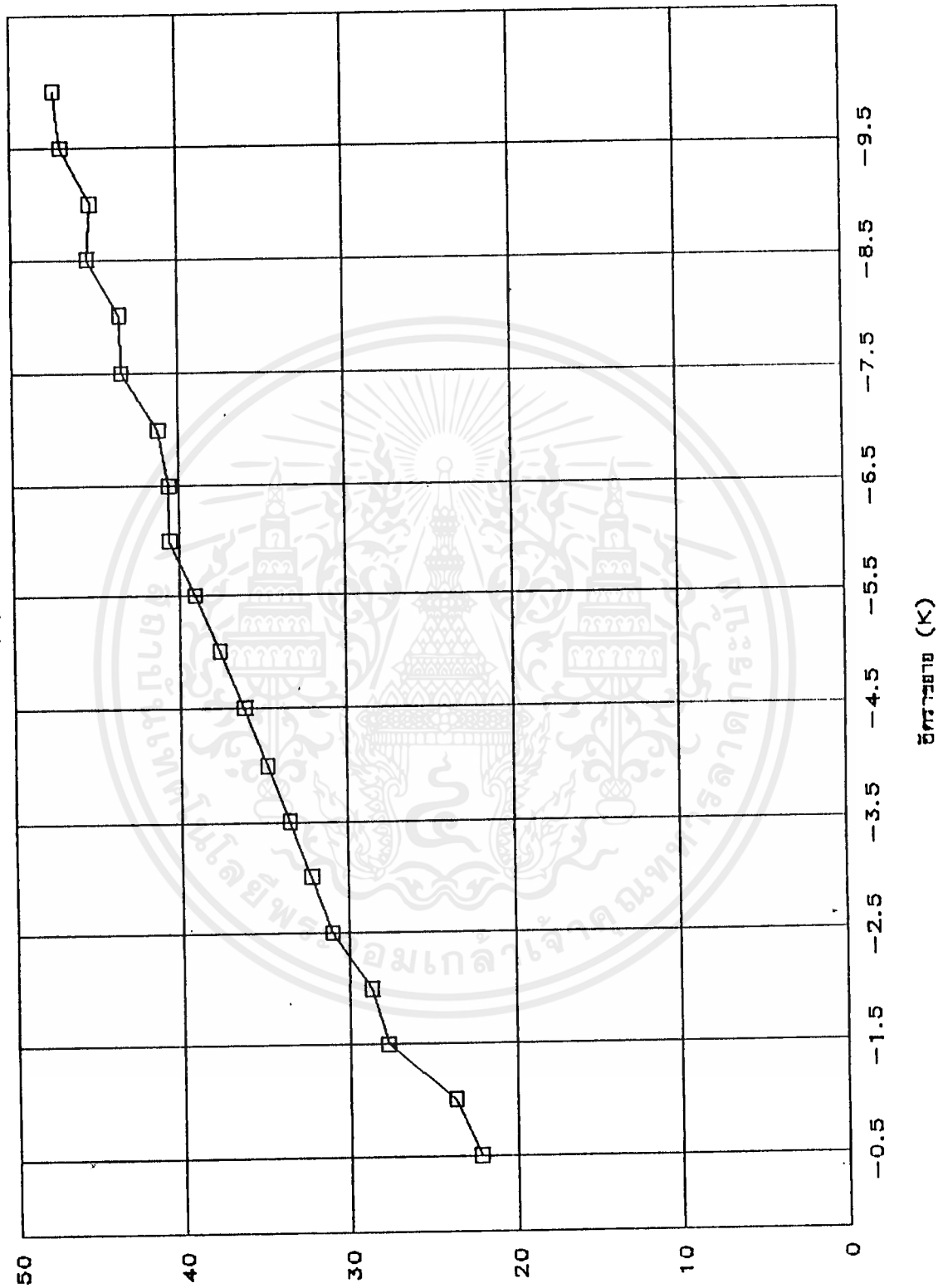
TABLE 3. SENSITIVITY OF QUALITY FACTOR(Q) VS GAIN(K)...Theory

GAIN	fL	f0	fH	Q	w	SENSITIVITY
-0.5	1.211	3.53	9.036	0.4511	22.1793	0.1515
-1	1.609	3.773	8.872	0.5195	23.7061	0.5281
-1.5	1.997	4.414	8.719	0.6566	27.7336	0.3472
-2	2.371	4.571	8.61	0.7326	28.7201	0.7227
-2.5	2.743	4.941	8.455	0.8650	31.0448	0.6310
-3	3.078	5.134	8.348	0.9742	32.2574	0.8298
-3.5	3.431	5.335	8.242	1.1089	33.5203	0.9123
-4	3.777	5.544	8.2	1.2534	34.8335	1.0997
-4.5	4.113	5.76	8.153	1.4257	36.1907	1.3158
-5	4.429	5.986	8.092	1.6342	37.6106	1.4506
-5.5	4.732	6.22	8.056	1.8712	39.0809	1.6980
-6	5.027	6.463	8.019	2.1601	40.6077	1.5589
-6.5	5.341	6.463	7.989	2.4407	40.6077	1.6446
-7	5.589	6.563	7.976	2.7495	41.2360	2.8293
-7.5	5.86	6.911	7.951	3.3051	43.4225	2.4040
-8	6.126	6.918	7.93	3.8348	43.4665	2.6528
-8.5	6.326	7.229	7.943	4.4706	45.4205	4.3777
-9	6.631	7.196	7.911	5.6219	45.2132	3.0826
-9.5	6.822	7.467	7.956	6.5847	46.9159	8.2495
-10	7.101	7.536	7.899	9.4436	47.3494	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง SENSITIVITY

