

เอกสารอ้างอิง

1. Hiller, JB. " Travelling wave machine " , Proc I.E.E.,  
Vol.113, No.8, 1966, pp. 1371 - 1372
2. Watson, D.B. and Varasundharosoth, B. " The travelling  
wave machine " , Elec. Engg. Trans., I.E. Aust, Vol.EE 14,  
No.1, 1978, pp. 25 - 30
3. Varasundharosoth, B. and Watson, D.B. " A Single phase linear  
travelling wave induction machine." Electric Machine and  
Electromechanics. An International Quarterly, Vol. 3, No.1,  
1978, pp. 75 - 88
4. Varasundharosoth, B. and Watson, D.B. " Variable speed  
single phase linear induction motor " Proc. I.E.E. Vol. 125,  
No. 11, 1978, pp.1273 - 1274
5. D.B. Watson, " Some characteristics of the single phase  
travelling wave machine' " Proc. I.E.E., Vol. 124 , No.9,  
1977, pp. 771 - 774

6. D.B. Watson and Varasundharosoth, B. " Improved travelling wave machine " Proc. I.E.E., Vol. 126, No. 11, 1979, pp. 1162 - 1164
7. S.A. Nasar " Travelling-wave machine " Proc. I.E.E., Vol.104 No. 6, 1967, pp. 1124
8. Putman, T.H. " Utilization of travelling wave for energy conversion " Sc.D. dissertation, M.I.T., U.S.A. 1958
9. Alexander S. Langsdorf. Theory of Alternating Current Machinery, Mc. Graw Hill, 1955
10. Skilling, Electric Transmission line Mc. Graw Hill, 1951
11. M. Kostenko, L. Piotrovsky, Electrical Machine Vol. 2  
Mir Publisher. Moscow

12. ผศ.ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ " เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำเลื่อน  
เฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา-ลักษณะแนะนำเบื้องต้น " , ในการสัมมนาวิชาการ  
วิศวกรรมไฟฟ้า 8 สถาบัน, ครั้งที่ 3 , หน้า 69-84, กรุงเทพฯ:  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2523

ภาคผนวก ก.

แสดงความคล้ายคลึงกันระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
เฟสเดียวกับสายส่งไฟฟ้า

ภาคผนวก ก.

1. สมการแสดงความคล้ายคลึงกันระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว  
แบบเก่า กับ สายส่งไฟฟ้า

ในหัวข้อที่ 1. นี้ จะแสดงถึงความคล้ายคลึงกันระหว่างสมการที่อธิบายถึงการเคลื่อนที่ของกระแส และ แรงดันไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในเทอมของคลื่นเคลื่อนที่ และคลื่นสะท้อนกลับ กับ สมการที่อธิบายถึงการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว ซึ่งอยู่ในเทอมของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ และคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถอยหลัง <sup>(1)</sup> , แยกการวิเคราะห์ได้ดังนี้,

1.1 วิเคราะห์สายส่งไฟฟ้า<sup>(1)</sup>

ถ้ากำหนดให้  $V$  : แรงดันไฟฟ้าที่จุดใดๆ ซึ่งห่างจากจุดปลายของสายส่งไฟฟ้า เป็นระยะ  $x$

จะได้ , 
$$V = v^+ e^{\gamma x} + v^- e^{-\gamma x} \quad (1-1)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

โดยที่  $\gamma$  : พังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น ในสายส่งไฟฟ้า

$V^+$  : คลื่นแรงดันไฟฟ้าเดินทางหน้า

$V^-$  : คลื่นแรงดันไฟฟ้าสะท้อนกลับ

$\alpha$  : ตัวคงค่าการลดทอน

$\beta$  : ตัวคงค่าเฟส

และในกรณีที่สายส่งไฟฟ้า ไม่มีการสูญเสีย , นั่นคือ,  $\alpha = 0$

$$\text{จะได้, } \gamma = j\beta \quad (1-2)$$

ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าที่จุดใดๆ , มีค่า  $V$  ในขณะเวลาใดๆ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น, } V &= \text{Re} [ |V^+| \exp\{j(\omega t - \beta x + \theta^+)\} \\ &\quad + |V^-| \exp\{j(\omega t + \beta x + \theta^-)\} ] \end{aligned} \quad (1-3)$$

$$= |V^+| \cos(\omega t - \beta x + \theta^+) + |V^-| \cos(\omega t + \beta x + \theta^-) \quad (1-4)$$

$$\text{โดยที่, } V^+ = |V^+| \exp(j\theta^+)$$

$$V^- = |V^-| \exp(j\theta^-)$$

ในทำนองเดียวกัน จะได้, กระแส/ระยะทาง/การเปลี่ยนแปลงเวลา, มีค่า  $i$

$$i = |I^+| \cos(\omega t - \beta x + \theta^+) + |I^-| \cos(\omega t + \beta x + \theta^-) \quad (1-5)$$

## 1.2 วิเคราะห์หม้อเตอร์เหนี่ยววน่า <sup>(1)</sup>

สมการการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ , ดังนี้

$$F = F_p \cos(\omega t - \psi + \phi_p) + F_b \cos(\omega t + \psi + \phi_b) \quad (1-6)$$

โดยที่  $F$  : สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ขณะเวลา  $t$  ที่จุดใดๆใน  
ช่องอากาศ โดยมีมุม  $\psi$

$F_p$  : ขนาดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่เคลื่อนหน้า

$\phi_p$  : มุมเฟสของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่เคลื่อนหน้า

$F_b$  : ขนาดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ถอยหลัง

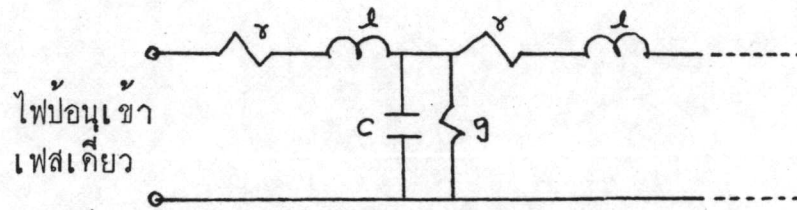
$\phi_b$  : มุมเฟสของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ถอยหลัง

จะเห็นได้ว่า สมการ (1-6) ซึ่งอธิบายถึงการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ มีลักษณะคล้ายคลึง กับสมการ (1-5) ซึ่งอธิบายถึงค่าแรงดันไฟฟ้า ที่จุดใดๆในสายส่งไฟฟ้า

## 2. การเกิดคลื่นเดินทางในสายส่งไฟฟ้า <sup>(10)</sup>

วิเคราะห์การเกิดคลื่นเดินทางในสายส่งไฟฟ้า ได้จาก วงจรสมมูลย์ของ

สายส่งไฟฟ้า ที่แสดงในรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 แสดงวงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้า

เมื่อกำหนดให้  $x$  : ระยะทางวัดจากปลายด้านส่ง ไปยัง ด้านรับ

$\checkmark$  : แรงดันไฟฟ้า ที่ตำแหน่งใดๆ ของวงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้า

$i$  : กระแส ที่ตำแหน่งใดๆ ของวงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้า

$t$  : เวลา

$$\text{จะได้ , } \frac{\partial V}{\partial x} = -(ri + l \frac{\partial i}{\partial t}) \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -(gV + c \frac{\partial V}{\partial t}) \quad (2-2)$$

ในกรณีที่ เป็นสายส่งไฟฟ้า ที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน, คือ  $r = 0$  ,  $g = 0$

$$\text{จะได้ , } \frac{\partial V}{\partial x} = -l \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -c \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2-4)$$

และเมื่อหาอนุพันธ์ของสมการ (2-3)



$$\text{จะได้, } \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = -L \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial i}{\partial t} \right) = -L \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial i}{\partial x} \right) = LC \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (2-5)$$

แทนค่าจากสมการ (2-4) ลงในสมการ (2-5), แล้วหาค่า  $V$ , ในรูปของ-  
-Functional notation

$$\text{จะได้, } V = V_1 \left( x - \frac{1}{\sqrt{LC}} t \right) + V_2 \left( x + \frac{1}{\sqrt{LC}} t \right) \quad (2-6)$$

และในทำนองเดียวกัน, จะได้,

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \quad (2-7)$$

$$\text{จะได้, } i = i_1 \left( x - \frac{1}{\sqrt{LC}} t \right) + i_2 \left( x + \frac{1}{\sqrt{LC}} t \right) \quad (2-8)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการ (2-6) ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงค่าแรงดันไฟฟ้าในสายส่ง  
ไฟฟ้า ที่ตำแหน่งใดๆ ที่มีค่าเท่ากับผลบวกของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเดินทาง กับ คลื่นแรง  
ดันไฟฟ้าสะท้อนกลับโดยที่ความเร็วของคลื่นเดินทางทั้งสองทิศทางนี้ มีค่าเท่ากัน และมี

$$\text{ความเร็ว} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

ต่อไปจะพิจารณาถึง อิมพีแดนซ์ ลักษณะ  $Z_0$  ดังนี้,

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการ (2-4), จะได้,

$$\int \frac{\partial i}{\partial x} dx = -C \int \frac{\partial V}{\partial t} dx \quad (2-9)$$

แทนค่า  $V$  ด้วย  $V_1$  ซึ่งเป็นคลื่นแรงดันไฟฟ้าเดินทาง ตามแนว  $x$

$$\text{จะได้, } \frac{\partial i_1}{\partial x} dx = -c \int \frac{\partial V_1}{\partial t} dx \quad (2-10)$$

แต่ แรงดันไฟฟ้า  $V_1$  ของ general functional อยู่ในรูป  $V_1(x - \frac{1}{\sqrt{lc}}t)$

$$\text{ดังนั้นจะได้, } \frac{\partial V_1}{\partial x} = -\sqrt{lc} \frac{\partial V_1}{\partial t} \quad (2-11)$$

และเมื่อแทนค่าจากสมการ (2-11) ลงในสมการ (2-10)

$$\text{จะได้, } i_1 = \frac{c}{\sqrt{lc}} \int \frac{\partial V_1}{\partial x} dx = \sqrt{\frac{c}{l}} V_1 \quad (2-12)$$

$$\text{หรือ } \frac{V_1}{l_1} = \sqrt{\frac{l}{c}} = Z_0 \quad (2-13)$$

และในทำนองเดียวกัน สำหรับคลื่นสะท้อนกลับ จะได้,

$$\frac{V_2}{l_2} = -\sqrt{\frac{l}{c}} = -Z_0 \quad (2-14)$$

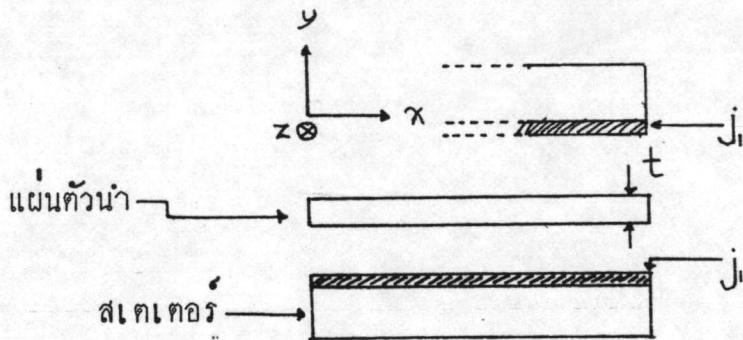
ภาคผนวก ข.

สมการสนามในช่องอากาศของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา

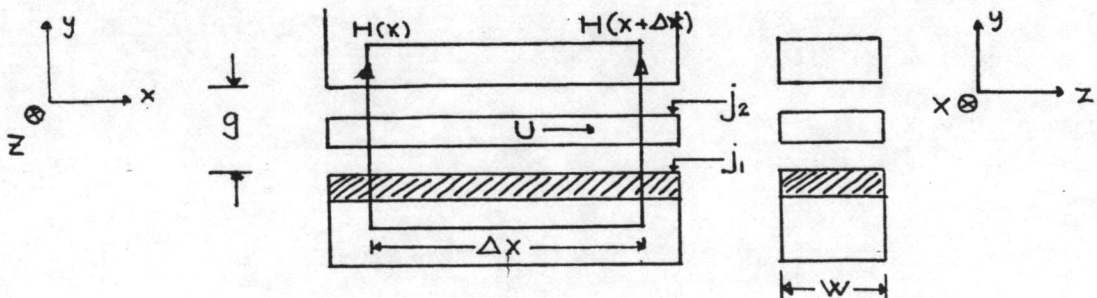
ภาคผนวก ข.

สมการสนามในช่องอากาศ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา

ในการวิเคราะห์สมการสนามในช่องอากาศของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแบบแผ่นตัวนำนี้ ได้ใช้การวิเคราะห์แบบแผ่นแม่กระแสชนิดมิติเดียว (12) โดยพิจารณาจากรูปที่ ข-1, ข-2 ดังนี้ ,



รูปที่ ข-1 แสดงขั้วลวดบนสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดคลื่นพา



รูปที่ ข-2 แสดงการวิเคราะห์แบบแผ่นแม่กระแสชนิดมิติเดียว

เมื่อกำหนดให้  $j_1$  : ความหนาแน่นของกระแสในสเทเตอร์

$j_2$  : ความหนาแน่นของกระแสในโรเตอร์

และ  $j_1, j_2$  มีทิศทางการไหลตามแนวแกน Z

t : ความหนาแน่นของแผ่นตัวนำที่หุ้มโรเตอร์

g : ความห่างประสิทธิผลของช่องอากาศ

ตามกฎของแอมแปร์ , จะได้ สมการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ ดังนี้,

$$[H(x+\Delta x) - H(x)]g = [j_1(x) + j_2(x)]\Delta x$$

$$\text{หรือ, } \frac{H(x+\Delta x) - H(x)}{\Delta x} = \frac{1}{g}[j_1(x) + j_2(x)] \quad (1)$$

ให้  $\Delta x \rightarrow 0$  จะได้,

$$\frac{\partial H(x)}{\partial x} = \frac{1}{g}[j_1(x) + j_2(x)]$$

คูณด้วยค่า permeability ของอากาศ  $\mu_0$  จะได้,

$$\frac{\partial b}{\partial x} = \frac{\mu_0}{g}[j_1 + j_2] \quad (2)$$

โดยที่ b : ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า ในช่องอากาศ



$$\text{และจะได้, } \frac{\partial e_2}{\partial x} = \frac{\partial b}{\partial t} + U \frac{\partial b}{\partial x} \quad (3)$$

โดยที่  $e_2$  : แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่โรเตอร์

$U$  : ความเร็วของโรเตอร์ที่หุ้มด้วยแผ่นตัวนำ

ในการวิเคราะห์นี้ กำหนดให้ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในแนวแกน  $y$  เท่านั้น, โดยที่ตามแนวแกน  $x$  จะไม่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า, ซึ่งการกำหนดเช่นนี้ จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อแผ่นตัวนำที่หุ้มโรเตอร์ไม่มีความเหนี่ยวนำรั่วซึม

$$\text{ดังนั้น, } e_2 = R_2 j_2 \quad (4)$$

โดยที่  $R_2$  : ความต้านทานประสิทธิผลของแผ่นตัวนำที่หุ้มโรเตอร์

เมื่อใช้สมการ (2), (3), (4) พิสูจน์หาสมการสนามในช่องอากาศของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดคลื่นพา, จะได้,

$$\frac{\partial^2 b}{\partial x^2} = \mu_0 \left[ \frac{\partial j_1}{\partial x} + \frac{1}{R_2} \left( \frac{\partial b}{\partial t} + U \frac{\partial b}{\partial x} \right) \right] \quad (5)$$

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์หม้อเตอร์เหนียวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดเคลื่อนพา ในกรณีที่ขดลวด  
บนสเตเตอร์วางเรียงในลักษณะซ้อนทับกัน

1. ข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์

เนื่องจากขดลวดที่พันบนสเตเตอร์ ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิด  
เคลื่อนพาที่ประจักษ์ขึ้น เพื่อวิจัยทดสอบ มีลักษณะการวางเรียงขดลวดซ้อนทับกัน ซึ่งทำ  
ให้เกิดการเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดแต่ละชุด ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากสายส่งไฟฟ้า (1)  
ดังนั้น จึงเป็นการยากสำหรับการวิเคราะห์ทำให้ต้องตั้งข้อกำหนดต่างๆ เพื่อความง่าย  
สำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

1. ขดลวดทุกชุดที่พันเรียงซ้อนทับกันบนสเตเตอร์ ไม่มีความต้านทานไฟฟ้า  
และไม่มีรีแอกแตนซ์รั่วซึม

2. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ มีค่าสม่ำเสมอ

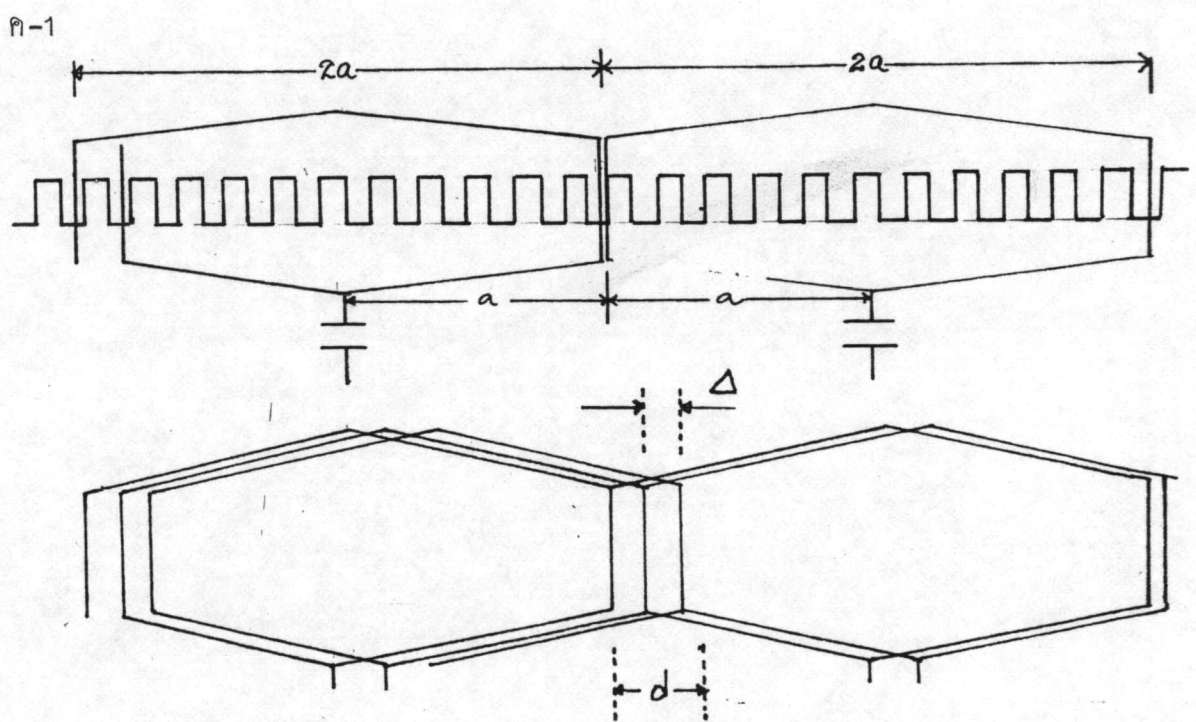
3. ไม่คำนึงถึงผลที่สูญเสียทั้งสองข้างของโรเตอร์

4. เคลื่อนเคลื่อนทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีฮาร์โมนิก



5. ขดลวดชุกสุดทำบนสเตเตอร์ ที่อยู่กับอิมพีแดนซ์ลักษณะซึ่งทำให้วงจร  
ปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา มีความยาวประสิทธิผลเป็นอนันต์  
ดังนั้น จึงเกิดเฉพาะคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกินหน้าเท่านั้น

ลักษณะการวางเรียงขดลวดซ้อนทับกันที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แสดงในรูปที่



รูปที่ ค-1 แสดงการวางเรียงขดลวดซ้อนทับกันในสเตเตอร์

กำหนด  $T$  : จำนวนรอบของขดลวดแต่ละขด , รอบ

$2a$  : ช่วงกว้างของขดลวด , เมตร

$d$  : ระยะพิทช์ของร่องสเตเตอร์ , เมตร

$\Delta$  : ระยะห่างระหว่างขดลวดแต่ละขด , เมตร

เนื่องจากไฟ้อนเข้า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบไซน์, ดังนั้น ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดใดๆ จึงมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย คือ,  $e^{j\omega t}$  และสมมติให้ การกระจายความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า คือ  $e^{Ax}$ , โดยที่  $A$  คือ พังก์ชันการแผ่กระจายคลื่นในช่องอากาศของมอเตอร์าซนิกคลื่นพา, และ  $x$  คือ ระยะทางที่จุดใดๆบนวงจรปฐมภูมิ(หรือบนสเตเตอร์)

## 2. สมการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในขดลวดบนสเตเตอร์

จากข้อกำหนดต่างๆในหัวข้อ 1., จะได้ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่ระยะ  $x$  ใดๆบนสเตเตอร์, ดังนี้

$$b = B e^{j\omega t} e^{Ax}$$

$$A = \alpha + j\beta$$

โดยที่  $b$  : ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า ที่ระยะ  $x$  ใดๆบนสเตเตอร์, เทสลา

$B$  : ค่าสูงสุดของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า, เทสลา

$\omega$  : ความถี่เชิงมุม ของไฟ้อนเข้า, เรเดียน

$A$  : พังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น ในช่องอากาศของมอเตอร์า

## ชนิดคลื่นพา

$t$  : เวลา, วินาที

$\alpha$  : ตัวคงค่าการลดทอน

$\beta$  : ตัวคงค่าเฟส

จากรูปที่ ค-1, จะได้ผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า  $\phi$ , ดังนี้

$$\phi = \int_{x-a}^{x+a} w b dx \quad (2-1)$$

โดยที่  $\phi$  : ผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมด ที่ระยะ  $x$

$w$  : ความกว้างของสเตเตอร์ (คิดเท่ากับ ความยาวของโรเตอร์)

$$\begin{aligned} \text{และ, } e &= \frac{\partial \phi}{\partial t} \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{x-a}^{x+a} w b dx \end{aligned} \quad (2-2)$$

โดยที่  $e$  : แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์

ซึ่งแรงดันไฟฟ้า ตกคร่อม ขดลวดบนสเตเตอร์, มีค่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{e}{\Delta} \\ &= \frac{T}{d} \frac{\partial}{\partial t} \int_{x-a}^{x+a} w b dx \end{aligned}$$

แต่จากข้อกำหนดในหัวข้อ 1, ได้กำหนดให้ขดลวดชุดสุดท้ายบนสเตเตอร์ต่อกันกับ

อิมพีแดนซ์ลักษณะ  $Z_0$  , ดังนั้นขดลวดทุกขดที่เรียงต่อกันของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา จึงมีความยาวประสิทธิผลเป็นอนันต์, และไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ระยะ  $x$  บนสเคเตอร์ คือ,  $V_x$

$$\begin{aligned} V_x &= \int_x^\infty \frac{e}{\Delta} dx \\ &= \frac{j\omega WT B}{dA^2} (e^{aA} - e^{-aA}) e^{j\omega t} e^{Ax} \end{aligned} \quad (2-3)$$

แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า ที่จุดเริ่มต้นของวงจรปฐมภูมิ  $x = 0$  , คือ

$$V_{\text{supply}} = \frac{j\omega WT B}{dA^2} (e^{aA} - e^{-aA}) e^{j\omega t} \quad (2-4)$$

และค่า R.M.S ของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า คือ,  $V$

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{\frac{V_{\text{supply}} V_{\text{supply}}^*}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{\omega^2 W^2 T^2 B^2 (e^{aA} - e^{-aA})(e^{aA} - e^{-aA}) e^{j\omega t} e^{-j\omega t}}{2 d^2 A^2 A^{*2}}} \end{aligned}$$

โดยที่  $V_{\text{supply}}^*$  : ค่าสังยุคเชิงซ้อน ของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า

$A^*$  : ค่าสังยุคเชิงซ้อน ของฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่นของ  
มอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา

แต่เนื่องจากพิจารณาเฉพาะคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่หน้าเท่านั้น ดังนั้น,

ให้  $A = -\alpha - j\beta$  , ซึ่งจะได้ค่า R.M.S ของแรงดัน

ไฟฟ้าป้อนเข้า ดังนี้,

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \frac{\omega W T B}{d A A^2} \right]^2 (e^{-2a\alpha} - e^{-2ja\beta} - e^{2ja\beta} + e^{2a\alpha})} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \frac{\omega W T B}{d(\alpha^2 + \beta^2)} \right]^2 (e^{2a\alpha} + e^{-2a\alpha}) - (e^{j2a\beta} + e^{-j2a\beta})} \\
 &= \sqrt{\left[ \frac{\omega W T B}{d(\alpha^2 + \beta^2)} \right]^2 (\cosh 2a\alpha - \cos 2a\beta)} \\
 &= \frac{\omega W T B}{d(\alpha^2 + \beta^2)} \sqrt{(\cosh 2a\alpha - \cos 2a\beta)} \quad (2-5)
 \end{aligned}$$

### 3. สมการแสดงค่าความหนาแน่นของกระแส ในสเตเตอร์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ ค-1 ภาคผนวก ค. และกำหนดให้  $i$  เป็นผลรวมของกระแสที่ไหลในแท่งตัวนำไฟฟ้าอันหนึ่ง โดยแท่งตัวนำไฟฟ้านี้ประกอบด้วยค่านหนึ่งของขดลวดจำนวน 2 ชุด

จะได้, ความหนาแน่นของกระแสในสเตเตอร์  $j_i = \frac{i}{\Delta} = \frac{iT}{d}$  (3-1)

และ  $i = \int_{x-a}^{x+a} c \frac{\partial v}{\partial t} dx$  (3-2)

โดยที่  $c \frac{\partial v}{\partial t}$  : กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อหน่วยความยาว ซึ่งในมอเตอร์ฯ ชนิดคลื่นพลาที่ประจุขึ้น มีค่า ความจุไฟฟ้า/ขดลวด เป็น  $C'$  นั่นคือ,

$$C = \frac{C'}{d}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น, } j_1 &= \frac{1}{d} \int_{x-a}^{x+a} C \frac{\partial V}{\partial t} dx \\
 &= \frac{1}{d} \int_{x-a}^{x+a} C \left[ \frac{-\omega^2 WT B}{dA^2} \right] (e^{aA} - e^{-aA}) e^{j\omega t} e^{Ax} dx \\
 &= \frac{-\omega^2 WT^2 BC}{d^2 A^3} (e^{aA} - e^{-aA}) e^{j\omega t} (e^{A(x+a)} - e^{A(x-a)}) \\
 &= \frac{-\omega^2 WT^2 BC}{d^2 A^3} (e^{aA} - e^{-aA})^2 e^{j\omega t} e^{Ax} \quad (3-3)
 \end{aligned}$$

4. การวิเคราะห์แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา

ผลรวมทั้งหมดของแรงบิดที่เกิดขึ้น, คือ

$$\tau = R_r \omega \int_0^l \operatorname{Re} \left[ \frac{j_1 b^*}{2} \right] dx \quad (4-1)$$

โดยที่  $\tau$  : ผลรวมทั้งหมดของแรงบิด, นิวตัน-เมตร

$R_r$  : รัศมีของโรเตอร์, เมตร

$l$  : ความยาวเส้นรอบวง ของสเตเตอร์, เมตร

$b^*$  : ค่าตั้งยุคเชิงซ้อน ของ  $b$

และเมื่อแทนค่าความหนาแน่นของกระแสในสเตเตอร์  $j_1$  จากสมการ (3-3) ลงใน

สมการ (4-1) , จะได้

$$\tau = -R_r \frac{\omega^2 W T^2 B^2 C}{2 d^2} \operatorname{Re} \left[ \frac{(e^{aA} - e^{-aA})^2}{A^3} \right] \int_0^l e^{-2\alpha x} dx$$

$$= -R_y \frac{\omega^2 W T^2 B^2 C (1 - e^{-2\alpha l})}{4d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^3} \operatorname{Re} [(e^{2aA} + e^{-2aA} - 2) A^{*3}] \quad (4-2)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{j\omega} A^{*3} &= (-\alpha + j\beta)^3 \\ &= (-\alpha^3 + 3\beta^2\alpha + 3j\beta\alpha^2 - j\beta^3) \\ &= (3\beta^2\alpha - \alpha^3) + j(3\beta\alpha^2 - \beta^3) \end{aligned}$$

$$\text{และ: } (e^{2aA} + e^{-2aA} - 2) = (-2 + e^{-2a\alpha} e^{-j2a\beta} + e^{2a\alpha} e^{j2a\beta})$$

$$= -2(1 - \cos 2a\beta \cosh 2a\alpha$$

$$- j \sin 2a\beta \sinh 2a\alpha)$$

$$\text{ดังนั้น } \operatorname{Re} [(e^{2aA} + e^{-2aA} - 2) A^{*3}] = -2 [(3\beta^2\alpha - \alpha^3)(1 -$$

$$\cos 2a\beta \cosh 2a\alpha)$$

$$+ (3\beta\alpha - \frac{\beta^3}{\alpha}) \sin 2a\beta \sinh 2a\alpha]$$

และสมการ (2-5) , แทนค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า  $V$  , จะได้แรงบิด

$$\tau = \frac{1}{2} V^2 C R_r (1 - e^{-2\alpha l}) D \quad (4-3)$$

$$\text{โดยที่ } D = \frac{[(3\beta^2 - \alpha^2)(1 - \cos 2a\beta \cosh 2a\alpha) + (3\alpha\beta - \frac{\beta^3}{\alpha}) \sin 2a\beta \sinh 2a\alpha]}{(\alpha^2 + \beta^2)(\cosh 2a\alpha - \cos 2a\beta)}$$

5. สมการแสดงฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่นของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา

จากภาคผนวก ข. สมการ (5) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสในสเตเตอร์ กับ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า, คือ

$$\frac{\partial^2 b}{\partial x^2} = \frac{\mu_0}{g} \left[ \frac{\partial j_1}{\partial x} + \frac{1}{r_2} \left[ \frac{\partial b}{\partial t} + U \frac{\partial b}{\partial x} \right] \right] \quad (5)$$

$$\text{เมื่อแทนค่า, } \frac{\partial b}{\partial x} = AB e^{j\omega t} e^{Ax}$$

$$\frac{\partial^2 b}{\partial x^2} = A^2 B e^{j\omega t} e^{Ax}$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} = j\omega B e^{j\omega t} e^{Ax}$$

$$\text{และ } \frac{\partial j_1}{\partial x} = \frac{-\omega^2 W T^2 C (e^{aA} - e^{-aA})^2 e^{j\omega t} e^{Ax}}{d^2 A^2}$$

ลงในสมการ (5), จะได้สมการสนาม ดังนี้,

$$A^2 = \frac{\mu_0}{g} \left[ \frac{-\omega^2 W T^2 C (e^{aA} - e^{-aA})^2}{d^2 A^2} + \frac{1}{r_2} (j\omega + UA) \right] \quad (5-1)$$



ซึ่งทำให้ฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น  $A$  มีกำลัง 4 เป็นการแสดงให้เห็นว่าขด  
 ลวดที่วางเรียงซ้อนทับกันทำให้เกิดระบบอันดับที่ 4 และมีคลื่นเดินทาง 4 คลื่น มี  
 ความถี่เท่ากันทั้ง 4 คลื่น โดยเป็นคลื่นเดินทางจำนวน 2 คลื่น และคลื่นสะท้อนกลับจำนวน  
 2 คลื่น (7,12) แต่การหาค่าฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น  $A$  จากสมการ (5-1) ทำได้  
 ยาก, ดังนั้นจึงสมมุติให้  $A = -\alpha - j\beta$ , โดยที่  $\alpha$  และ  $\beta$   
 เป็นตัวแปรอิสระต่อกันทั้งนี้เพราะ ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพาที่  
 ประสิทธิภาพสูงเพื่อวิจัยทดสอบนี้ จะพิจารณาเฉพาะผลที่เกิดจากคลื่นเดินทางที่ลดขนาดลง  
 เท่านั้น และเมื่อแทนค่า  $A$  ลงในสมการ (5-1) จะได้,

$$A^4 = \frac{\mu_0}{g} \left[ -\frac{2\omega^2 WT^2 c}{d^2} (\cos 2\alpha\phi \cosh 2\alpha x + j \sin 2\alpha\phi \sinh 2\alpha x - 1) + j \frac{A^2 \omega}{P_2} + \frac{U A^3}{P_2} \right] \quad (5-2)$$

ปริมาณจริงจากสมการ (5-2), คือ

$$\alpha^4 + \beta^4 - 6\alpha^2\beta^2 = -\frac{2\mu_0 \omega^2 WT^2 c}{gd^2} (\cos 2\alpha\phi \cosh 2\alpha x - 1) - \frac{2\mu_0 \alpha\beta\omega}{gP_2} + \frac{\mu_0 U}{gP_2} (3\alpha\beta^2 - \alpha^3)$$

ซึ่งสามารถเขียนในเทอมของ  $C$  ได้ดังนี้,

$$C = \frac{gd^2 \left[ 6\alpha^2\beta^2 - \alpha^4 - \beta^4 - 2\alpha\beta\omega\mu_0/gP_2 \right]}{2\mu_0 T^2 W \omega^2 (\cos 2\alpha\phi \cosh 2\alpha x - 1)} + \frac{d^2 (3\alpha\beta^2 - \alpha^3)}{2P_2 \omega^2 WT^2 (\cos 2\alpha\phi \cosh 2\alpha x - 1)} U \quad (5-3)$$

ในทำนองเดียวกัน จะได้ปริมาณจินตภาพ จากสมการ (5-2), ดังนี้

$$4\alpha\beta(\alpha^2 - \beta^2) = -2\mu_0 \frac{\omega^2 \rho_2^2 C}{g d^2} \sin 2a\beta \sinh 2a\alpha \\ + \frac{(\alpha^2 - \beta^2)\mu_0}{\rho_2 g} + \frac{\mu_0(\beta^3 - 3\alpha^2\beta)U}{g\rho_2}$$

ซึ่งเขียนในเทอมของ  $C$ , จะได้

$$C = \frac{g d^2 [4\alpha\beta(\beta^2 - \alpha^2) + \omega\mu_0(\alpha^2 - \beta^2)/g\rho_2]}{2\mu_0 \omega^2 \rho_2^2 \sin 2a\beta \sinh 2a\alpha} \\ + \frac{d^2(\beta^3 - 3\alpha^2\beta)U}{2\rho_2 \omega^2 \rho_2^2 \sin 2a\beta \sinh 2a\alpha} \quad (5-4)$$

ดังนั้น, โดยใช้สมการ (5-3) และ สมการ (5-4) จะสามารถหาค่าของความจุไฟฟ้า  $C$ , และความเร็ว  $U$  ได้

6. ความเร็วซิงโครนัสของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่องอากาศ  
ในขณะที่ไม่มีโรเตอร์ประกอบอยู่ด้วย

โดยที่  $\alpha = 0$ , จะได้ฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น  $A = -j\beta_0$

และเมื่อแทนค่า  $A$  ลงในสมการ (5-1), จะได้

$$\beta_0^2 = \frac{\mu_0}{g} \left[ \frac{4\omega^2 \rho_2^2 C \sin^2 a\beta_0}{\beta_0^2 d^2} + \frac{1}{\rho_2} (j\omega - jU/\beta_0) \right]$$

และในกรณีที่มอโรเตอร์ชนิดคลื่นพาไม่มีโรเตอร์ประกอบอยู่ด้วย, นั่นคือ  $\rho_2 \rightarrow \infty$

$$\text{จะได้, } \beta_0^4 = \frac{4\mu_0 \omega^2 \rho_2^2 C \sin^2 a\beta_0}{g d^2}$$

และความเร็วเชิงโครนัสของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ไม่มีโรเตอร์, คือ  $U_{s0}$

$$\text{จะได้, } U_{s0} = \frac{\omega}{\rho_0} = F \lambda_0 \quad (6-1)$$

โดยที่  $\lambda_0$  : ความยาวช่วงคลื่นของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า  
 ในขณะที่  $\alpha = 0$

$\omega$  : ความถี่เชิงมุมของไฟ้อนเข้า

$F$  : ความถี่ของไฟ้อนเข้า

ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าความเร็วเชิงโครนัสของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโรเตอร์ จะขึ้นอยู่กับความถี่ของไฟ้อนเข้า

### 7. วงจรมุมลัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา

ในหัวข้อ 5. ได้พิสูจน์หาฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น  $A$  ของมอเตอร์ชนิดคลื่นพา และจะใช้พิสูจน์หาลักษณะวงจรมุมลัดของมอเตอร์ชนิดคลื่นพา ในเทอมของ  $\alpha$ ,  $\rho$  เพื่อเปรียบเทียบกับวงจรมุมลัดของสายส่งไฟฟ้า, ซึ่งจากสมการ (5-1) เมื่อแทนค่าฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่น  $A = -\alpha - j\rho$  ลงในเทอมขวามือ, จะได้,

$$A^2 = \frac{\mu_0}{9} \left[ -\frac{2\omega^2 T^2 C}{d^2 (\alpha - j\rho)^2} (\text{Cosh } 2\alpha \times \text{Cos } 2\rho + j \text{ Sinh } 2\alpha \times \text{Sin } 2\rho - 1) + \frac{1}{\rho^2} (j\omega + U(-\alpha - j\rho)) \right]$$

แต่ความเร็วเชิงโครนัสของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า  $U_s = \frac{\omega}{\rho}$

ดังนั้น, จะได้  $\frac{1}{P_2}(j\omega + jU\beta) = \frac{j\omega}{\beta}(1 - U/U_s)$

$$= \frac{j\omega}{P_2} S$$

โดยที่  $S = 1 - U/U_s$

S : ค่าสลิป ของมอเตอร์ ำชนิกคลื่นพา

ดังนั้น  $A^2 = \frac{\mu_0}{g} \left[ \frac{-2\omega^2 W T^2 c (-\alpha + j\beta)^2 (\cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta + j \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta) - \frac{U\alpha}{P_2} + j \frac{S\omega}{P_2} \right]$

$$= \frac{\mu_0}{g} \left[ \frac{-2\omega^2 W T^2 c ((\cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta - 1)(\alpha^2 - \beta^2) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta) - \frac{U\alpha}{P_2} + j \frac{S\omega}{P_2} \right]$$

$$\frac{j 2\omega^2 W T^2 c ((\alpha^2 - \beta^2) \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta - 2\alpha\beta (\cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta - 1))}{d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2} \quad (7-1)$$

จะได้,

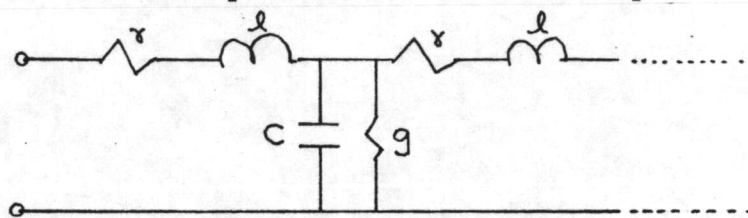
$$A^2 = \left\{ \frac{j 2 \mu_0 \omega W T^2 c ((\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta)}{d^2 g (\alpha^2 + \beta^2)^2} \right\}$$

$$\times \left\{ j\omega \left[ C + \frac{U d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2}{2 P_2 \omega^2 W T^2 ((\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta)} \right] \right.$$

$$+ S \frac{2 P_2 W T^2 ((\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta)}{d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2}$$

$$\left. + C \omega \frac{(\beta^2 - \alpha^2) \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta - 2\alpha\beta (1 - \cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta)}{(\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha x \cos 2\alpha \beta) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha x \sin 2\alpha \beta} \right\}$$

แต่เมื่อย้อนไปพิจารณาวงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้า ที่แสดงในรูปที่ ก-1, ภาคผนวก ก.



รูปที่ ก-1 แสดงวงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้า

ซึ่งในกรณีของสายส่งไฟฟ้า (10) จะได้

$$\gamma^2 = (R + j\omega L)(G + j\omega C)$$

โดยที่  $\gamma$  : ฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่นของสายส่งไฟฟ้า

แต่จากข้อกำหนดในหัวข้อ 1, ภาคผนวก ก. ซึ่งกำหนดให้ขดลวดที่พันบนสเตเตอร์ไม่มีความต้านทานไฟฟ้า และไม่มีรีแอกแตนซ์รั่วซึม, ดังนั้นในกรณีของมอเตอร์ชนิดคลื่นพา, จะได้

$$A^2 = (j\omega L)(G + j\omega C^*) \quad (7-3)$$

และเมื่อเทียบสมการ (7-2) กับ สมการ (7-3) , จะได้

$$L = \frac{2\mu_0 W T^2 (\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha \times \cos 2\alpha\beta) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha \times \sin 2\alpha\beta}{g d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2}$$

$$C^* = C + \frac{\alpha U d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2}{2P_2 \omega^2 W T^2 (\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha \times \cos 2\alpha\beta) + 2\alpha\beta \sinh 2\alpha \times \sin 2\alpha\beta}$$

และ,

$$G = S \frac{d^2(\kappa^2 + \beta^2)^2}{2\beta^2 \omega^2 W T^2 (\beta^2 - \kappa^2) (1 - \text{Cosh } 2\alpha x \text{ Cos } 2a\beta) + 2\alpha\beta \text{ Sinh } 2\alpha x \text{ Sin } 2a\beta} + C\omega \left[ \frac{(\beta^2 - \kappa^2) \text{ Sinh } 2\alpha x \text{ Sin } 2a\beta - 2\alpha\beta (1 - \text{Cosh } 2\alpha x \text{ Cos } 2a\beta)}{(\beta^2 - \kappa^2) (1 - \text{Cosh } 2\alpha x \text{ Cos } 2a\beta) + 2\alpha\beta \text{ Sinh } 2\alpha x \text{ Sin } 2a\beta} \right]$$

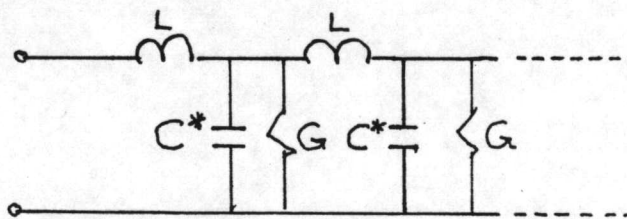
ซึ่ง  $L$  : ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ของ ขดลวดบนสเตเตอร์, เฮนรี่ ต่อ เมตร

$C^*$  : ความจุไฟฟ้าประสิทธิผลของตัวเก็บประจุ, ฟารัด ต่อ เมตร

$G$  : ความนำไฟฟ้าประสิทธิผล, โมห์ ต่อ เมตร

ดังนั้น, จะได้ วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา,

ตามที่แสดงในรูปที่ ค-2



รูปที่ ค-2. แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา

### 8. อิมพีแดนซ์ลักษณะ และพารามิเตอร์อื่นๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา

เมื่อพิจารณาจากวงจรสมมูลของมอเตอร์ชนิดคลื่นพา ตามที่แสดงในรูปที่ ค-2

ภาคผนวก ค. จะได้อิมพีแดนซ์ลักษณะ  $Z_0$  , กังน

$$\begin{aligned} Z_0 &= \sqrt{\frac{j\omega L}{G + j\omega C^*}} \\ &= \sqrt{\frac{\omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^{*2}}} \angle \theta \end{aligned} \quad (8-1)$$

โดยที่  $\theta = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\omega C^*/G) \right)$

และได้ กระแสป้อนเข้า  $I$  , กังน

$$I = \frac{V}{Z_0} = V \sqrt{\frac{G^2 + \omega^2 C^{*2}}{\omega^2 L^2}} \quad (8-2)$$

พลังงานที่ป้อนเข้า มอเตอร่าชนิดคลื่นพา ,  $P_i$  กังน

$$P_i = VI \cos \theta \quad (8-3)$$

ประสิทธิภาพ  $\eta$  ของมอเตอร่าชนิดคลื่นพา , และพลังงานกลที่ได้รับจากมอเตอร่า

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} ; P_o = \tau \omega = \tau \omega_s (1-s) = \tau \frac{\omega}{s} (1-s) \quad (8-4)$$

หรือ  $\eta = \frac{R_r \omega C (1-s) (1 - e^{-\alpha l}) \left[ (3\beta^2 - \alpha^2) (1 - \cosh 2\alpha \ell \cos 2\alpha \beta) + \sinh 2\alpha \ell \sin 2\alpha \beta (3\alpha \beta - \beta^3/\alpha) \right]}{\sqrt{G^2 + \omega^2 C^{*2}} (1 + \sin \phi_2) (\alpha^2 + \beta^2) (\cosh 2\alpha \ell - \cos 2\alpha \beta)}$

(8-5)

โดยที่  $\phi_2 = \tan^{-1} \frac{\omega C^*}{G}$

9. ข้อกำหนดในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคั่นพา

เนื่องจากวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคั่นพา ตามที่แสดง  
 ในรูปที่ ๓-2 , มีลักษณะเป็นอุปกรณกรองผ่านความถี่ค่า ดังนั้นในการออกแบบประ  
 ทิษฐ์มอเตอร์ฯชนิดคั่นพา จะต้องพิจารณาถึงช่วงความถี่คักซาค ของวงจรสมมูลย์  
 ของมอเตอร์ฯชนิดคั่นพาค้วย <sup>(12)</sup> ซึ่งในขณะที่มอเตอร์ฯอยู่ในสภาวะไร้โหลด จะพิจารณา  
 ค่าความถี่คักซาค ของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ฯชนิดคั่นพา ได้เช่นเดียวกับ Ladder  
 network <sup>(12)</sup>

$$\text{ดังนั้น, } \omega_c = \frac{2}{\Delta \sqrt{L_0 C}}$$

โดยที่  $\omega_c$  : ความถี่คักซาคเรเดียน , ในขณะที่มอเตอร์ฯชนิดคั่นพา  
 อยู่ใน สภาวะไร้โหลด

$\Delta$  : ขนาดของ Ladder network<sub>1</sub> หน่วย

ซึ่งถ้าสมมุติให้ขลกลวดที่เรียงในลักษณะซ้อนทับกันบนสเตเตอร์ มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า  
 ที่อนุกรมกัน (ขณะที่มอเตอร์ฯชนิดคั่นพาอยู่ในสภาวะไร้โหลด) , มีค่า  $L_0$  และจาก  
 การพิจารณาวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ฯชนิดคั่นพา ในรูปที่ ๓-2 , ภาคผนวก ค.

$$L = \frac{2\mu_0 W T^2 (\beta^2 - \alpha^2) (1 - \text{Cosh } 2\alpha x \text{Cos } 2\alpha \beta) + 2\alpha \beta \text{ Sinh } 2\alpha x \text{Sin } 2\alpha \beta}{g d^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2}$$



เมื่อ  $\alpha = 0$  , และ  $\rho = \rho_0$

$$\text{จะได้ } L_0 = \frac{2\mu_0 WT^2 (1 - \cos 2a\rho_0)}{g d^2 \rho_0^2}$$

ดังนั้น , ความถี่ที่หักขาด ขณะที่มีมอเตอร์ำชนิดคลื่นพวยอยู่ในสภาวะไร้โหนด คือ ,  $F_0$

$$F_0 = \frac{d\rho_0}{\Delta T T} \sqrt{\frac{g}{2\mu_0 CW (1 - \cos 2a\rho_0)}} \quad (8-6)$$

ภาคผนวก ง.