(เป็นค่าทางทฤษฎี)

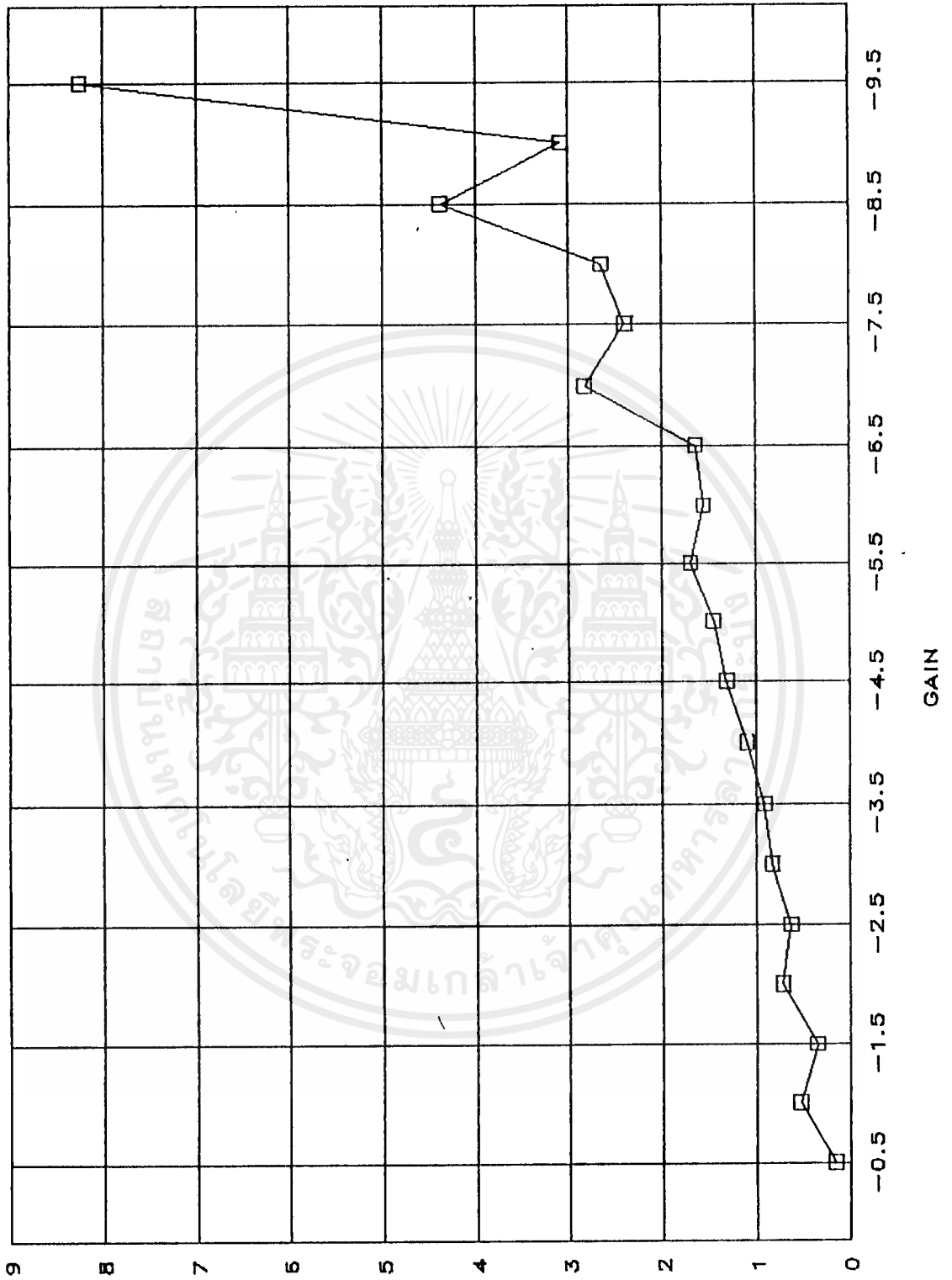


(M) ๓๕๕๖๗๘๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง SENSITIVITY

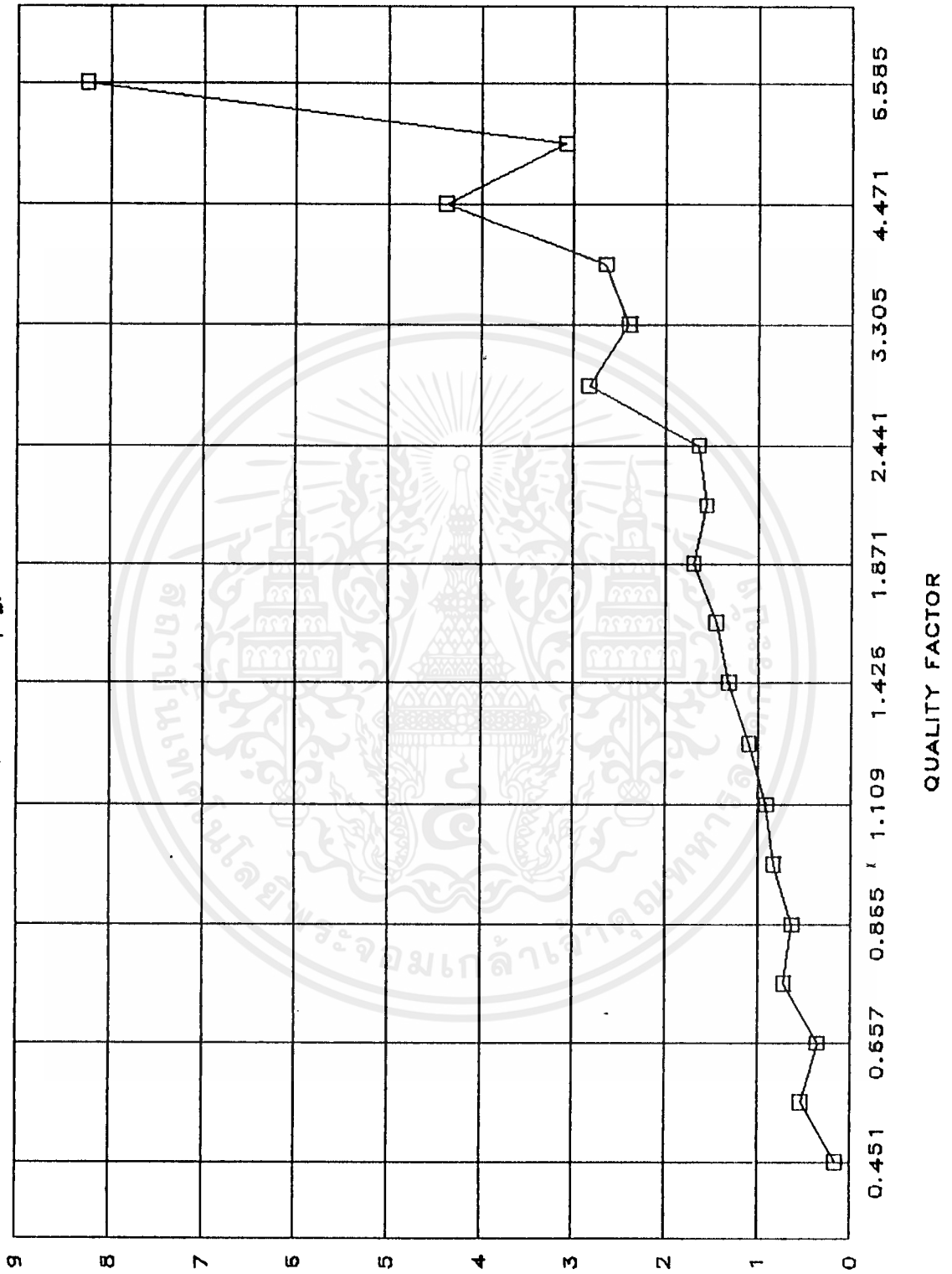
(เป็นผลทางทฤษฎี)



SENSITIVITY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง SENSITIVITY
(เป็นตารางทฤษฎี)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENSITIVITY

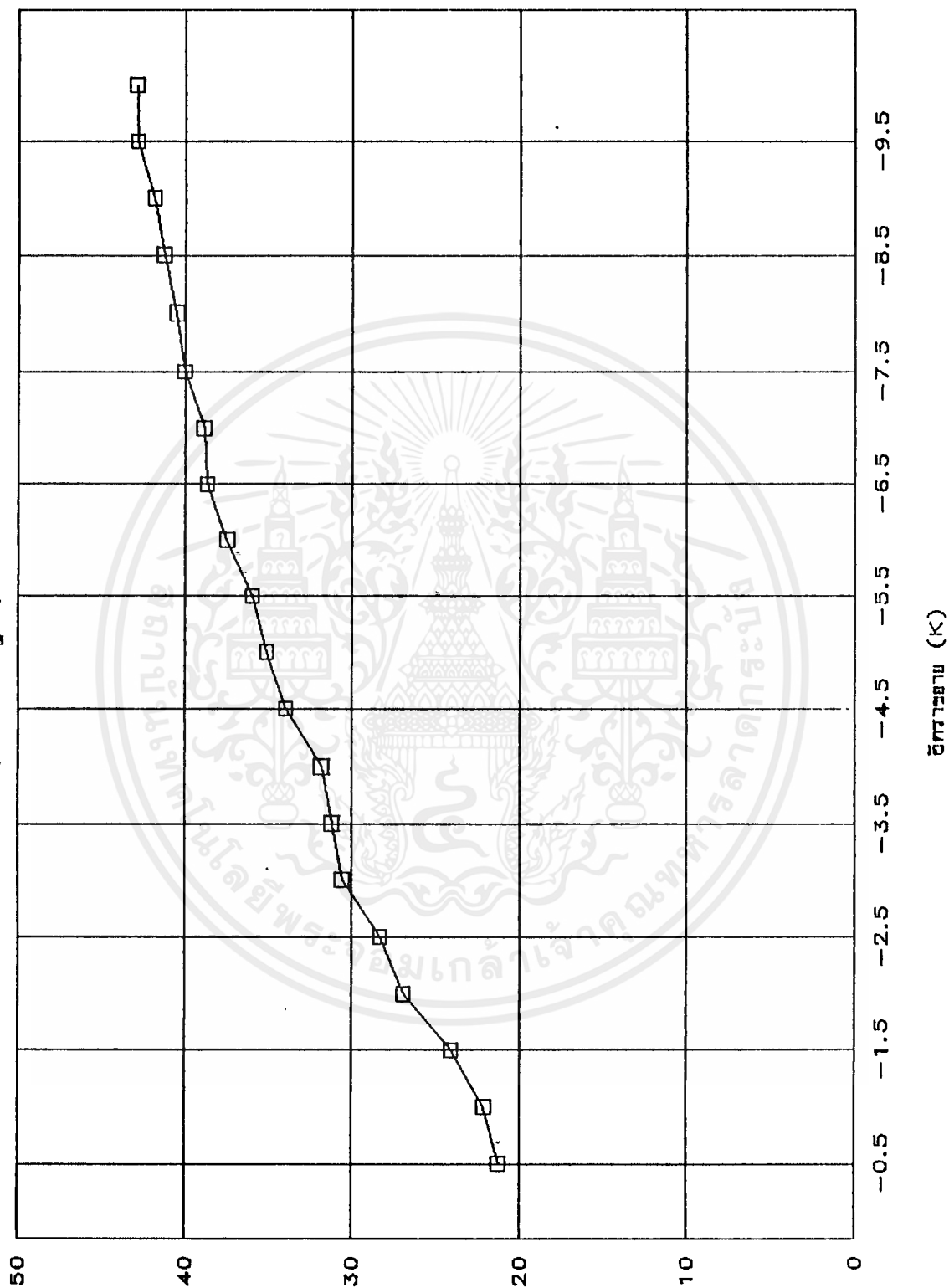
TABLE 4. SENSITIVITY OF QUALITY FACTOR(Q) VS GAIN(K)..Exp.

GAIN	fL	fD	fH	Q	w	SENSITIVITY
-0.5	1.11	3.38	8.6	0.451	21.237	0.1522
-1	1.49	3.52	8.26	0.520	22.117	0.3724
-1.5	1.86	3.83	8.07	0.617	24.064	0.6482
-2	2.23	4.29	7.95	0.750	26.954	0.5298
-2.5	2.56	4.51	7.87	0.849	28.337	0.8749
-3	2.9	4.87	7.78	0.998	30.599	0.6848
-3.5	3.24	4.97	7.71	1.112	31.227	0.5639
-4	3.47	5.07	7.69	1.201	31.855	1.2845
-4.5	3.76	5.41	7.64	1.394	33.992	1.0227
-5	4.01	5.59	7.61	1.553	35.123	1.3195
-5.5	4.29	5.73	7.55	1.758	36.002	2.1095
-6	4.66	5.97	7.51	2.095	37.510	1.7845
-6.5	4.91	6.16	7.47	2.406	38.704	1.6035
-7	5.16	6.19	7.45	2.703	38.892	2.1727
-7.5	5.4	6.37	7.44	3.123	40.023	1.7483
-8	5.57	6.45	7.42	3.486	40.526	3.0827
-8.5	5.81	6.57	7.39	4.158	41.280	2.5884
-9	6.02	6.66	7.41	4.791	41.845	3.5303
-9.5	6.21	6.82	7.4	5.731	42.851	1.9659
-10	6.31	6.83	7.39	6.324	42.914	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง SENSITIVITY

(เป็นตารางปฐพี)