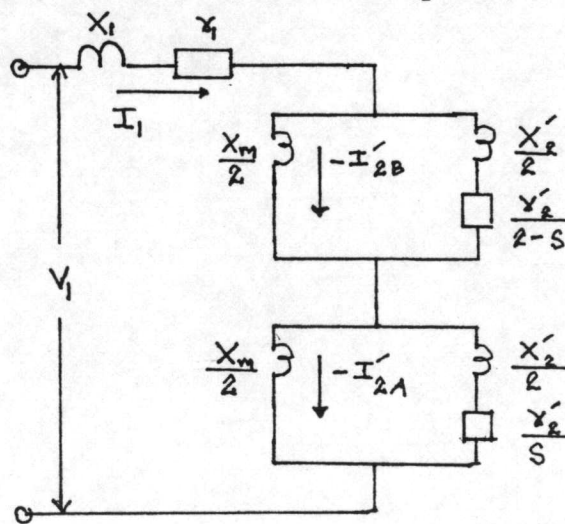
การวิเคราะห์หม้อเตอร์เหนียวนำเฟสเคียวแบบเก่า

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเกา

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงโครงสร้าง, หลักการทำงาน, และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่องอากาศ ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเกา พร้อมทั้งได้แสดงให้เห็นถึงความเท่าเทียมกัน ระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3- เฟส จำนวน 2 เครื่องต่ออนุกรม ตามที่แสดงในรูปที่ 2-2 และ 2-3 ,บทที่ 2

จากความเข้าใจพื้นฐานที่ผ่านมาในบทที่ 2 สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเกา ได้ดังรูปที่ง-1



รูปที่ ง-1 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเกา

โดยที่แยกพิจารณาวงจรสมมูลได้ดังนี้ ,

ก). ทางค่านวงจรหตุยภูมิ , มีค่าต่างๆที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุน  
เคลื่อนหน้า, คือ

$$\frac{X'_2}{\epsilon} : \text{รีแอกแตนซ์ชนิดเหนี่ยวนำ}$$

$$\frac{\gamma_2}{s} : \text{ค่าความต้านทาน}$$

$$\frac{X_m}{\epsilon} : \text{รีแอกแตนซ์ชนิดเหนี่ยวนำร่วม ระหว่าง}$$

วงจรปฐมภูมิกับวงจรหตุยภูมิ

และค่าที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนถอยหลัง, คือ  $\frac{X'_2}{\epsilon}$  และ  $\frac{\gamma_2}{(2-s)}$

ข). ทางค่านวงจรปฐมภูมิ จะมีค่ารีแอกแตนซ์  $X_1$  , และความต้านทาน  $\gamma_1$

ต่อไปจะพิจารณาในกรณีทีโรเตอร์หมุนตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

หมุนเคลื่อนหน้า ( $-\infty < s < 1$ ), และเมื่อรวมอิมพีแดนซ์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

หมุนถอยหลัง  $Z_{2-s}$  จะได้ดังนี้ ,

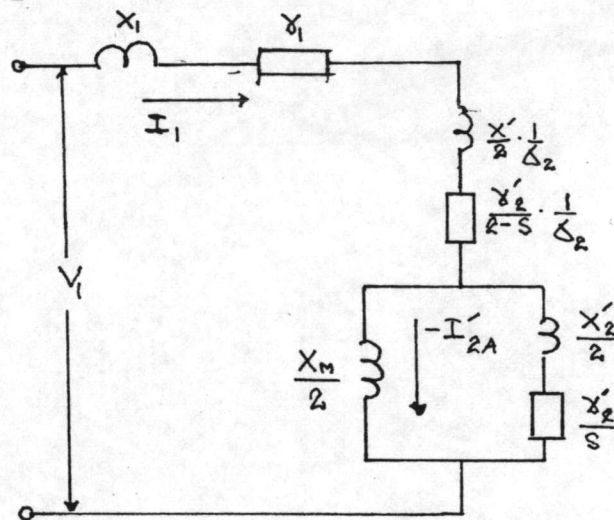
$$Z_{2-s} = \frac{\left(\frac{\gamma_2}{2-s} + j\frac{X'_2}{2}\right)j\frac{X_m}{2}}{\frac{\gamma_2}{2-s} + j\frac{X'_2}{2} + j\frac{X_m}{2}} = \frac{\frac{\gamma_2}{2-s} + j\frac{X'_2}{2}}{1 + \frac{X'_2}{\frac{X_m}{2}} - j\frac{\gamma_2}{(2-s)} \times \frac{X_m}{2}}$$

$$\approx \frac{\gamma_2}{2-s} \cdot \frac{1}{\Delta_2} + j\frac{X'_2}{2} \frac{1}{\Delta_2} \quad (1)$$

โดยที่  $\Delta_2 = 1 + \frac{X'_2/2}{X_m/2}$  (2)

ซึ่ง  $\Delta_2$  : ตัวประกอบการแก้, ซึ่งมีค่าเท่ากับ ตัวประกอบการ  
 รั่วซึม ของโรเตอร์

แต่ในที่นี้ , พิจารณาค่าสลิป  $s$  ในช่วงแคบ , ดังนั้นจึงไม่คำนึงถึง  
 ส่วนจินตภาพ  $j \frac{X'_2}{(2-s) \frac{X_m}{2}}$  , ซึ่งจะเขียนวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว  
 แบบเก่าได้ดังรูปที่ ง-2



รูปที่ ง-2 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเก่า  
 ในกรณีที่ สลิป  $s$  อยู่ในช่วงแคบ

เมื่อเราหาค่าอิมพีแดนซ์ ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเคลื่อนที่  $Z_s$  ,  
 จะได้ดังนี้ ,

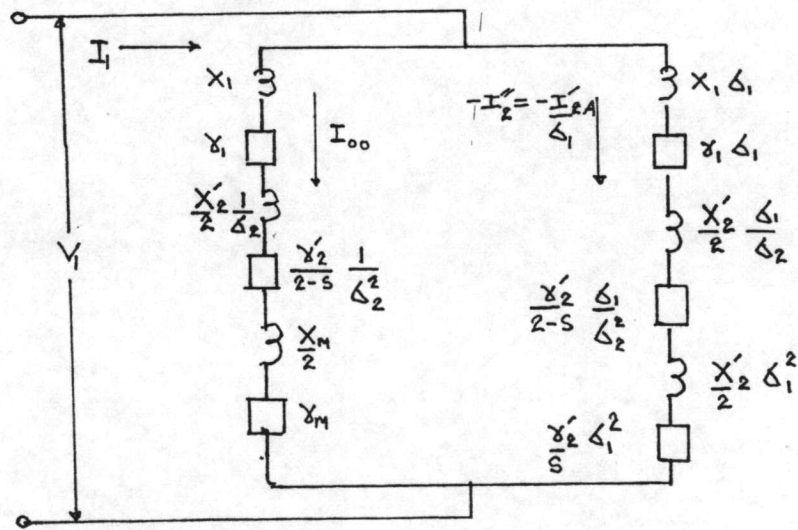
$$Z_s = \frac{\left(\frac{r'_2}{s} + j \frac{X'_2}{2}\right) j \frac{X_m}{2}}{\frac{r'_2}{s} + j \frac{X'_2}{2} + j \frac{X_m}{2}} \quad (3)$$

ในทำนองเดียวกัน, จะได้

$$\Delta_1 = \frac{1 + X_1 + \frac{X'_2}{2} \cdot \frac{1}{\Delta_2}}{\frac{X_m}{2}} \quad (4)$$

โดยที่  $\Delta_1$  : ตัวประกอบแรก, ซึ่งมีค่าเท่ากับ ตัวประกอบการรั่วซึม  
ของสเตเตอร์

เมื่อพิจารณาโดยไม่คำนึงถึงส่วนจินตภาพ จะได้ว่าวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า ตามที่แสดงในรูปที่ ง-3 , โดยที่ได้อรวมค่าความต้านทานแม่เหล็ก  $X_m$  ไว้ด้วย



รูปที่ ง-3 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว

แบบเก่า ที่รวมค่าความต้านทานแม่เหล็ก  $X_m$  ไว้ด้วย

จากวงจรสมมูลย์ที่แสดงในรูปที่ ง-3 , จะพิจารณาได้ดังนี้

ในกรณีที่มอเตอร์อยู่ในสภาวะไร้โหลด  $s = 0$  จะมีกระแส  $I_{00}$

ไหลในขดลวดทองแดงในสเตเตอร์ , มีค่าดังนี้

$$I_{00} = \frac{V_1}{\left(x_1 + \frac{x_2'}{2} \frac{1}{\delta_2^2} + x_m\right) + j\left(x_1 + \frac{x_2'}{2} \frac{1}{\delta_2} + \frac{x_m}{2}\right)} \quad (5)$$

$$\text{และ } -I_2'' = \frac{V_1}{\left(x_1 \delta_1 + \frac{x_2'}{s} \delta_1^2 + \frac{x_2'}{2-s} \frac{\delta_1}{\delta_2^2}\right) + j\left(x_1 \delta_1 + \frac{x_2'}{2} \delta_1^2 + \frac{x_2'}{2} \frac{\delta_1}{\delta_2}\right)} \quad (6)$$

และจะหา กำลังงาน, แรงบิด และการสูญเสียในขดลวดทองแดงได้ดังนี้

โดยให้การสูญเสียในขดลวดทองแดง ขณะไร้โหลด  $s = 0$  , คือ  $P_{cu0}$

จะได้

$$P_{cu0} = I_{00}^2 \left(x_1 + \frac{x_2'}{s} \frac{1}{\delta_2^2} + x_m\right) \quad (7)$$

และที่  $s = 0$  ,  $s = 2$  , จะได้  $\frac{x_2'}{s}$  ,  $\frac{x_2'}{2-s}$  มีค่านันต์

ดังนั้น, จะได้  $I_2'' = 0$

แต่เมื่อมอเตอร์หยุดนิ่ง  $s = 1$  , จะเกิดการสูญเสียในขดลวดทองแดงที่

วงจรปฐมภูมิ และ ทดิวภูมิ เพิ่มขึ้นเป็น  $P_{cu1}$  และ  $P_{cu2}$  ตามลำดับ

ซึ่ง

$$\begin{aligned} P_{cu1} &= I_2''^2 x_1 \delta_1 \\ P_{cu2} &= I_2''^2 \left(x_2' \delta_1^2 + x_2' \frac{\delta_1}{\delta_2^2}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ส่ง จากวงจรปฐมภูมิ ไปยังวงจรทุติยภูมิของมอเตอร์

เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเก๋า รวมทั้งหมดคือ  $P_{em}$

$$P_{em} = P_{emA} + P_{emB}$$

โดยที่  $P_{emA}$  : พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากขดลวด A  
(ตามที่แสดงในรูปที่ 2-3, บทที่ 2)

$$P_{emB} : \text{พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากขดลวดขุด B}$$

(ตามที่แสดงในรูป 2-3 บทที่ 2)

$$\text{ฉะนั้น } P_{em} = I_2'^2 \frac{\chi_2'}{S} \Delta_1^2 + I_2'^2 \frac{\chi_2'}{2-S} \frac{\Delta_1}{\Delta_2^2} \cong 2I_2'^2 \chi_2' \frac{1}{S(2-S)} \quad (9)$$

ส่วนพลังงานซึ่งเกิดจากแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเก๋า คือ,  $P_m$

$$P_m = P_{emA} - P_{emB}$$

$$\cong 2I_2'^2 \chi_2' \frac{1-S}{S(2-S)} = P_{cu2} \frac{1-S}{S(2-S)} \quad (10)$$

และในกรณีที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วซึ่งโครนัส ฉะนั้นสลลพ  $S = 0$  หรือเมื่อ

มอเตอร์หยุดนิ่ง สลลพ  $S = 1$  ก็จะได้พลังงาน  $P_m = 0$  และที่ค่า

$S$  น้อยๆ โดยที่มอเตอร์ล่าต่อกับโหลดไม่มากนัก ก็อาจจะสมมุติให้  $S^2 = 0$  ,

จะได้

$$P_m \cong \frac{P_{cu2}}{2} \frac{1-S}{S} = I_2'^2 \chi_2' \frac{1-S}{S} \quad (11)$$



และจากสมการ (10) จะได้พลังงานกล เมื่อขณะสลิป  $S$  มีค่าตามปกติของการเดิน  
เครื่อง คือ,  $P_{mech}$

$$\begin{aligned}
 P_{mech} &= P_m(1-S) = \frac{(1-S)^2}{S(2-S)} P_{cu2} \\
 &= \frac{(1-S)^2}{S(2-S)} 2 I_2^2 R_2' \quad (12)
 \end{aligned}$$

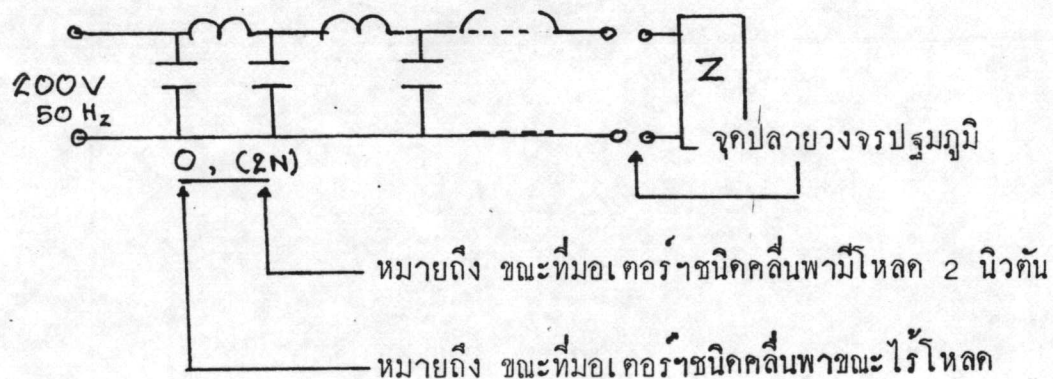
ภาคผนวก จ.

แสดงผลทดสอบการลดขนาดลงของคลื่นเดินทาง  
ในรูปของแรงดันไฟฟ้าในวงจรปฐมภูมิ ของมอเตอร์  
เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา เครื่องต้นแบบ  
(ไฟป้อนเข้า 200 โวลต์, ความถี่ 50 เฮิรตซ์ คงที่)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ

o	หมายถึง	ค่าความจุไฟฟ้า	2 $\mu\text{F}$
+	หมายถึง	ค่าความจุไฟฟ้า	4.5 $\mu\text{F}$
$\Delta$	หมายถึง	ค่าความจุไฟฟ้า	6.5 $\mu\text{F}$
$\square$	หมายถึง	ค่าความจุไฟฟ้า	12.5 $\mu\text{F}$
X	หมายถึง	ค่าความจุไฟฟ้า	14.5 $\mu\text{F}$

รูปที่จ-1 สัญลักษณ์ของวงจรปฐมภูมิที่ใช้ทดสอบ



จุดปลายวงจรปฐมภูมิ มีการต่อใน 4 เงื่อนไข

1. ลัดปลายวงจรปฐมภูมิ
2. เปิดวงจรปฐมภูมิ
3. เลือก  $Z = 50 \Omega$
4. เลือก  $Z = 220 \Omega$

- $V_C$  หมายถึง การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ครอบคลุมเก็บประจุไฟฟ้า
- $V_L$  หมายถึง การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ครอบคลุมขดลวด

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบในเงื่อนไขต่างๆ

- A หมายถึง การทดสอบมอเตอร์ชนิดคลื่นพา ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้  
วงจรปฐมภูมิ
- B หมายถึง การทดสอบมอเตอร์ชนิดคลื่นพา ในเงื่อนไขเปิดวงจร  
ปฐมภูมิ
- C หมายถึง การทดสอบมอเตอร์ชนิดคลื่นพา ในเงื่อนไขต่อความ  
ต้านทาน  $Z = 50 \Omega$  ที่จุดปลายของวงจรปฐมภูมิ
- D หมายถึง การทดสอบมอเตอร์ชนิดคลื่นพา ในเงื่อนไขต่อความ  
ต้านทาน  $Z = 220 \Omega$  ที่จุดปลายของวงจรปฐมภูมิ

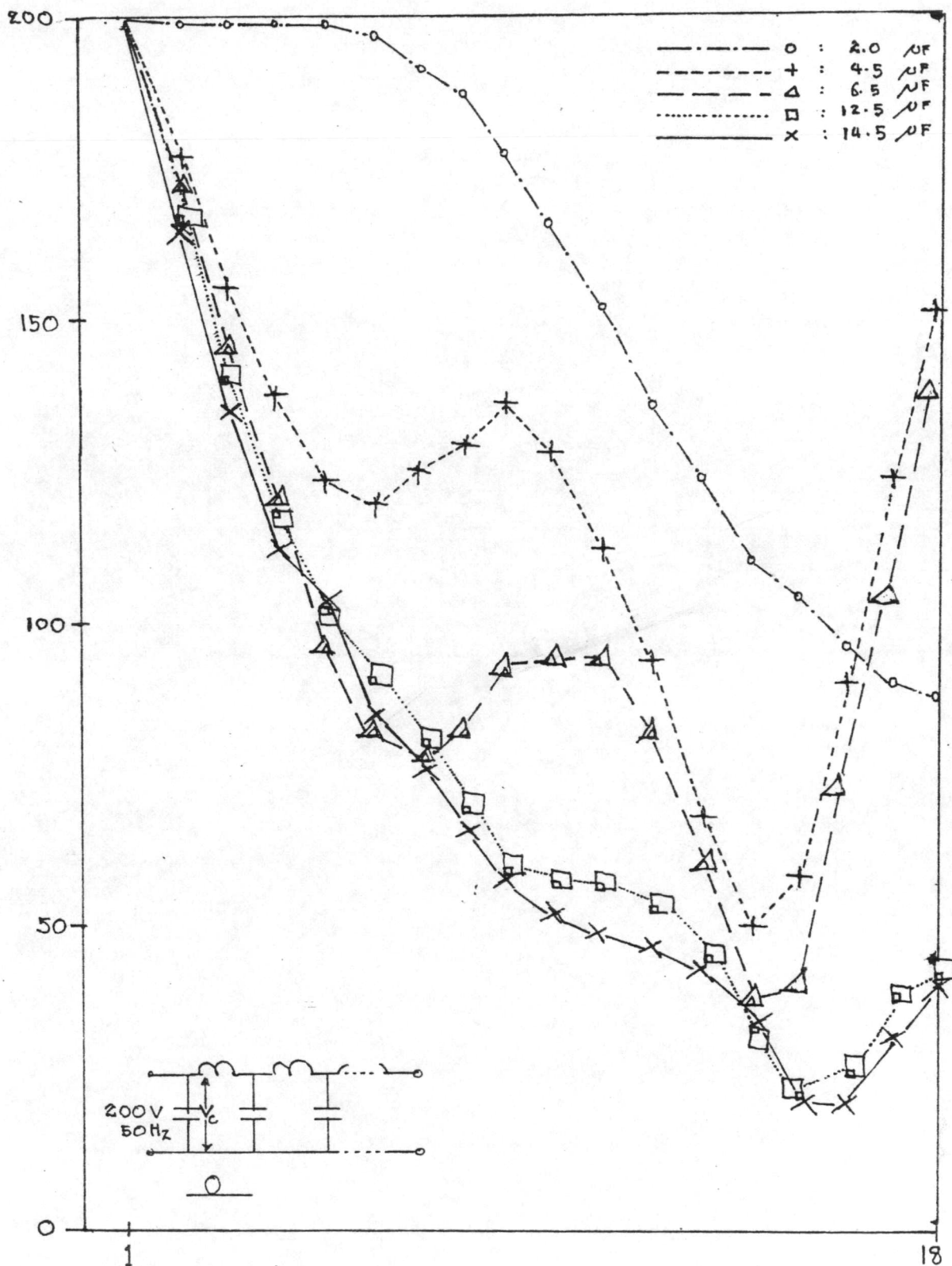
แสดงผลทดสอบการลดขนาดลงของคลื่นเดินทางในรูปของ  
แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุในวงจรปฐมภูมิ

(ขณะไร้อโหลด)

รูปที่ จ-2 ถึง รูปที่ จ-25

โดยกำหนดให้, แกนตั้ง : แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า, (โวลต์)