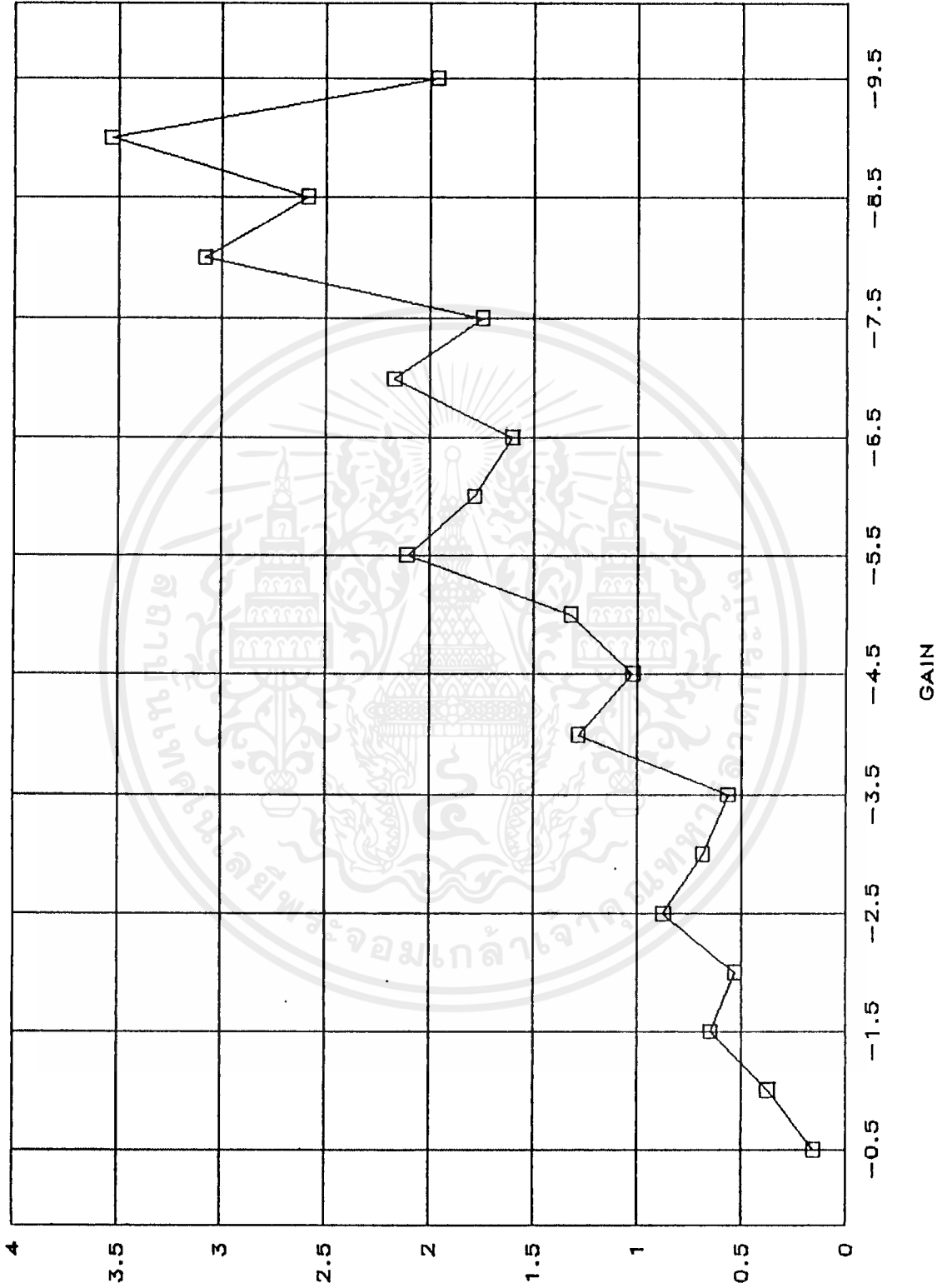


(M) หนึ่งหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

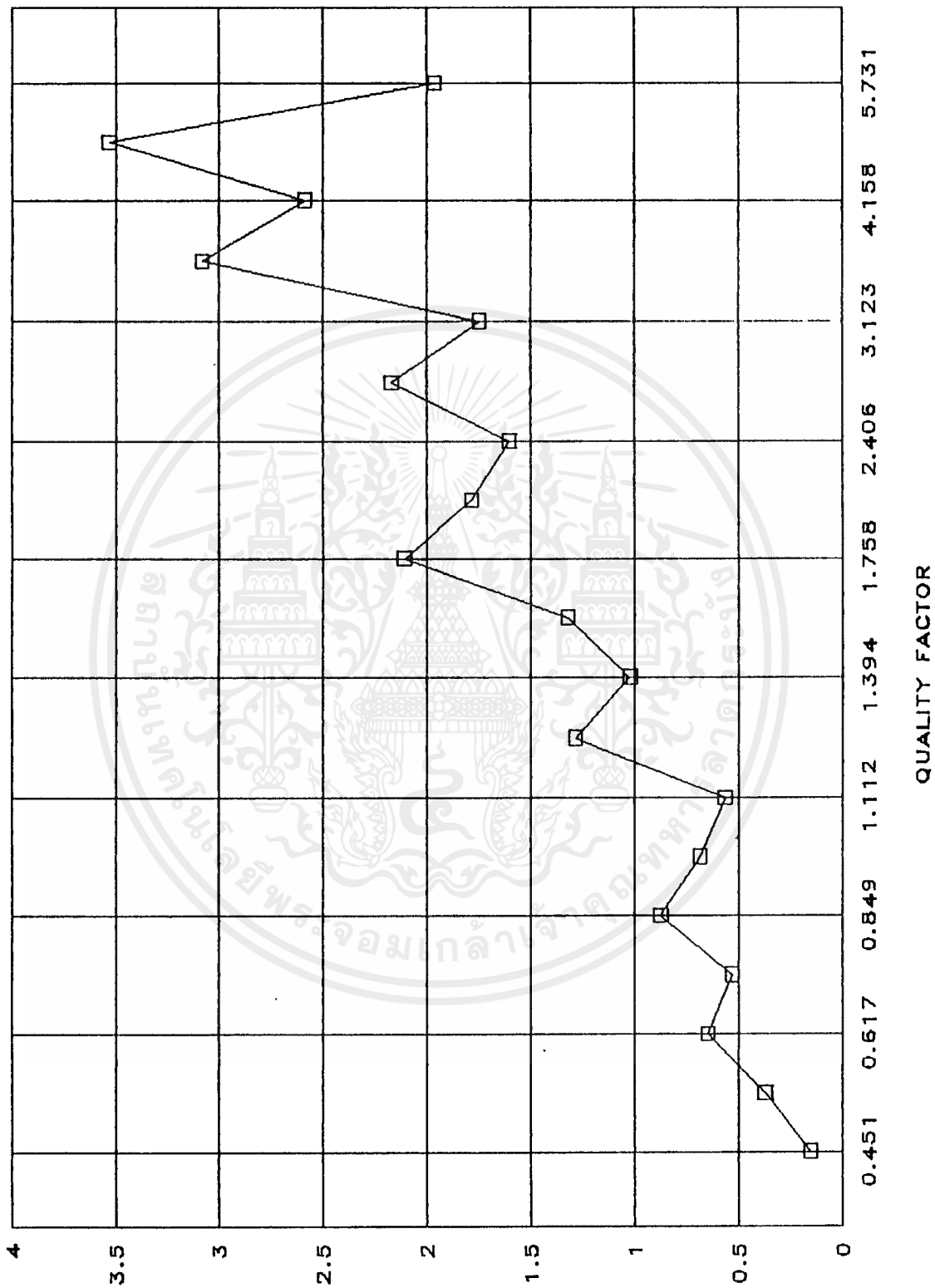
กราฟแสดง SENSITIVITY

(เป็นผลทางปฏิบัติ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

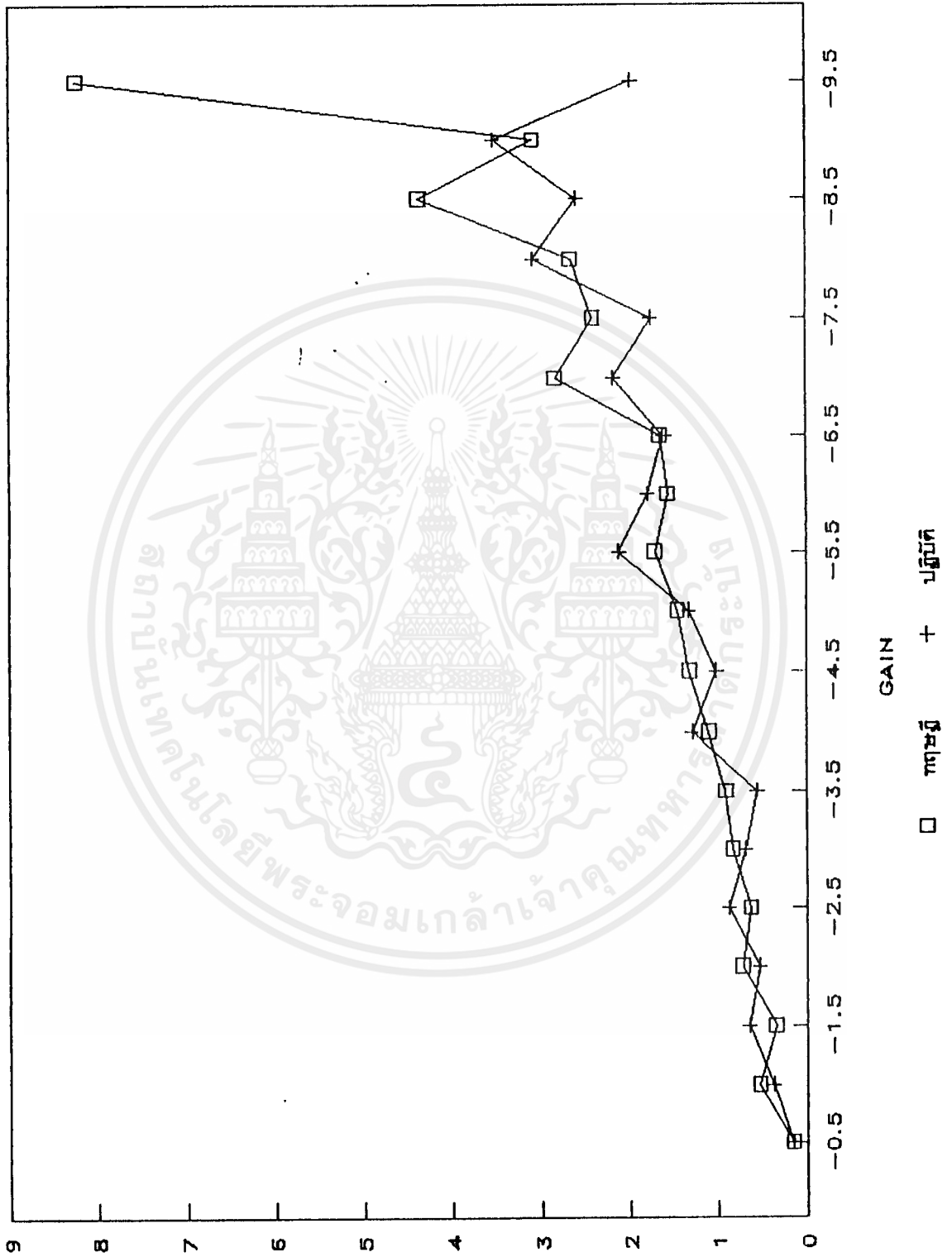
กราฟแสดง SENSITIVITY
(เป็นผลทางปฏิบัติ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง SENSITIVITY