แกนนอน : แสดงลำดับตัวเก็บประจุในวงจรปฐมภูมิ



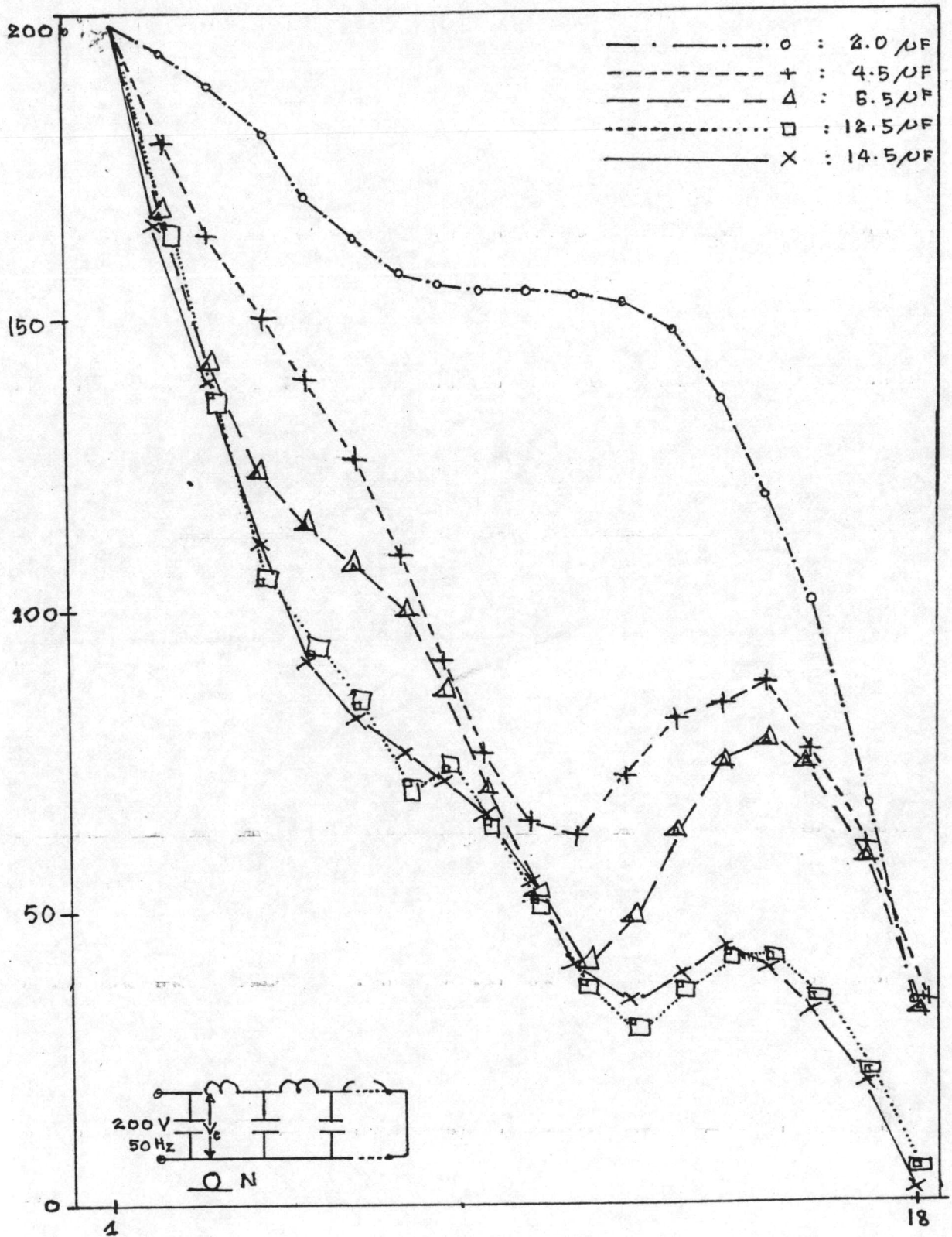
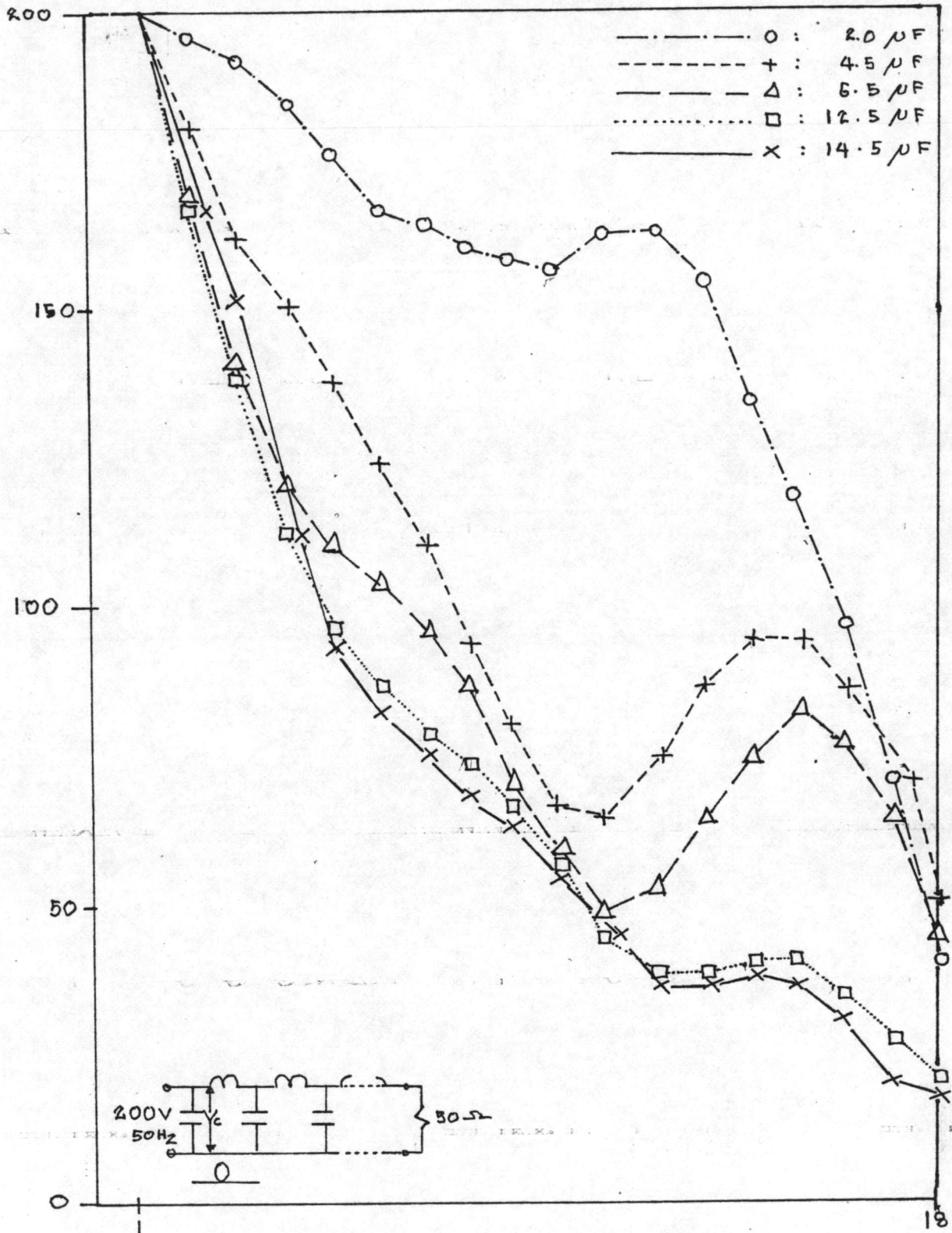


Figure 7-3



รูปที่ ๗-๔



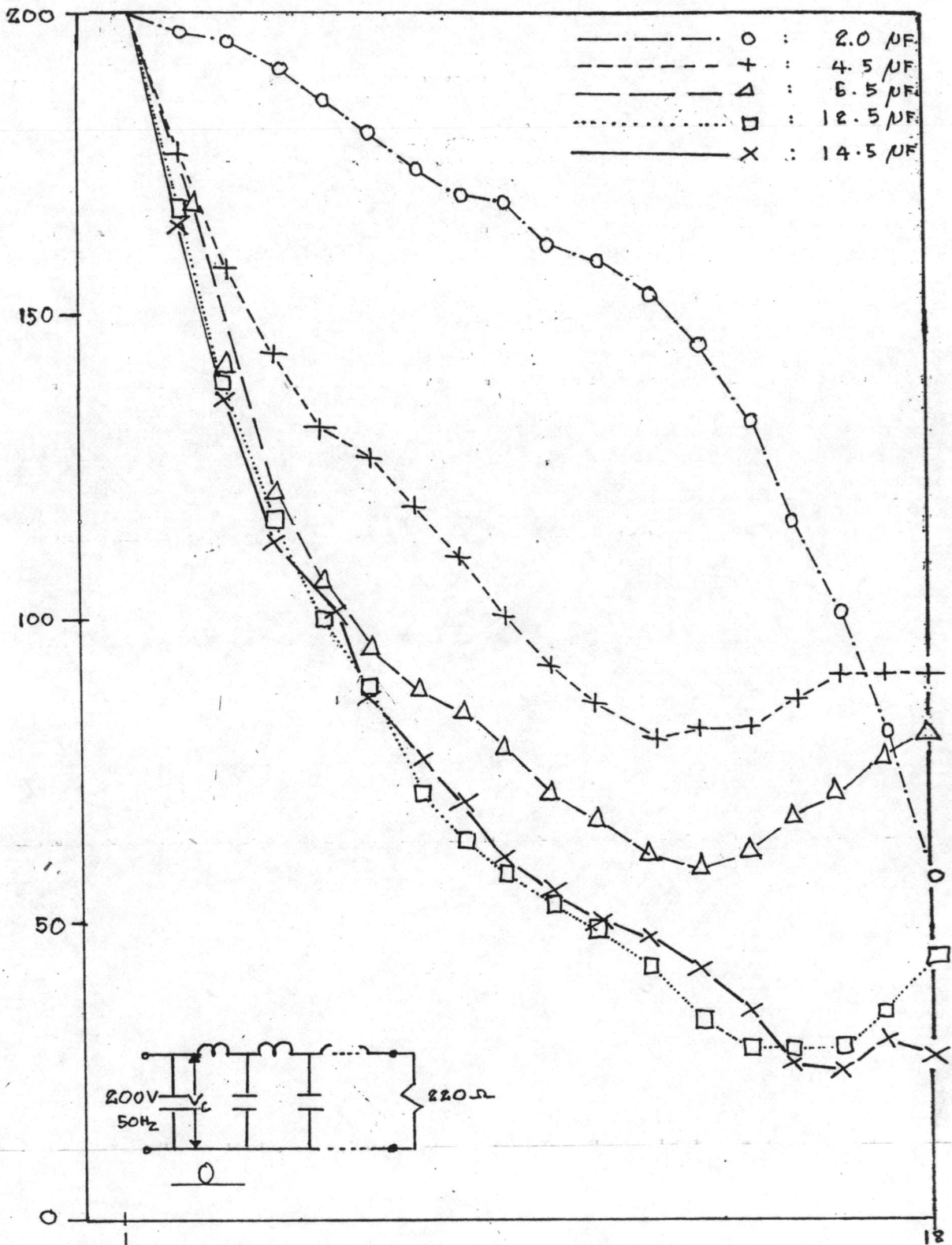


Figure 9-5

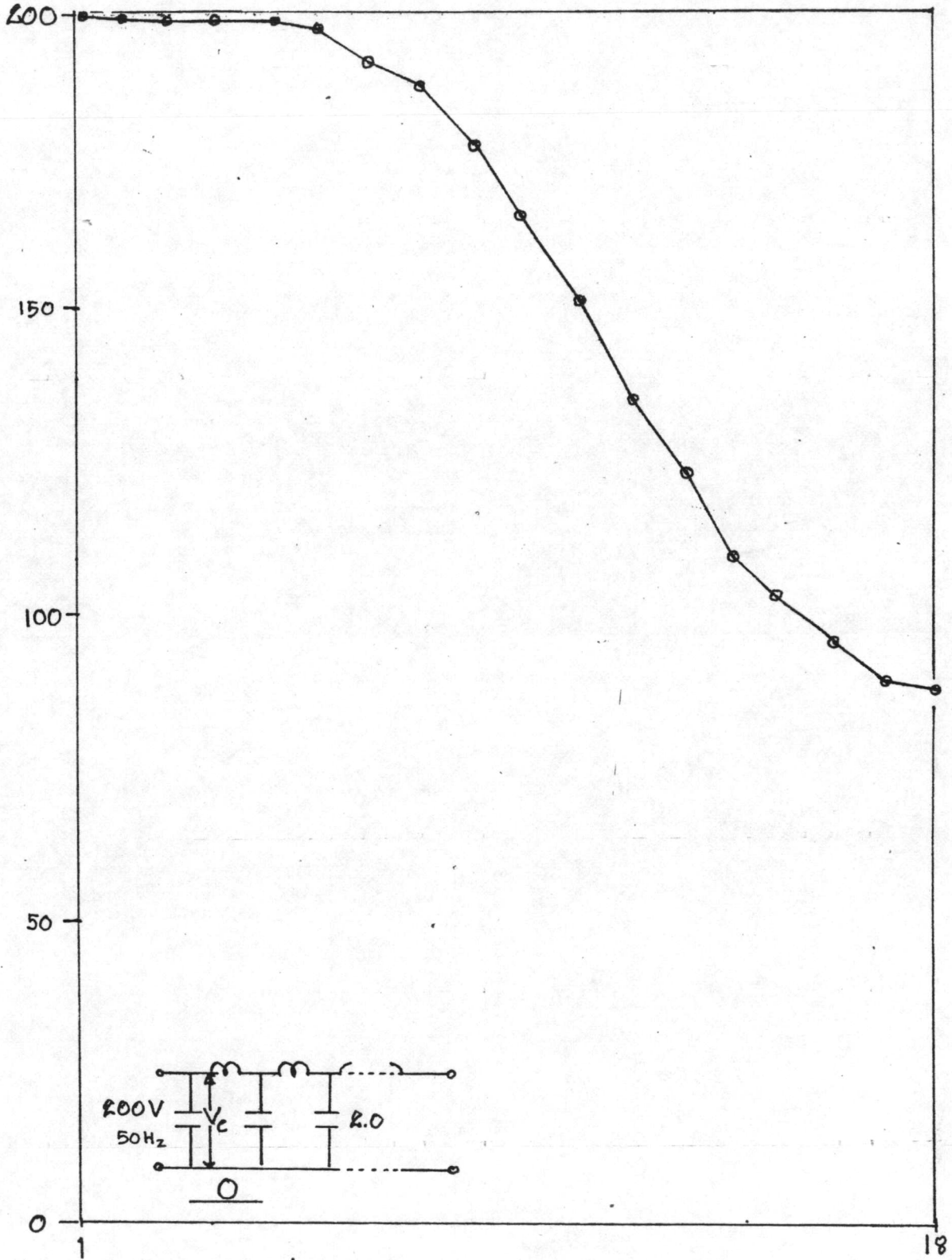
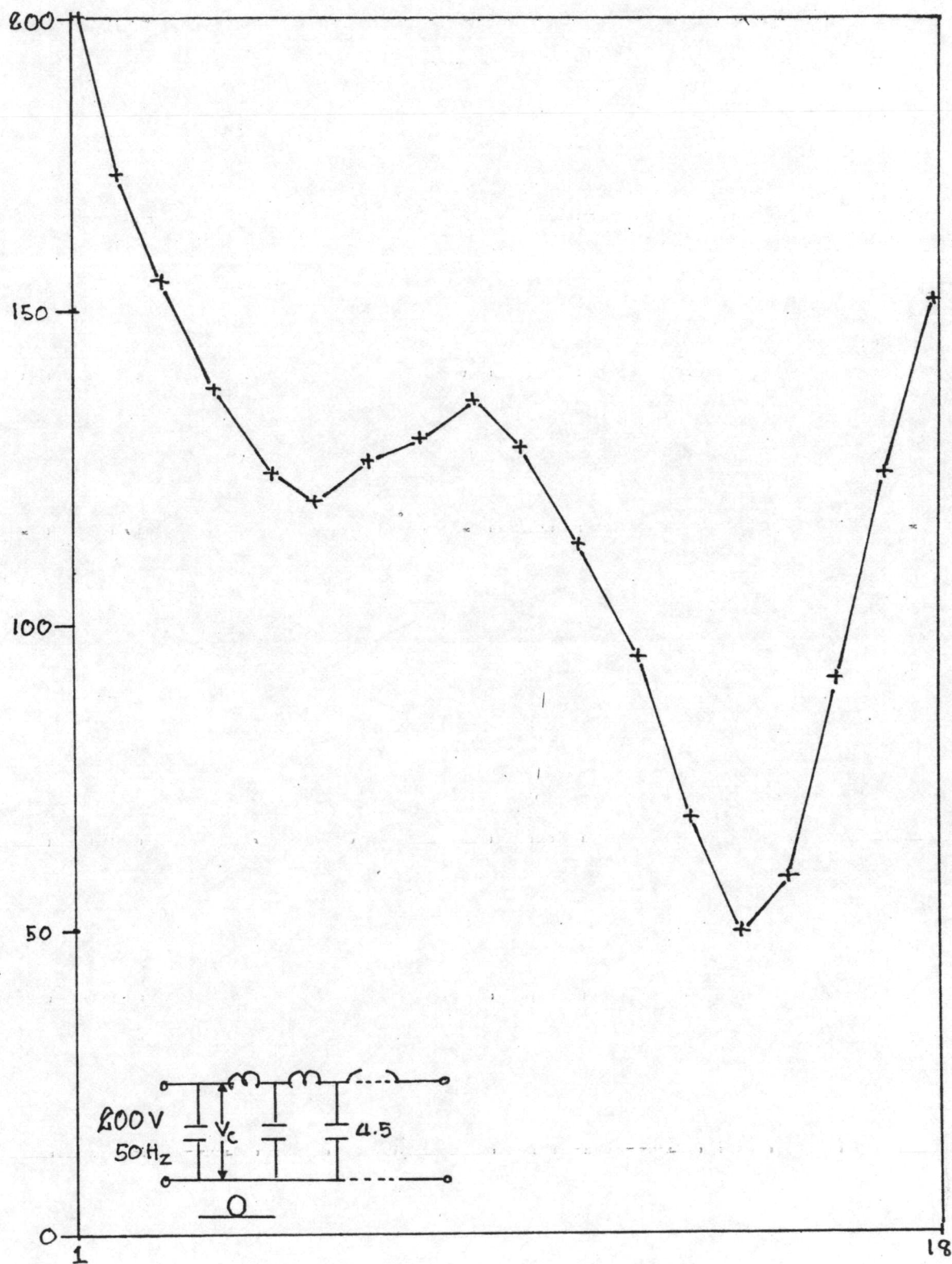
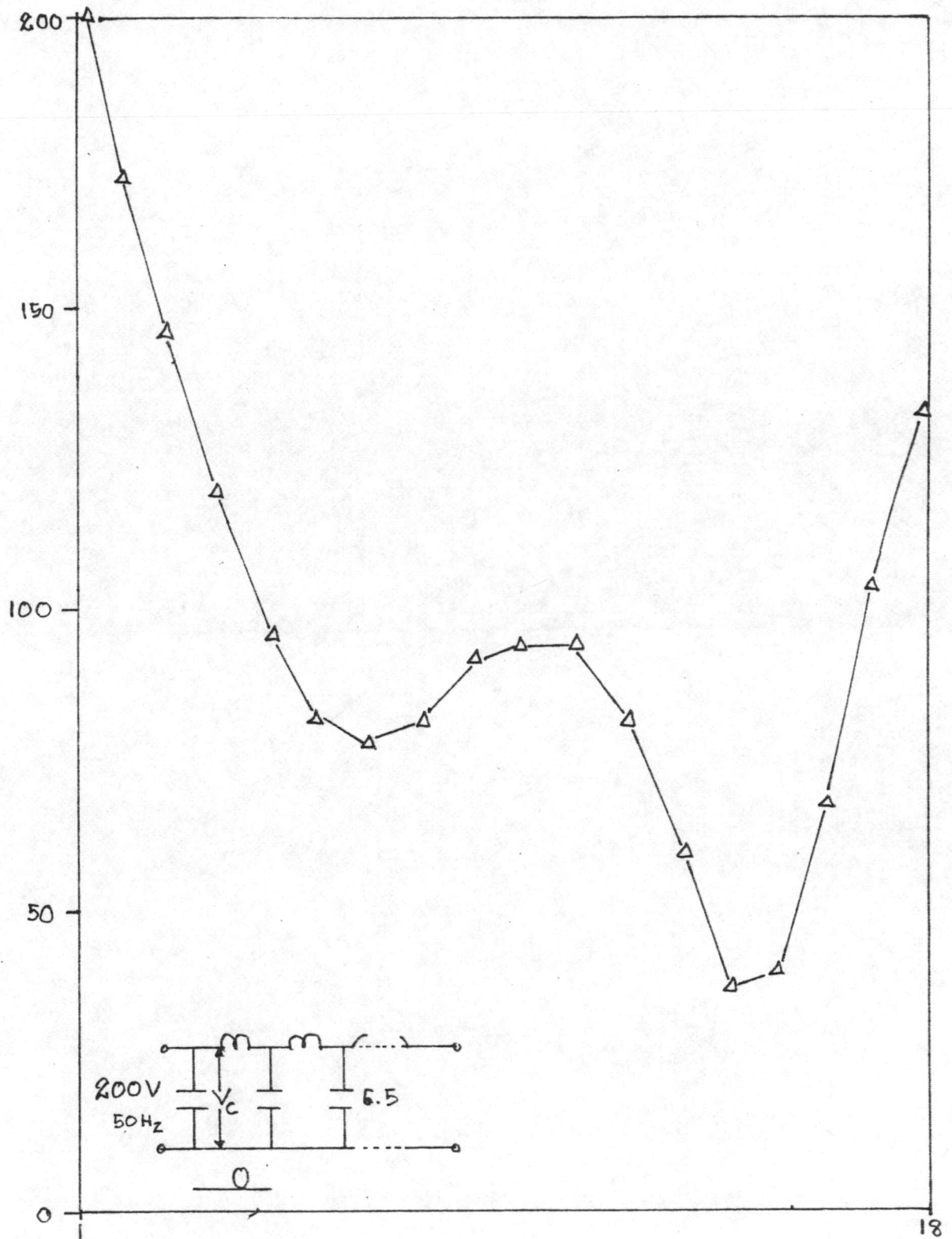


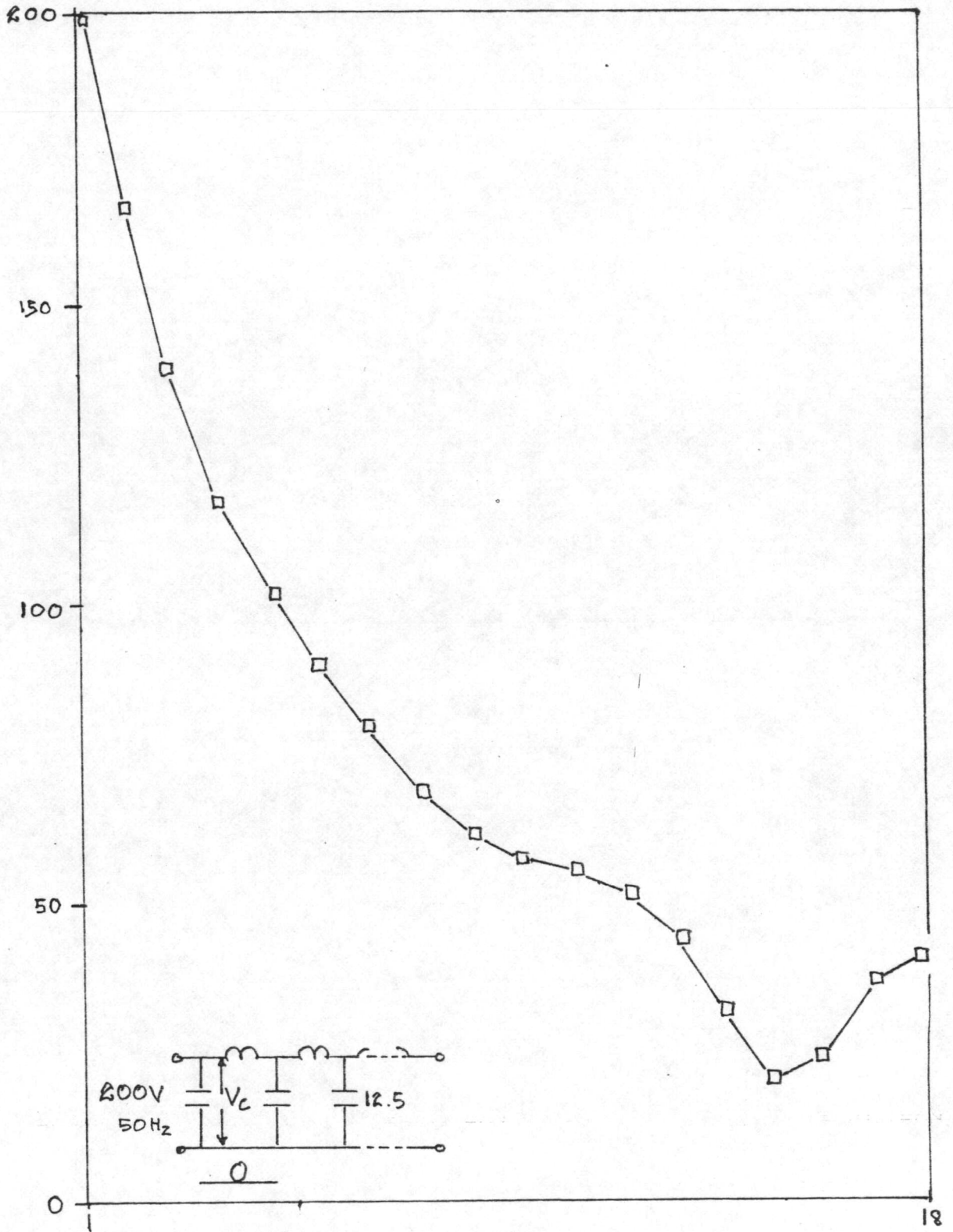
Figure 7-6



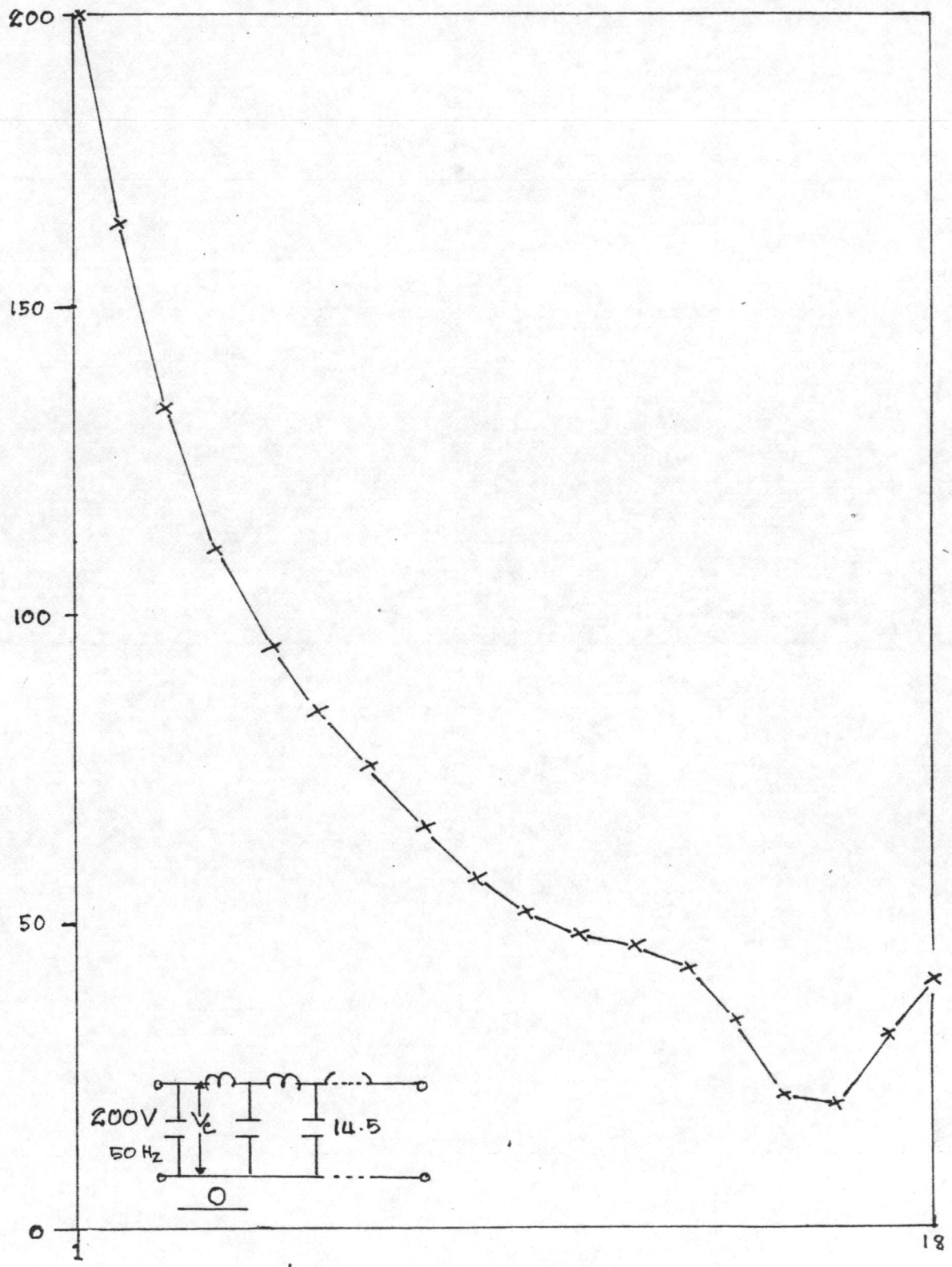
รูปที่ ๗-๗



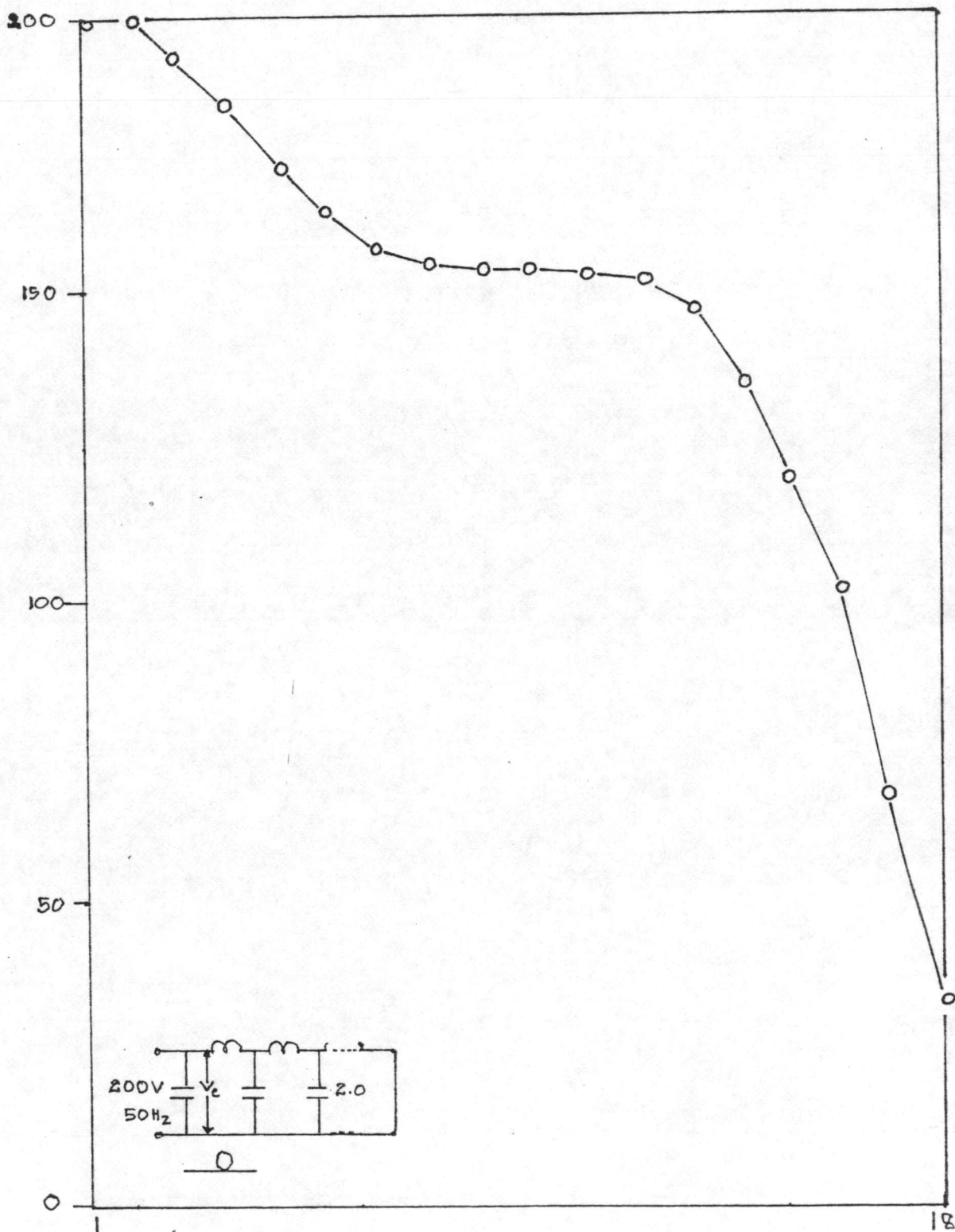
รูปที่ ๗-๘



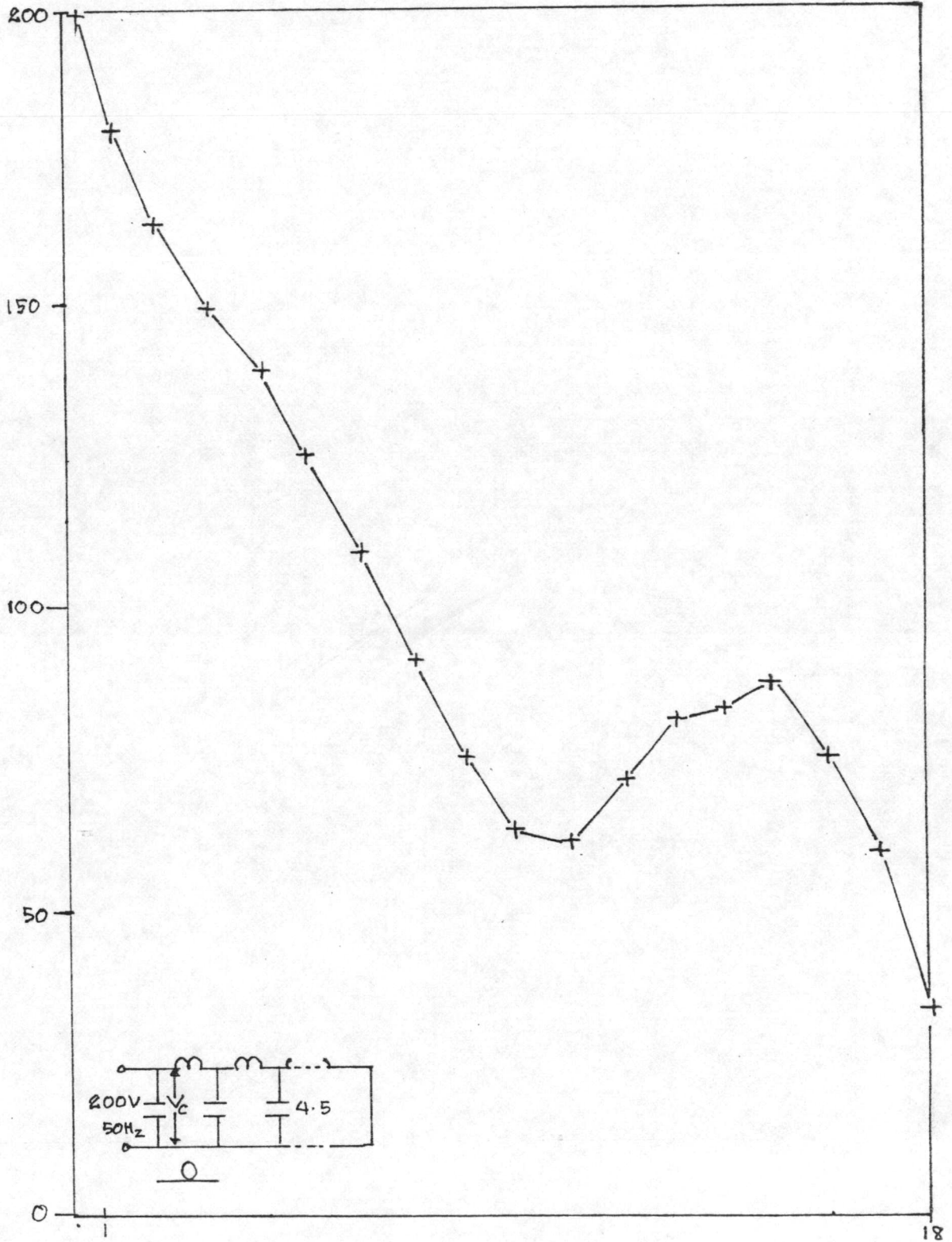
รูปที่ ๗-๙



รูปที่ 7-10

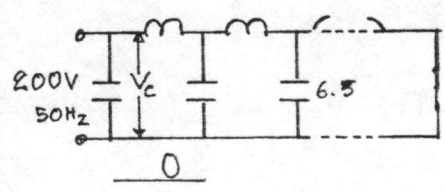
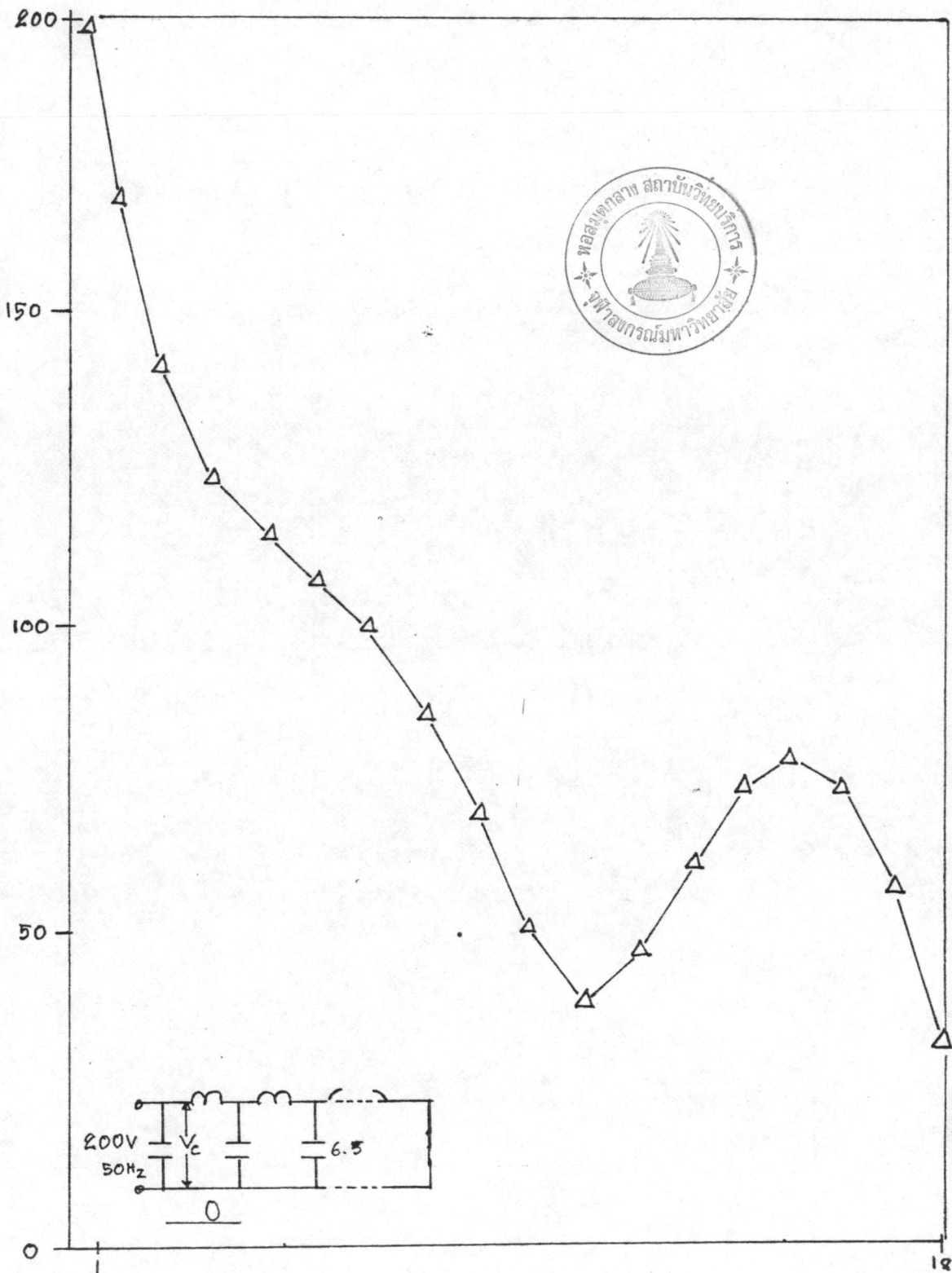