เปรียบเทียบระหว่างทางทฤษฎีกับทางปฏิบัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดลองเรื่อง sensitivity ของวงจรรูปที่ 10 ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการหาความเปลี่ยนแปลงของ W_0 เมื่อค่า R และ C ของตัว URC เปลี่ยนแปลง ส่วนที่สองจะเป็นการหา sensitivity ของ Q เมื่อ gain(K) เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะแยกอธิบายการทดลอง และผลการทดลอง ดังนี้

จากรูปที่ 10. เป็นวงจร BAND PASS FILTER วงจรประกอบด้วย URC 2 ตัวจึงต้องทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่า passive element ของ URC ที่ละตัว โดยที่จะคงที่ค่าของ URC อีกตัว เริ่มต้นจะเปลี่ยนแปลงค่า R_1 จากการทดลองเมื่อลดค่า R_1 ลงเรื่อยๆ แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้น จนค่า R_1 มีค่าประมาณ 2 Kohm แรงดันเอาต์พุตจะโคจรคลิบ เมื่อเพิ่มค่า R_1 แรงดันเอาต์พุตจะลดลง จากการทดลองค่า R_1 สูงสุดที่ใช้ทดลองคือ 22 Kohm เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงค่า R_2 จะให้ผลตรงกันข้ามกับ R_1 คือค่า R_2 เพิ่มขึ้น V_0 จะเพิ่มขึ้นตามเมื่อ R_2 มีค่าประมาณ 15 Kohm แรงดันเอาต์พุตจะโคจรคลิบ เมื่อลดค่า R_2 แรงดันเอาต์พุตจะลดตาม ค่า R_2 ค่าสุดที่ใช้ในการทดลองคือ 1 Kohm ที่นี้มาเปลี่ยนค่า C_1 บ้างจากการทดลองค่า C_1 เพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มจนโคจรคลิบเมื่อ C_1 มีค่าประมาณ 120 pf เมื่อลดค่า C_1 แรงดันเอาต์พุตที่จะลดตาม ส่วนการเปลี่ยนแปลงของ C_2 . หากมีค่าน้อยกว่า 100 pf แรงดันเอาต์พุตจะโคจรคลิบ รายละเอียดดูได้จากตารางที่ 2. เมื่อทดลองมาถึงจุดนี้ จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อค่าความต้านทาน หรือ ค่าของตัวเก็บประจุของตัว URC มีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ gain ของวงจรมีการเปลี่ยนแปลง ส่วน f_0 จะแปรผกผันกับค่า R_1, R_2, C_1, C_2 เมื่อนำค่า W_0 มาเขียนกราฟสัมพันธ์กับ R_1, R_2, C_1, C_2 ตามลำดับจะได้ลักษณะกราฟที่คล้ายคลึงกัน

การทดลองส่วนที่สองจะทำการเปลี่ยนแปลงค่า gain ของ op-amp โดยจะเริ่มที่ค่า -0.5 จนถึงค่า -10 ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงทีละ 0.5 จากนั้นจะทำการวัดค่า f_0, f_L, f_H จากตารางที่ 4. จะเห็นว่า f_0 จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ gain เปลี่ยนไป 0.5 เท่า และแปรผันตรงกับ gain ค่า f_L เปลี่ยนแปลงวนลักษณะเดียวกับ f_0 ส่วน f_H จะแปรผกผันกับ gain จะเห็นได้ว่าเมื่อ gain มีค่าเท่า bandwidth จะกว้างมากและเมื่อ gain เพิ่มขึ้น bandwidth ก็แคบลงเรื่อยๆ