รูปที่ ๗-๑๑

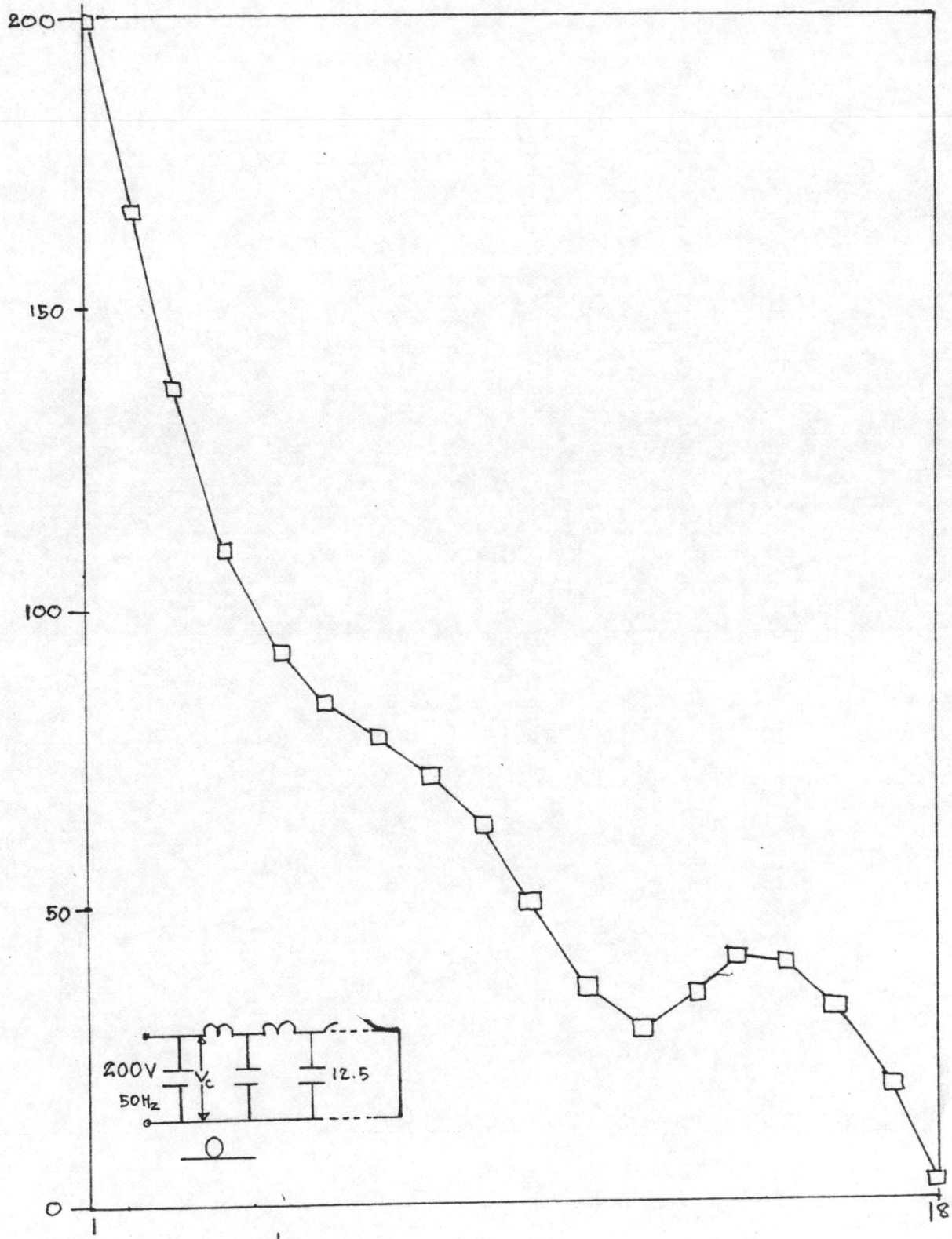


รูปที่ 7-12





รูปที่ ๗-13



รูปที่ 7-14

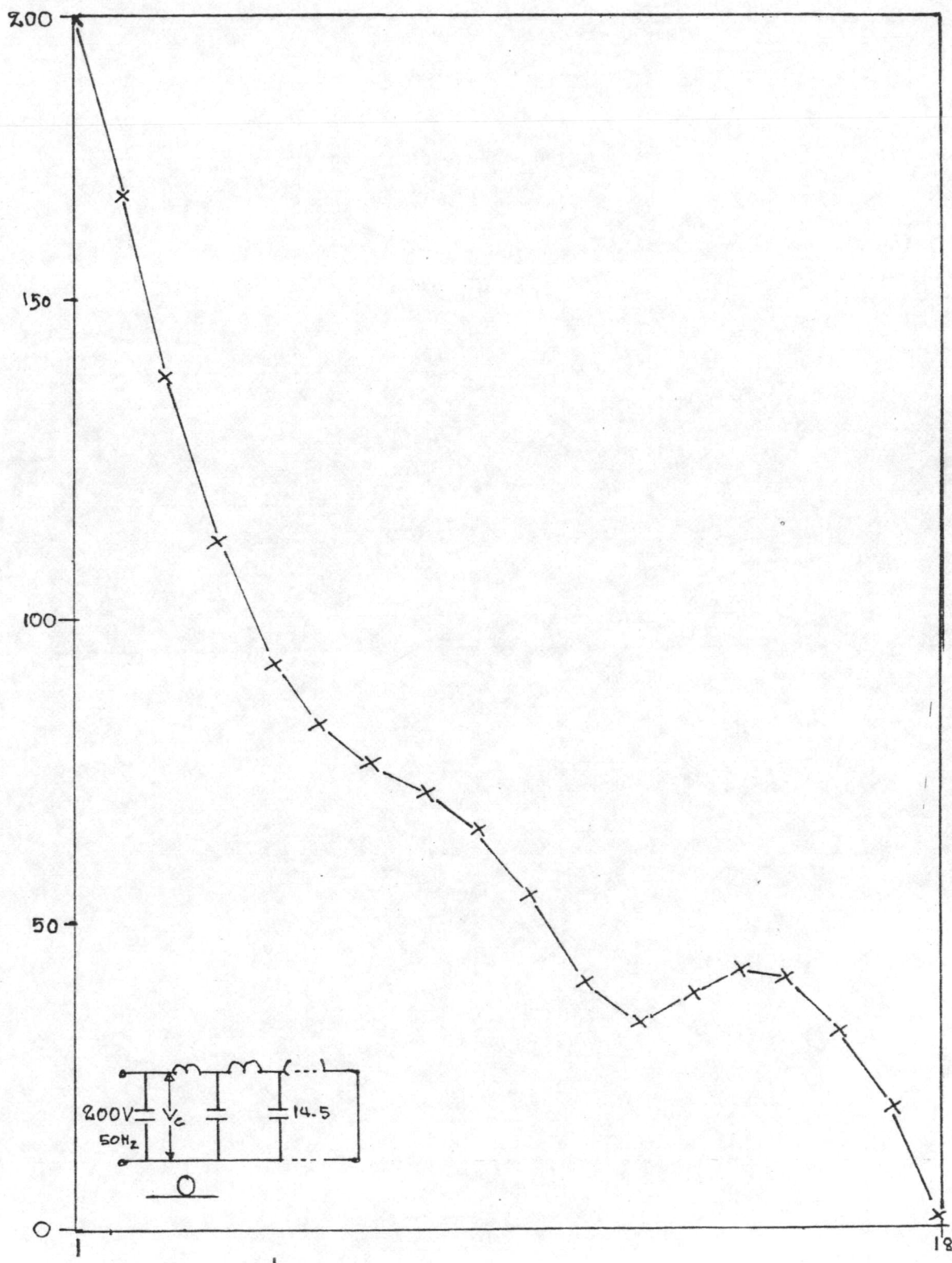
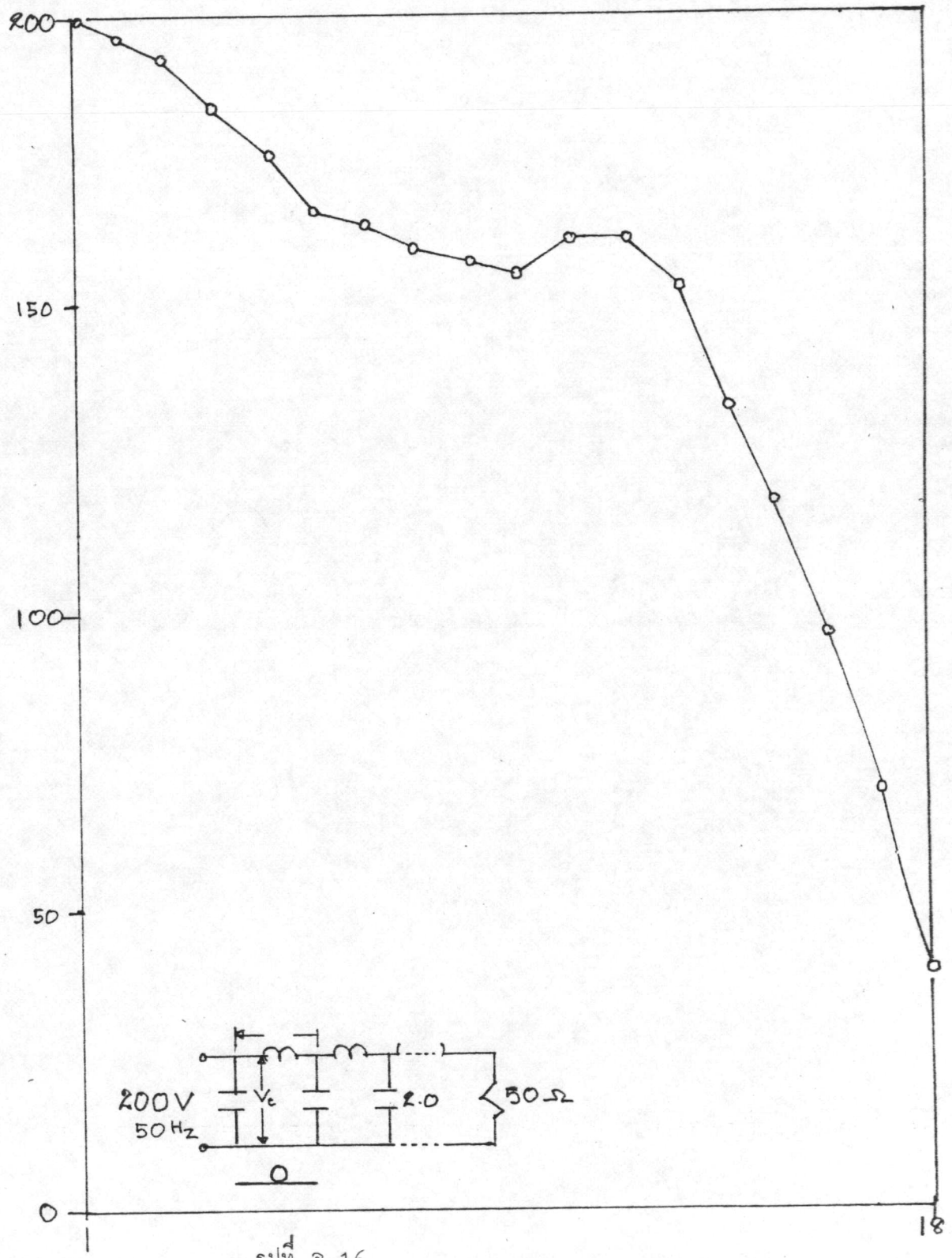
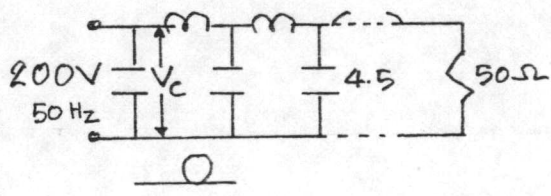
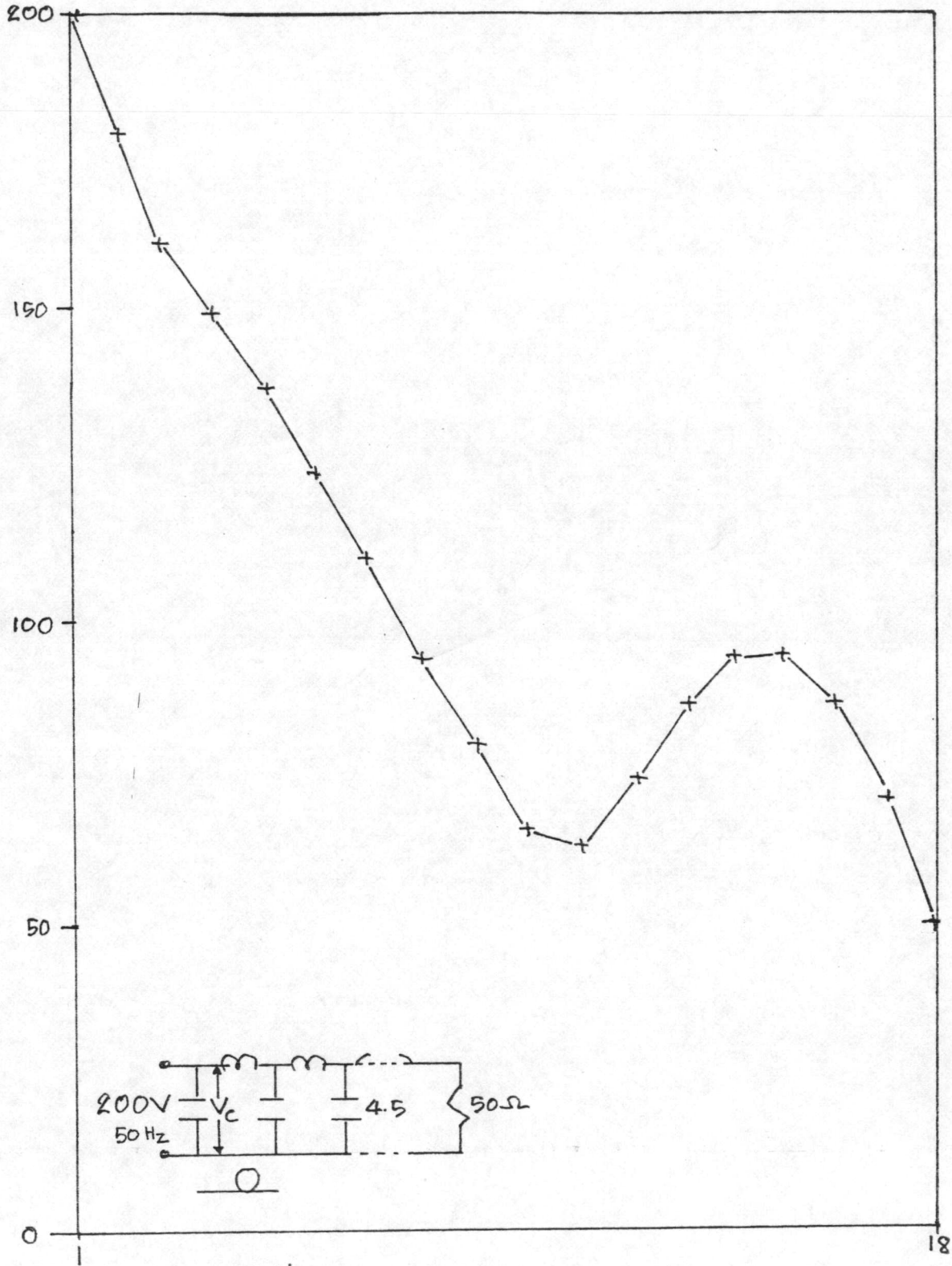


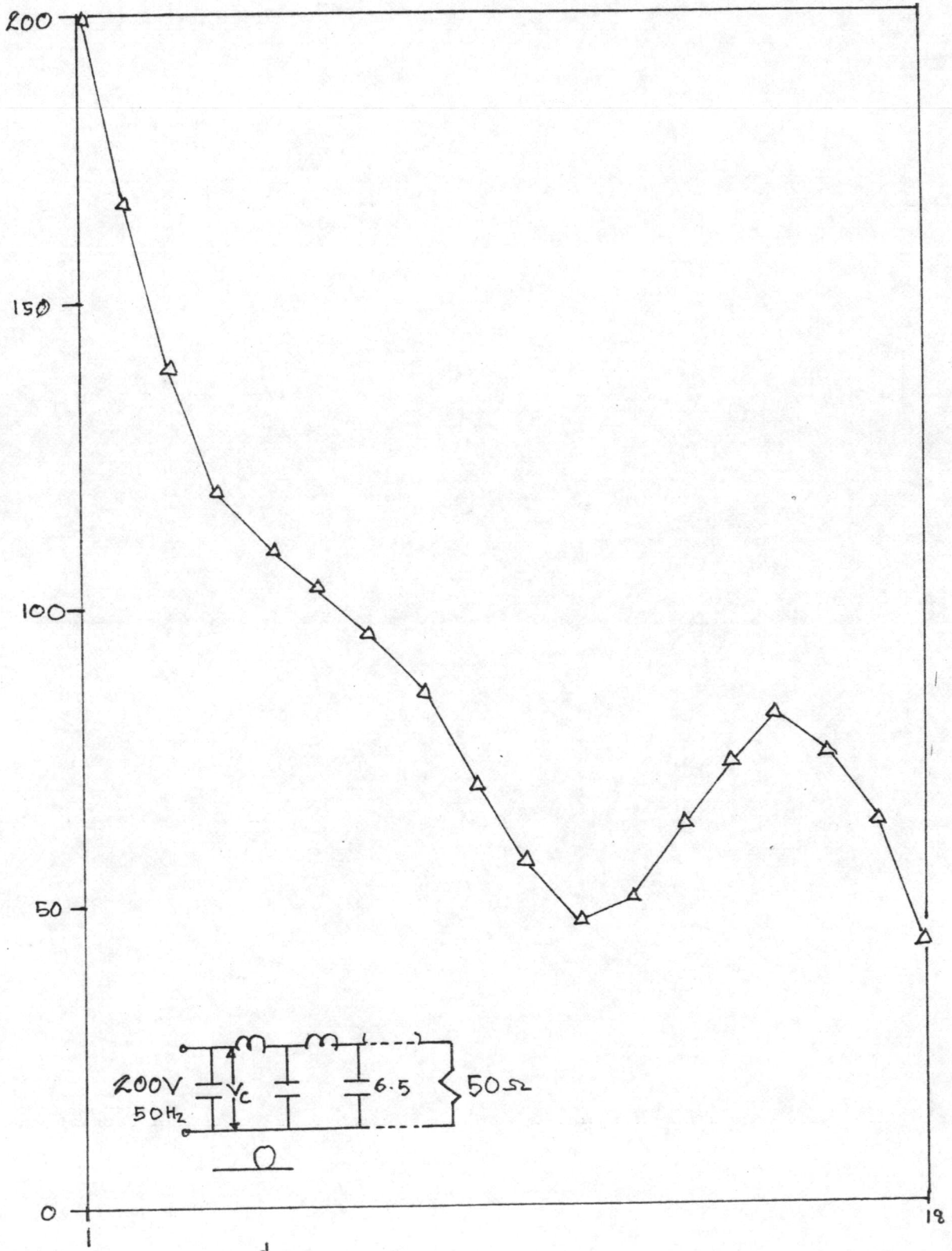
Figure 7-15



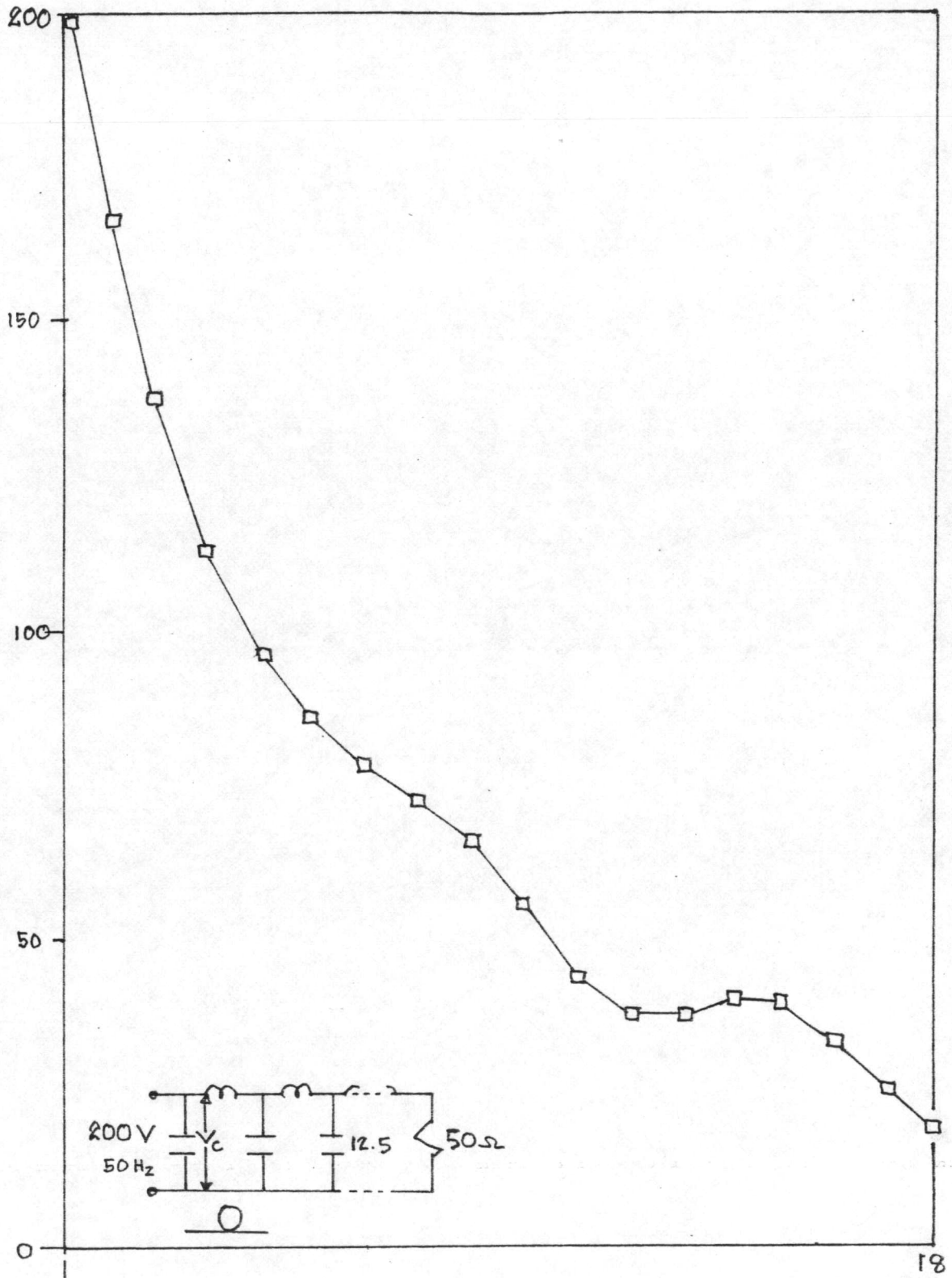
917 7-16



รูปที่ 9-17



รูปที่ 7-18



รูปที่ ๑-19

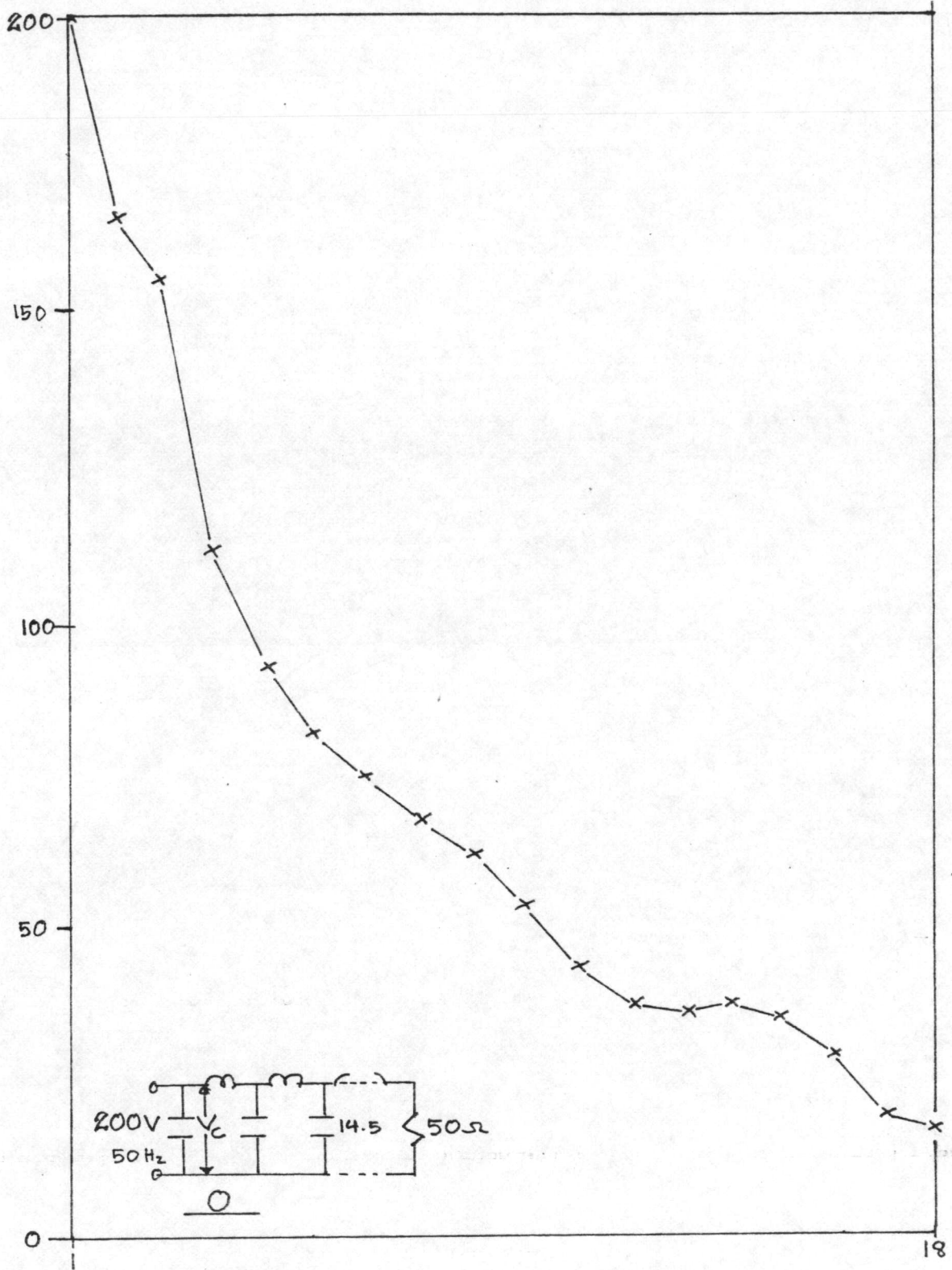
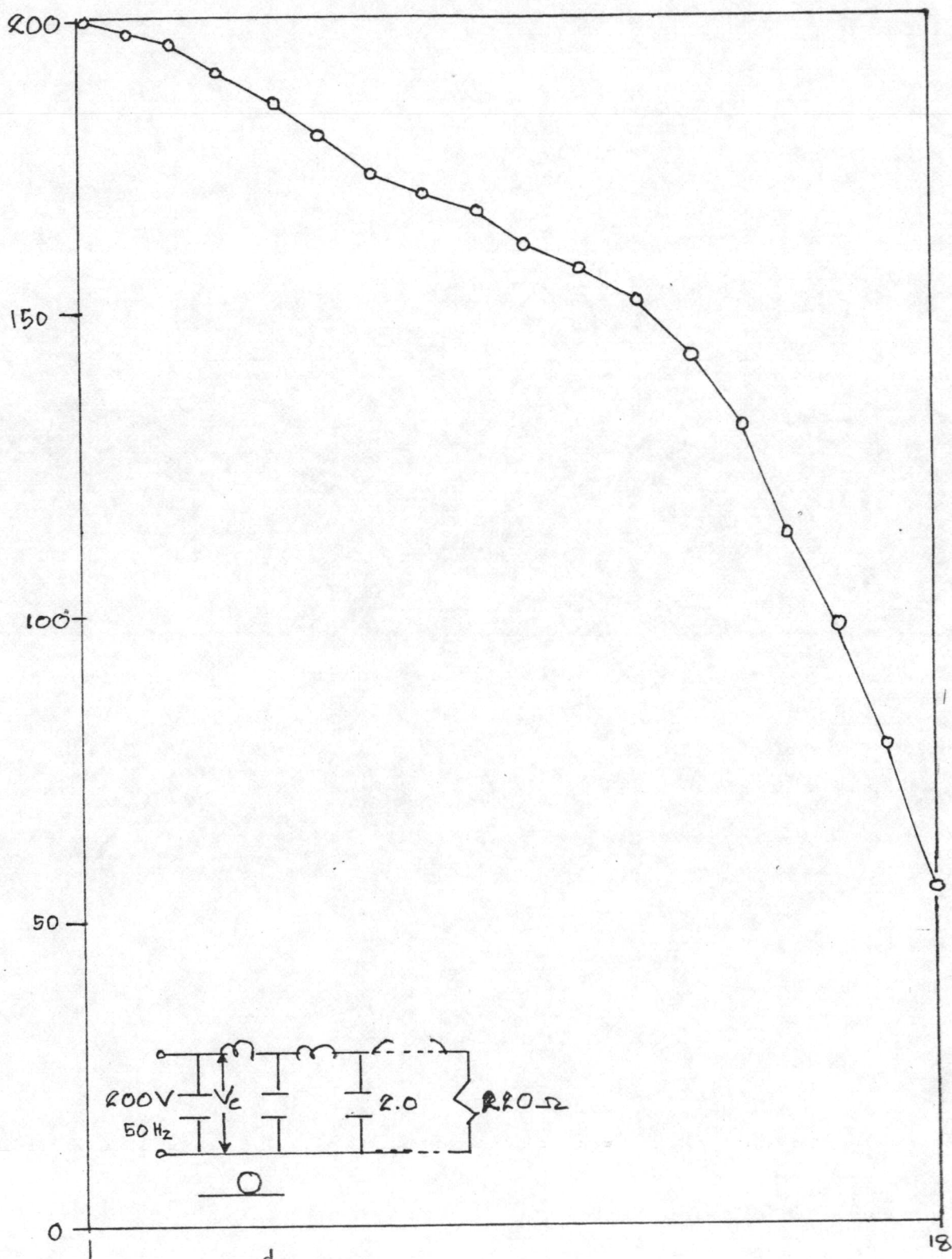
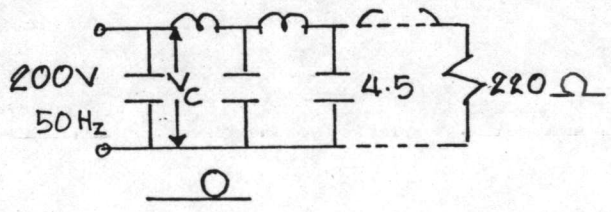
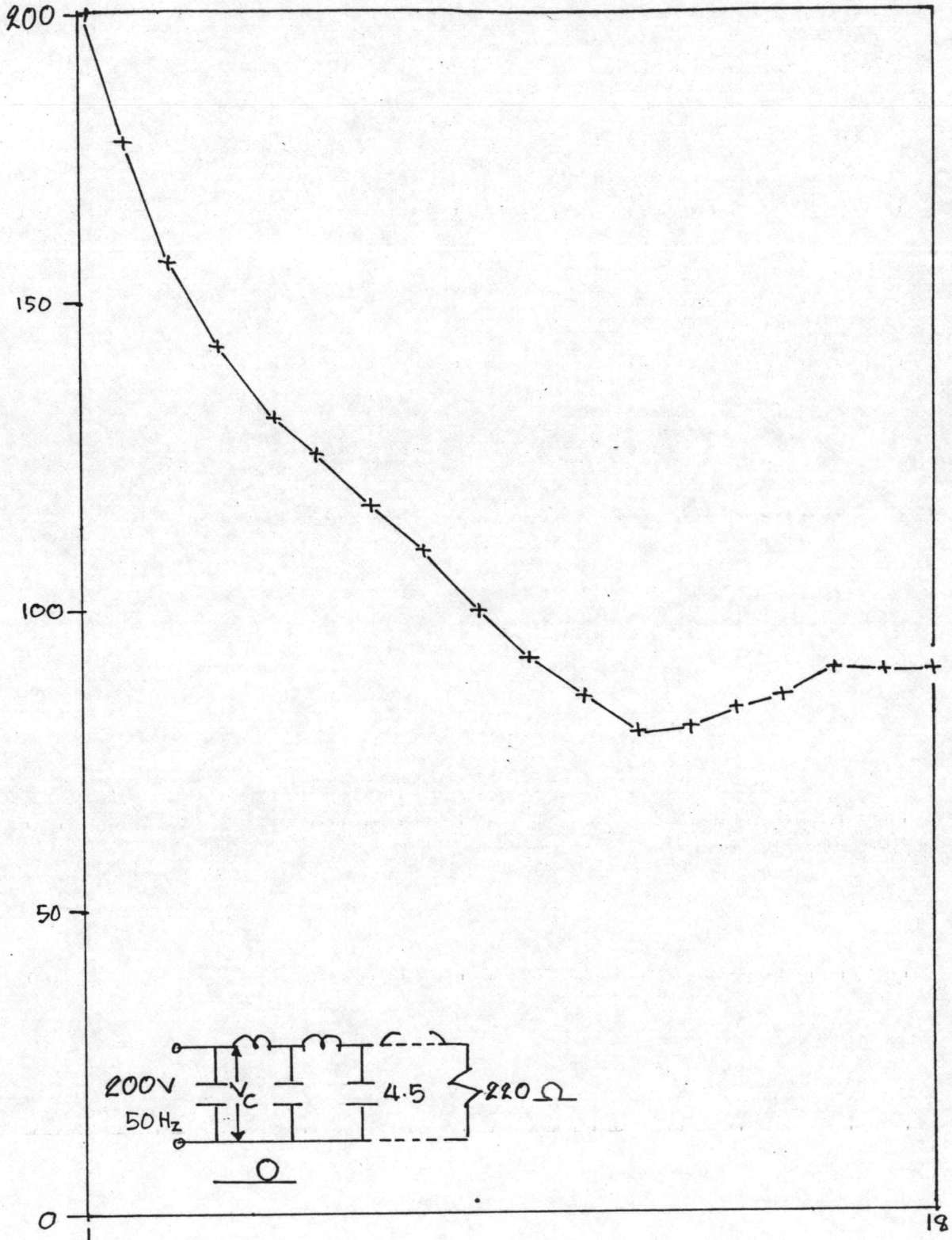


Figure 7-20

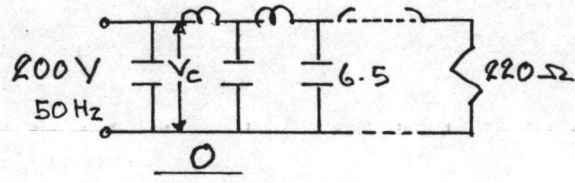
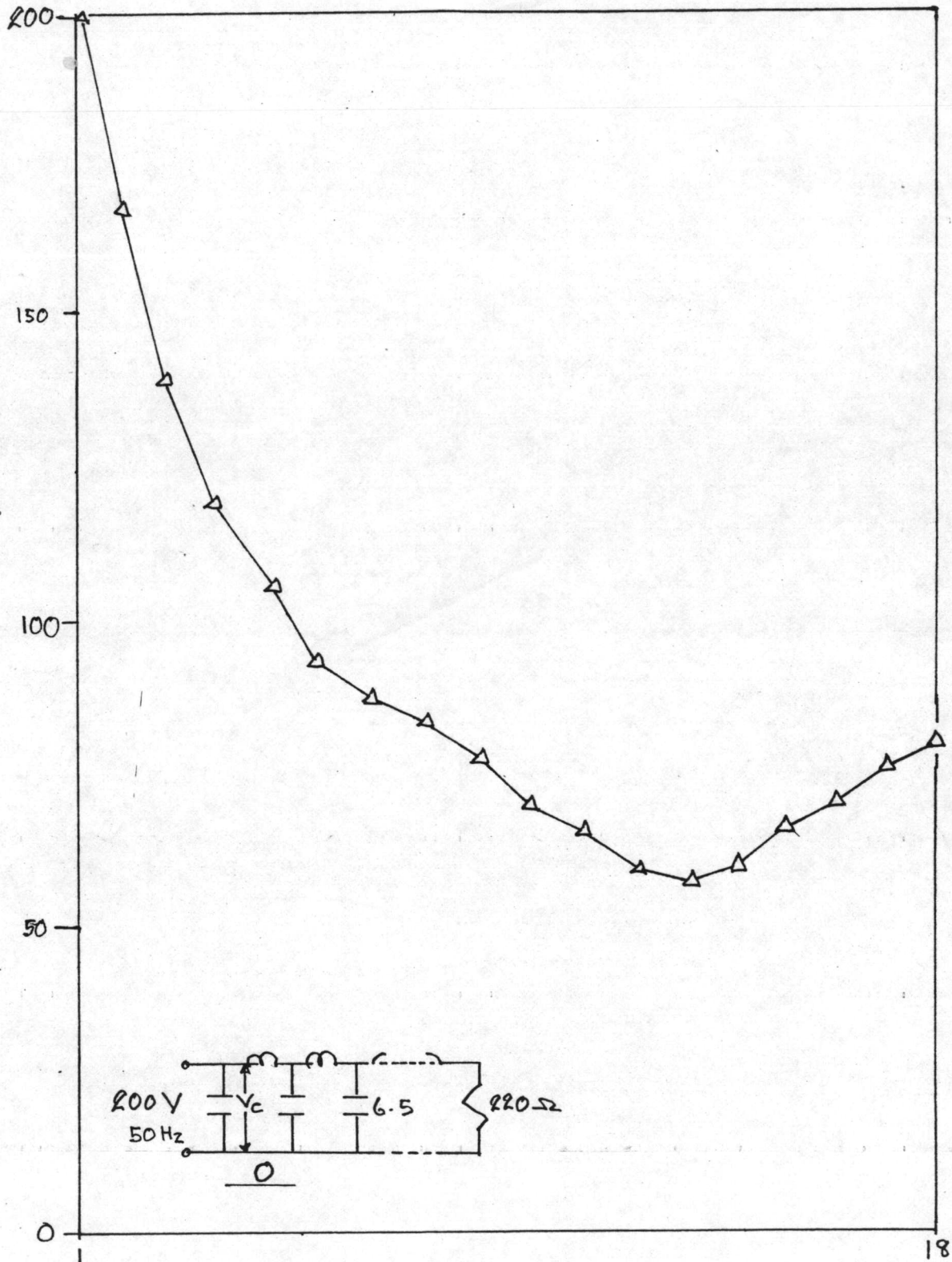




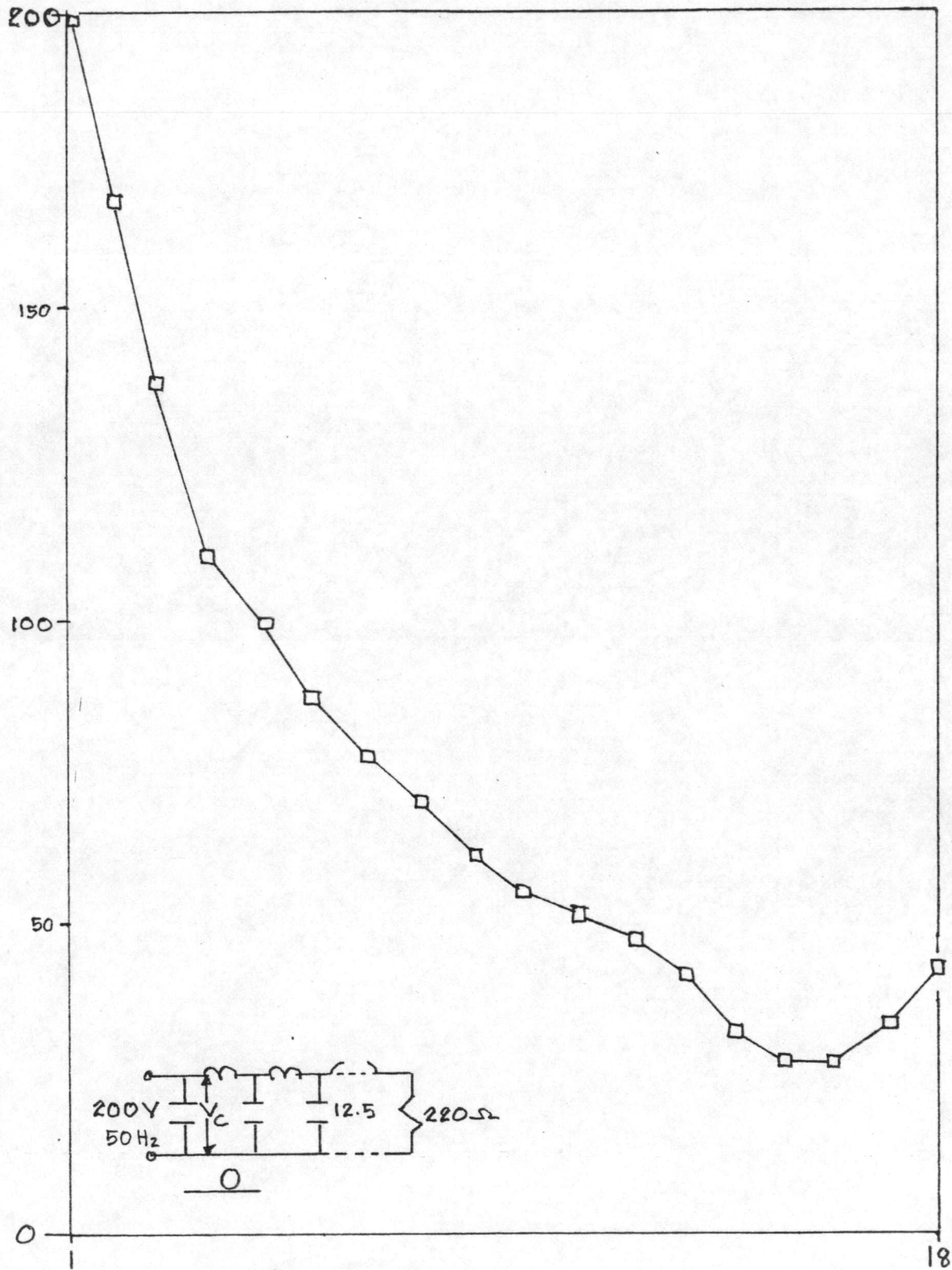
รูปที่ 7-21



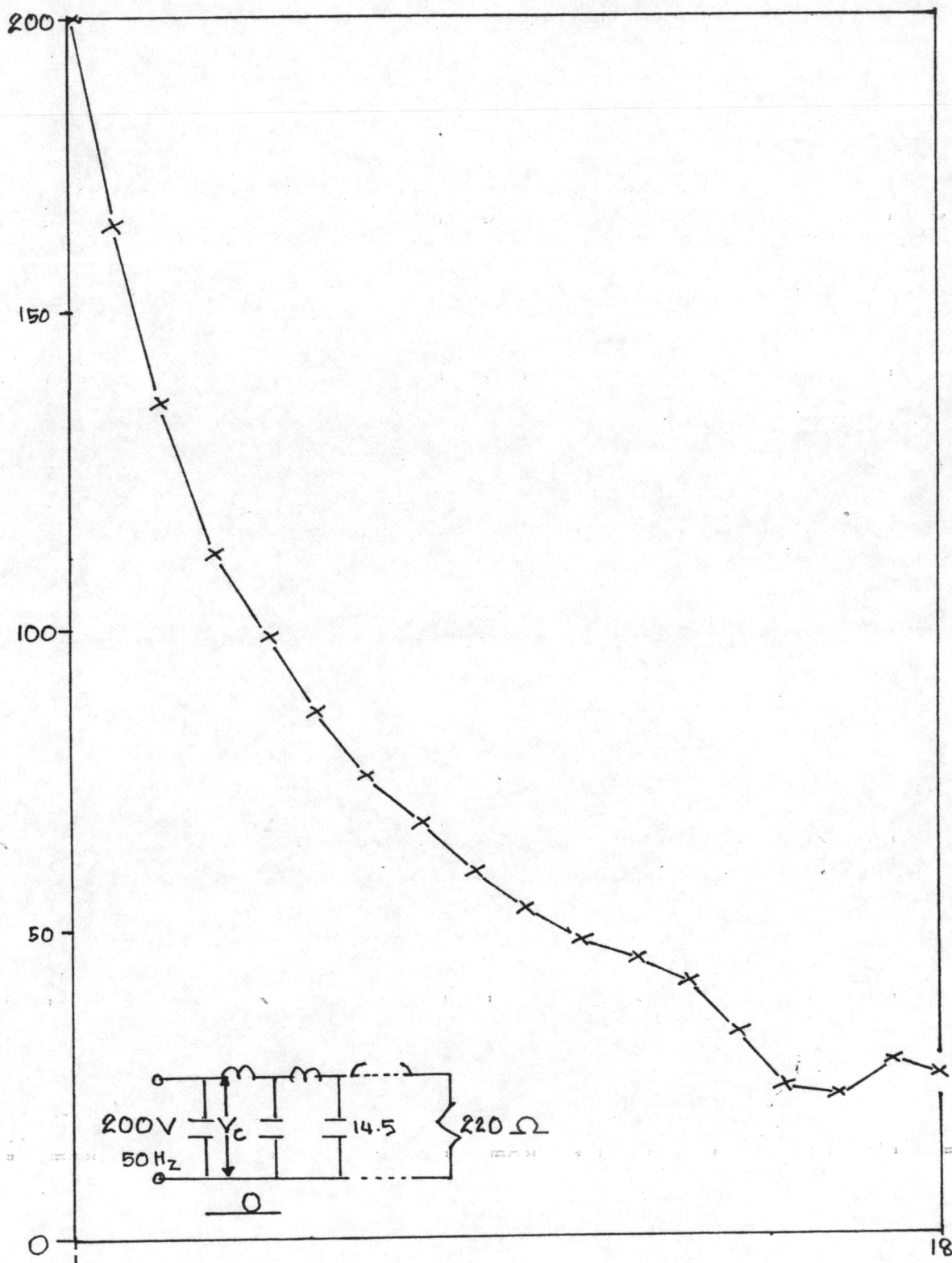
รูปที่ 7-22



รูปที่ 7-23



รูปที่ ๗-๒๔



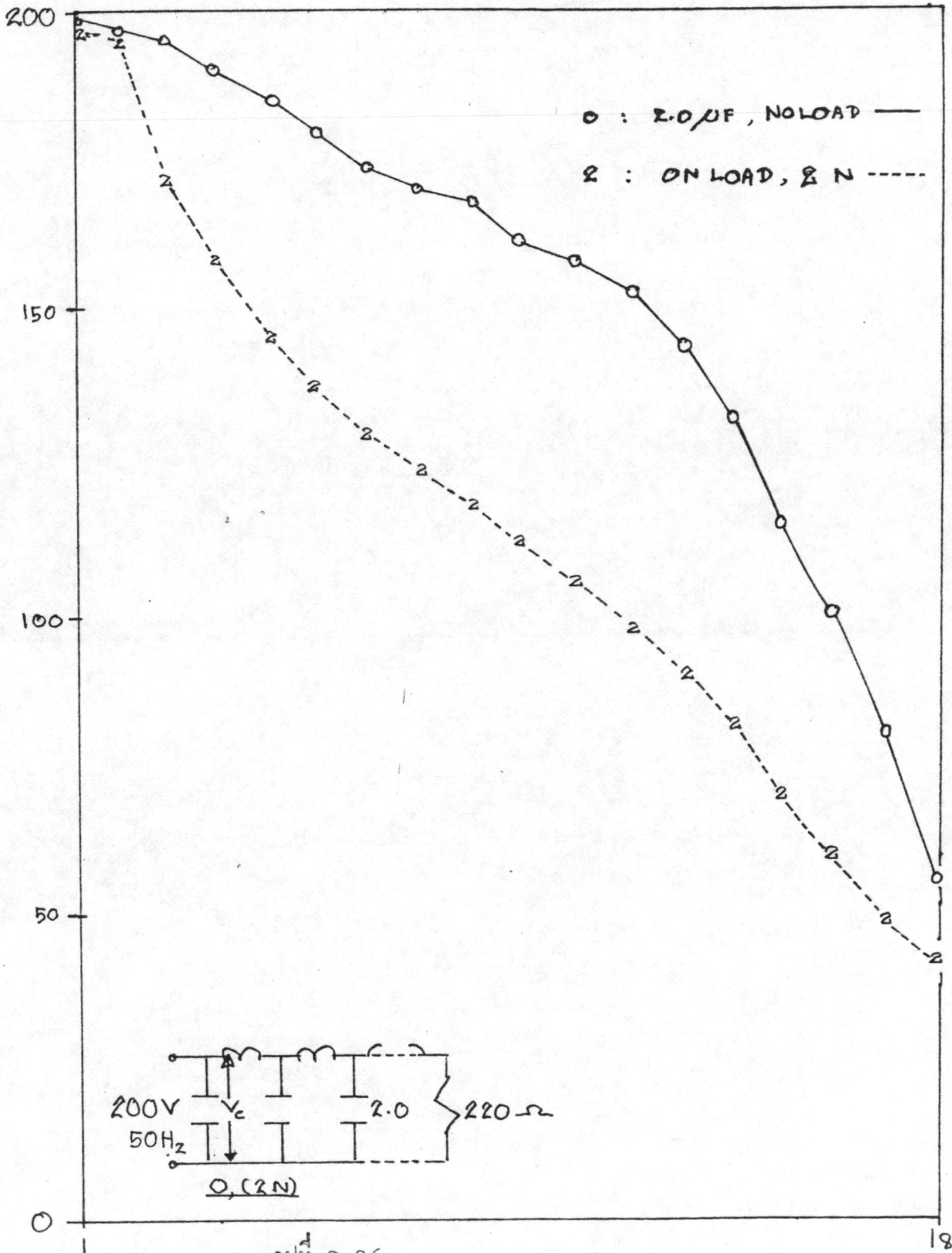
รูปที่ 7-25

แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบการลดขนาดลงของคลื่นเดินทาง  
ในรูปของแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุในวงจรปฐมภูมิ  
(ขณะไร้อโหลดและขณะมีโหลด 2 N)