จากนั้นนำค่าความถี่ทั้งสองมาเข้าสู่กราฟค่า Q ซึ่งเท่ากับ f_0/f_H-f_L การคำนวณหาค่า sensitivity ของ Q เมื่อ gain เปลี่ยนแปลงหาได้จากสูตร

$$S_Q = \frac{dQ}{dK} / Q = \frac{(Q_2 - Q_1)}{Q_1} / \frac{(K_2 - K_1)}{K_1}$$

จากนั้นก็นำค่า sensitivity ที่คำนวณได้มาเขียนกราฟซึ่งสามารถเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ได้ทั้งสองกราฟ โดยกราฟแรกจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง sensitivity กับ gain ส่วนอีกกราฟจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง sensitivity กับ Quality factor ซึ่งค่าของ sensitivity ที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นลงๆ แต่ถ้าหากคิดเป็นค่าเฉลี่ยแล้วค่าของ sensitivity จะเพิ่มขึ้นตามค่าของ gain และจากการคำนวณหาค่า sensitivity เรายังสามารถนำมาเขียนกราฟได้อีกกราฟ คือกราฟของความสัมพัทธ์ระหว่าง f_0 กับ gain ได้อีกด้วย ซึ่งค่า f_0 จะแปรผันตรงกับค่าของ gain กราฟรูปสุดท้ายเป็นการนำผลการทดลองมาเขียนเปรียบเทียบ กับกราฟทางทฤษฎีเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ sensitivity กับ gain ซึ่งผลทางปฏิบัติจะใกล้เคียงกับทางทฤษฎี จะมีความผิดพลาดอยู่ก้ำกึ่ง gain เท่ากับ -6.5 ถึง -9.5 สาเหตุอาจจะเกิดมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่ได้มาตรฐาน เช่น ค่าของ R และค่าของ C มีค่าไม่เท่ากับค่าที่เขียนไว้

สรุปการทงาน

การทดลองวงจรแอกทีฟที่สทริบิวทอาร์ซีเลนฟิลเตอร์ในรายงานฉบับนี้ ช่วงแรกจะเป็นการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของตัว URC ทาให้ทราบว่าคุณสมบัติของ URC นั้นจะแสดงตัวเองเป็น Low pass filter ซึ่งมีคุณสมบัติ คล้ายสายส่งสัญญาณ(Transmission line) คือเป็น เน็ทเวอร์ค RC ลัมป์ ต่อคาสเซคกันอยู่ ซึ่งในการทดลองเราพบว่าการนำแบบจำลองของ URC มาใช้งานนี้เราจะใช้ RC ลัมป์ ต่อกัน 10 ชุด ซึ่งเราสามารถนำตัว URC มาทำเป็น ACTIVE FILTER ชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(LPF) วงจรกรองความถี่สูงผ่าน(HPF), วงจรกรองย่านความถี่(BPF) ผลการทดลองที่ออกมาได้แสดงอยู่ในรายงานฉบับนี้แล้ว ข้อดีของการนำเอา URC มาต่อเป็น Band Pass Filter คือจะให้ผลทางด้านความถี่ในย่าน Pass band ได้แคบมาก และเมื่อนำมาต่อเป็นวงจร Band reject Filter ก็จะให้ผลทางด้านความถี่ในย่าน Stop band ได้ดีเช่นกันเพราะวงจรมีความสามารถในการหยุดสัญญาณในความถี่ที่ต้องการได้ดีมาก ผลจากการทดลองและผลที่ได้จาก Computer Simulation มีความใกล้เคียงมากในการทดลองช่วงต้น ๆ แต่เมื่อนำ URC มาต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่นมากขึ้นทาให้ เกิดความผิดพลาดเนื่องจากอุปกรณ์บ้างเล็กน้อย โดยการเปรียบเทียบจากรูปของการตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ต่าง ๆ เราจะเปรียบเทียบจาก Software โดยที่ใช้โปรแกรม Power Basic และ โปรแกรม PSpice Version 4.03

ส่วนในคอนทักซ์ของเล่มเป็นการทดลองเกี่ยวกับค่าความไว (SENSITIVITY) ของวงจร BAND PASS FILTER โดยการเพิ่มและลดค่าของอีลีเมนต์พารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วหาค่าความไวออกมา เปรียบเทียบกันผลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ Simulation โดยที่ใช้โปรแกรม PSpice นำมาเปรียบเทียบกันเป็นค่าความไวของอุปกรณ์ ทั้งประเภทพาสซีฟและแอกทีฟ ซึ่งผลได้แสดงให้เห็นในรายงานนคอนทักซ์ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. ไพศาล สิทธิยภาสกุล,กนก เจนจิระพงศ์เวช , "การออกแบบและการประยุกต์ใช้งานของของวงจรแอกทีฟคัสตรีบิวท์อาซีไลน์ฟิลเตอร์", วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล. ปีการศึกษา 2533
2. อธิคม ฤกษ์บุตร , "คู่มือการใช้ SPICE เบื้องต้น พร้อมตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน", วิทยาลัยมหานคร., 2535
3. Gong Chang-guo, Nikorn Sukutamantanti, Kanok Janchitrapongvrs Shiro Sudou, Mitsuto Teramoto, "ACTIVE HIGH-PASS AND BANDPASS FILTERS USING UNIFORMLY DISTRIBUTED RC LINES", JTC-CSCC'92, P.395-400 ., 1992
4. J. Alvin Connelly, Pyung Choi, "MACROMODELING WITH SPICE", Prentice Hall., 1992
5. Muhammad H. Rashid, "SPICE for Circuit and Electronics Using PSpice" , Prentice Hall., 1990.