รูปที่ จ-26 ถึง รูปที่ จ-30

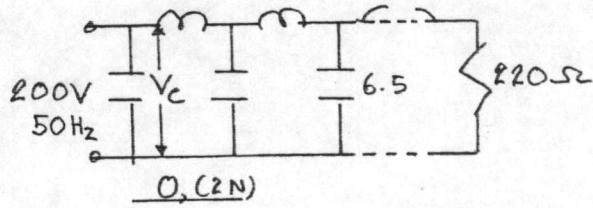
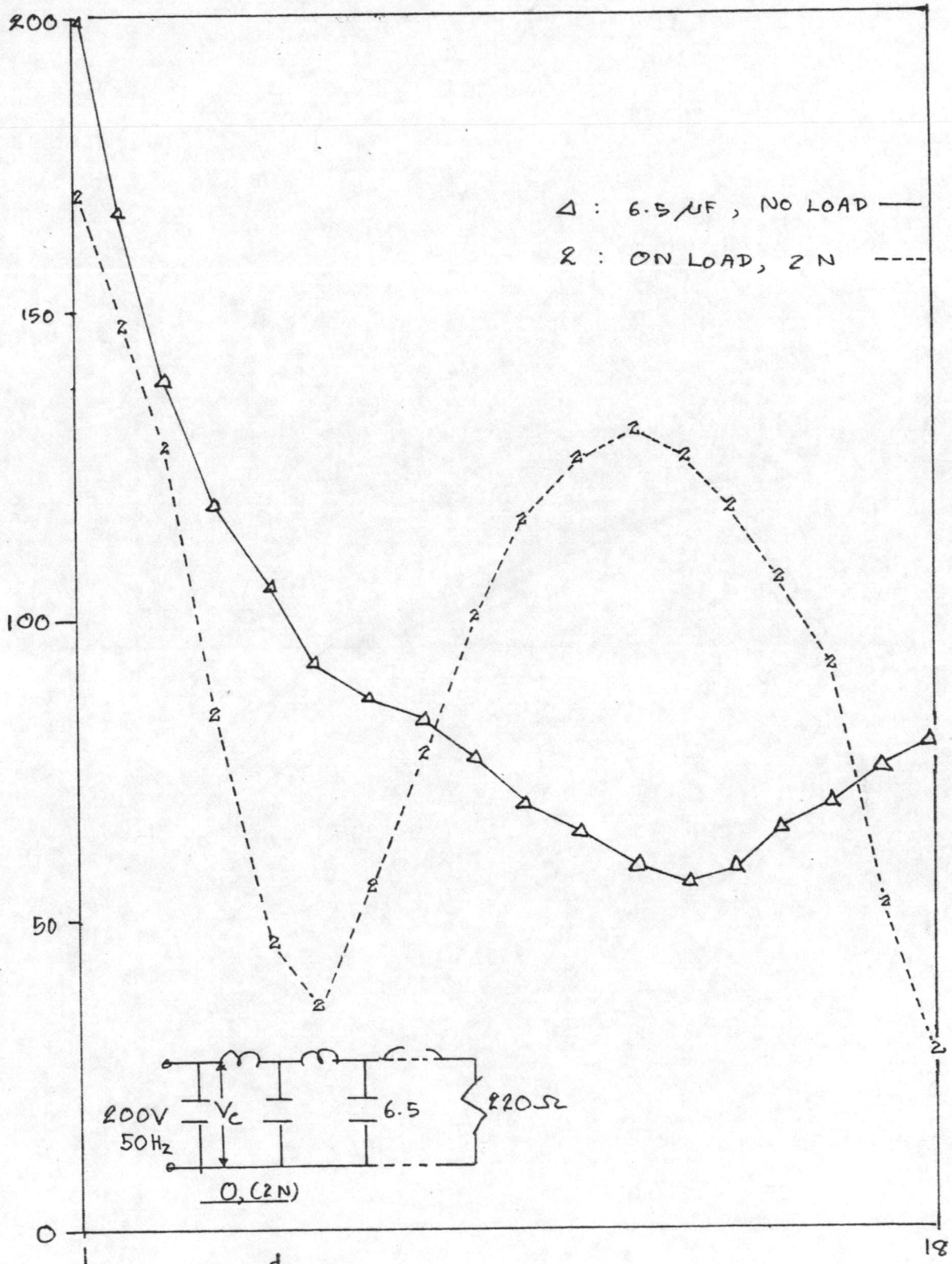
โดยกำหนดให้, แกนตั้ง : แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า, (โวลต์)

แกนนอน : แสดงลำดับตัวเก็บประจุในวงจรปฐมภูมิ

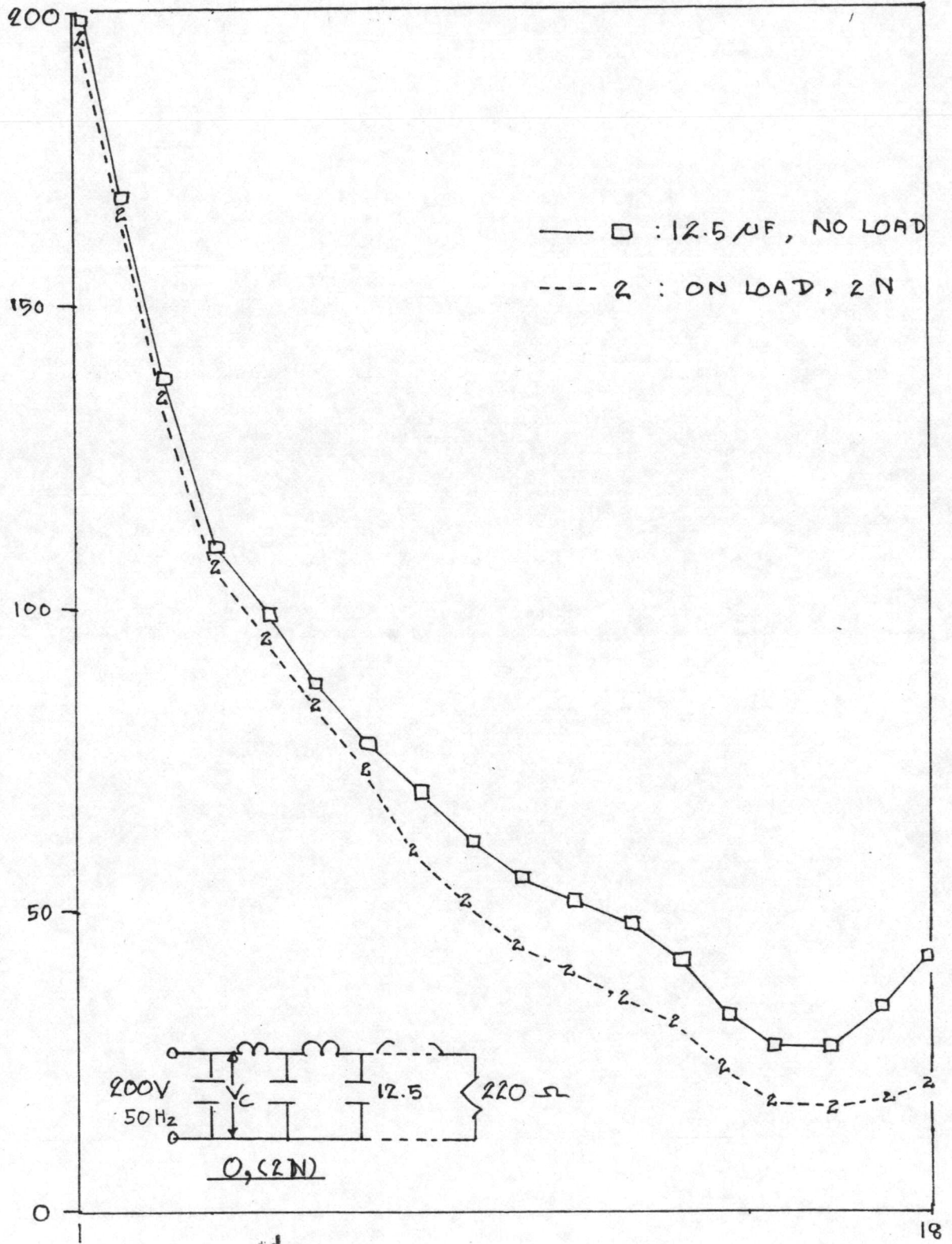








9-28



7-29

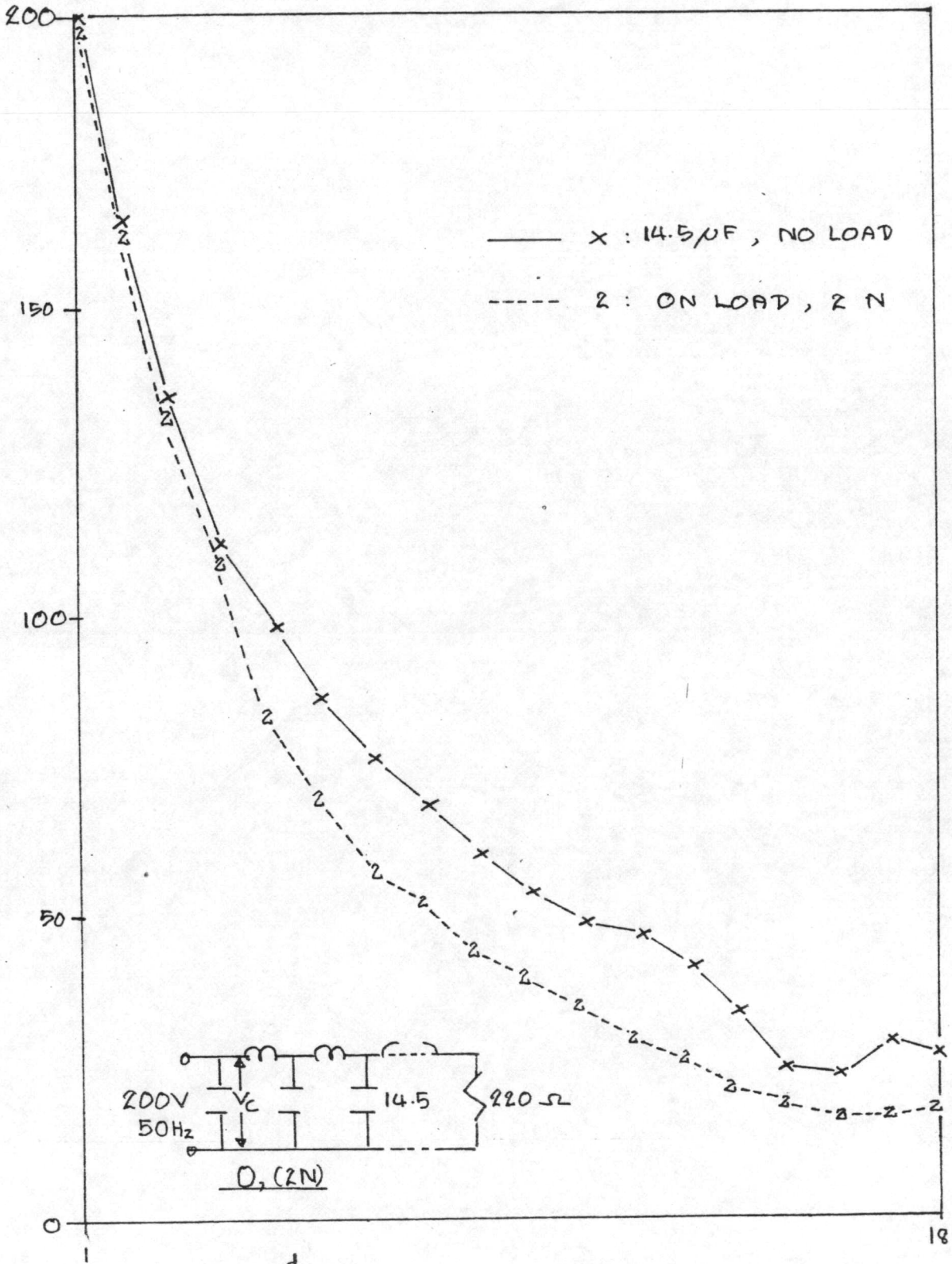


Figure 7-30

แสดงผลทดสอบการลดขนาดลงของคลื่นเดินทางในรูปของ  
แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรปฐมภูมิ

(ขณะไร้โหลด)

รูปที่ จ-31 ถึง รูปที่ จ-54

โดยกำหนดให้, แกนตั้ง : แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า, (โวลต์)

แกนนอน : แสดงลำดับขดลวดในวงจรปฐมภูมิ

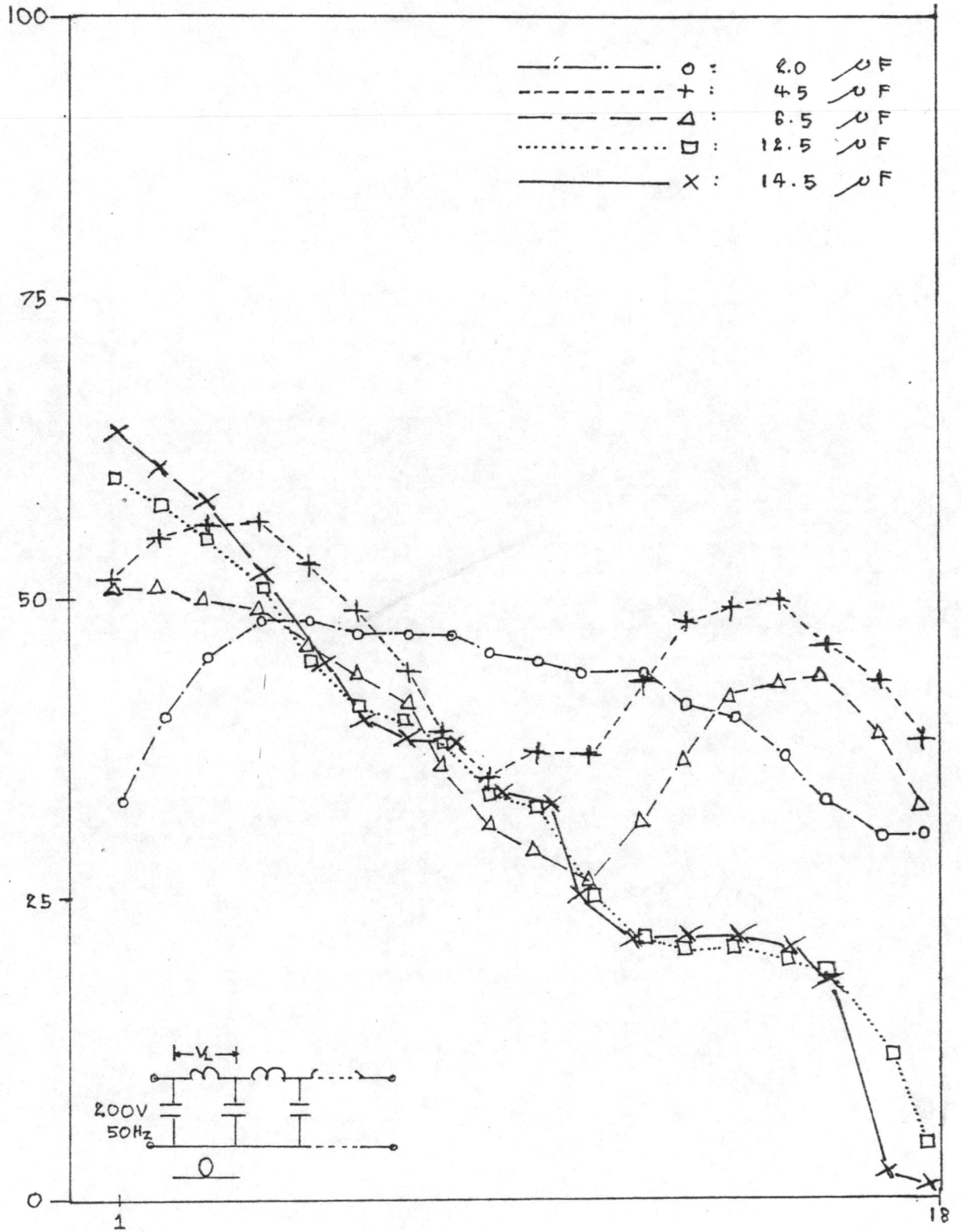
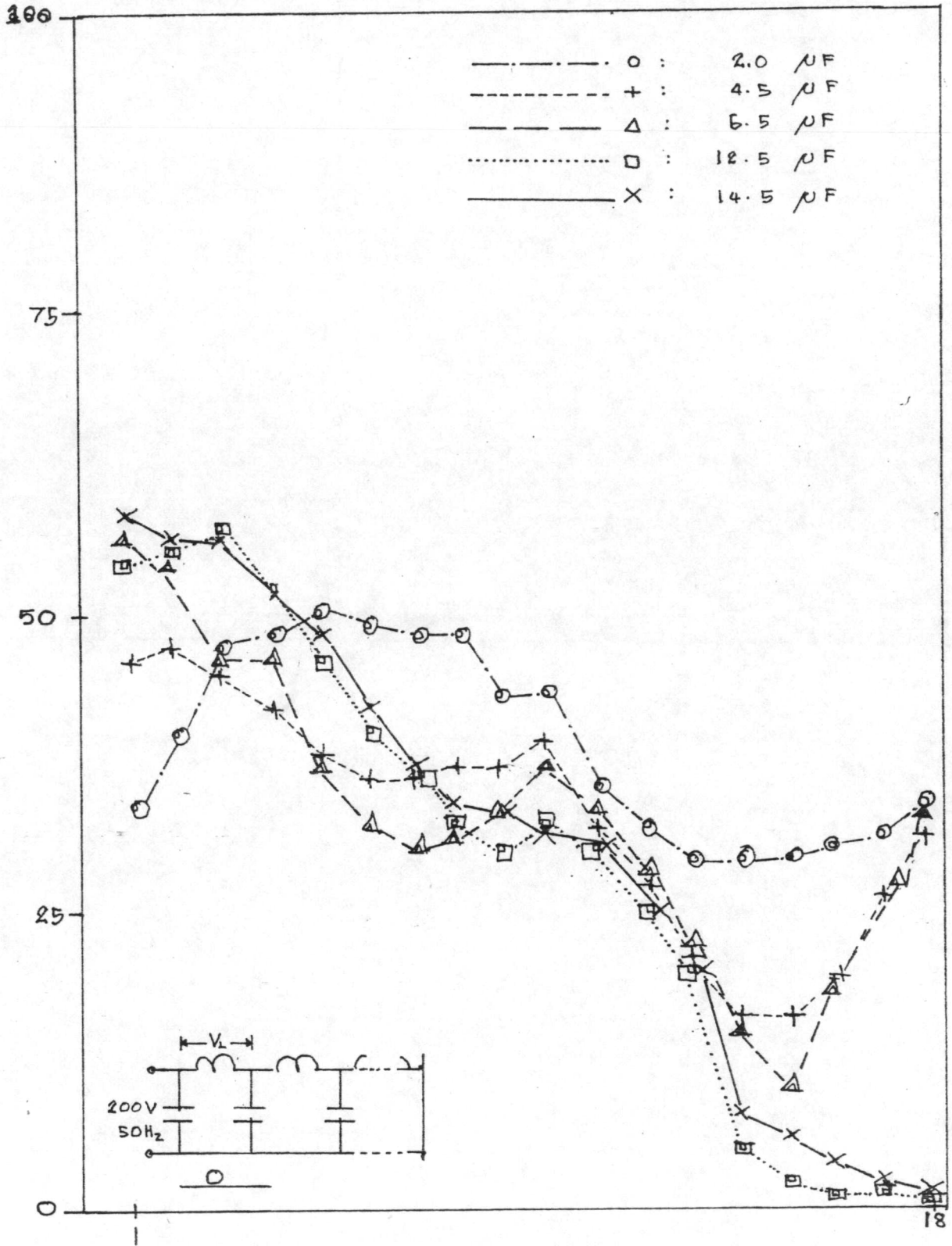
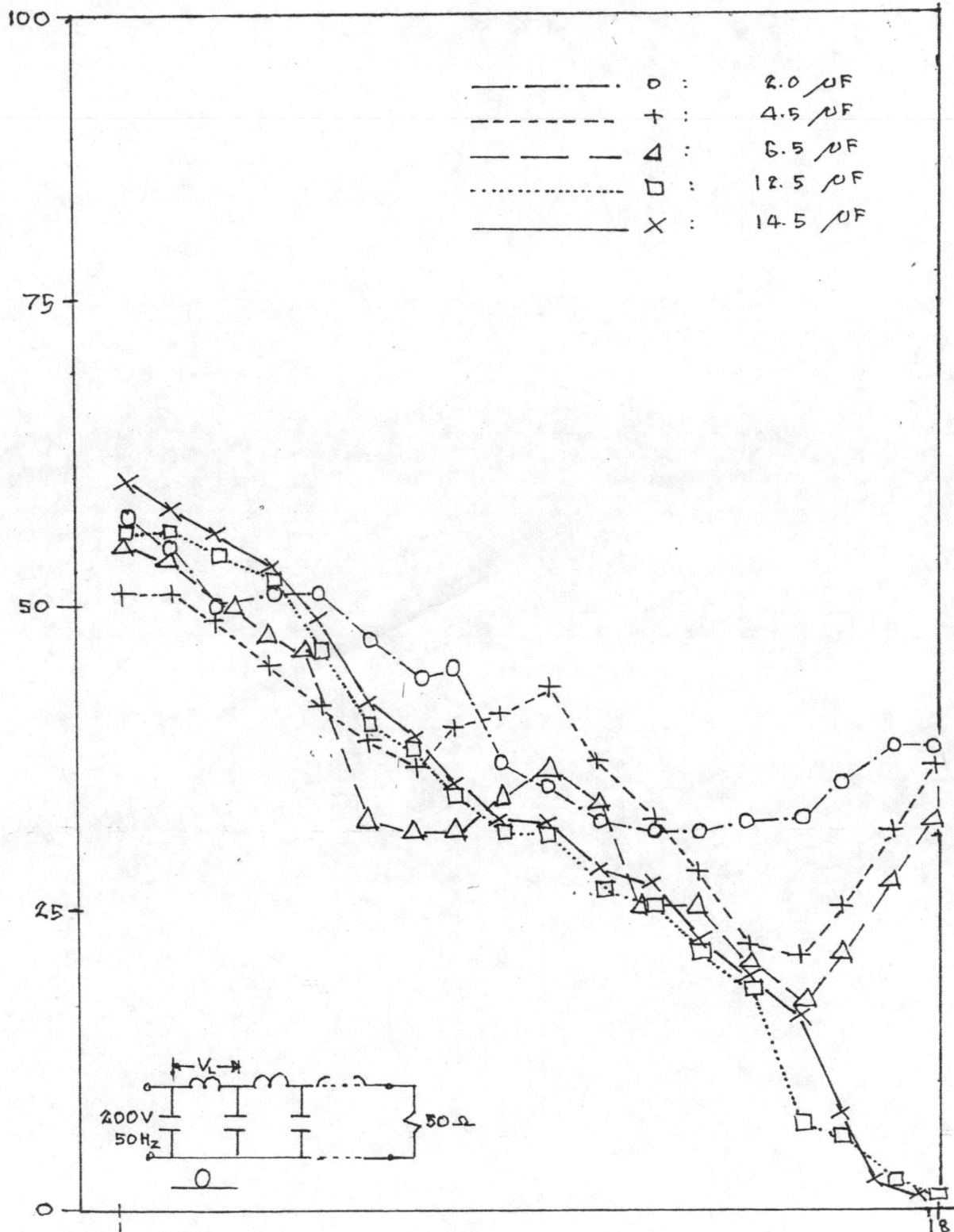


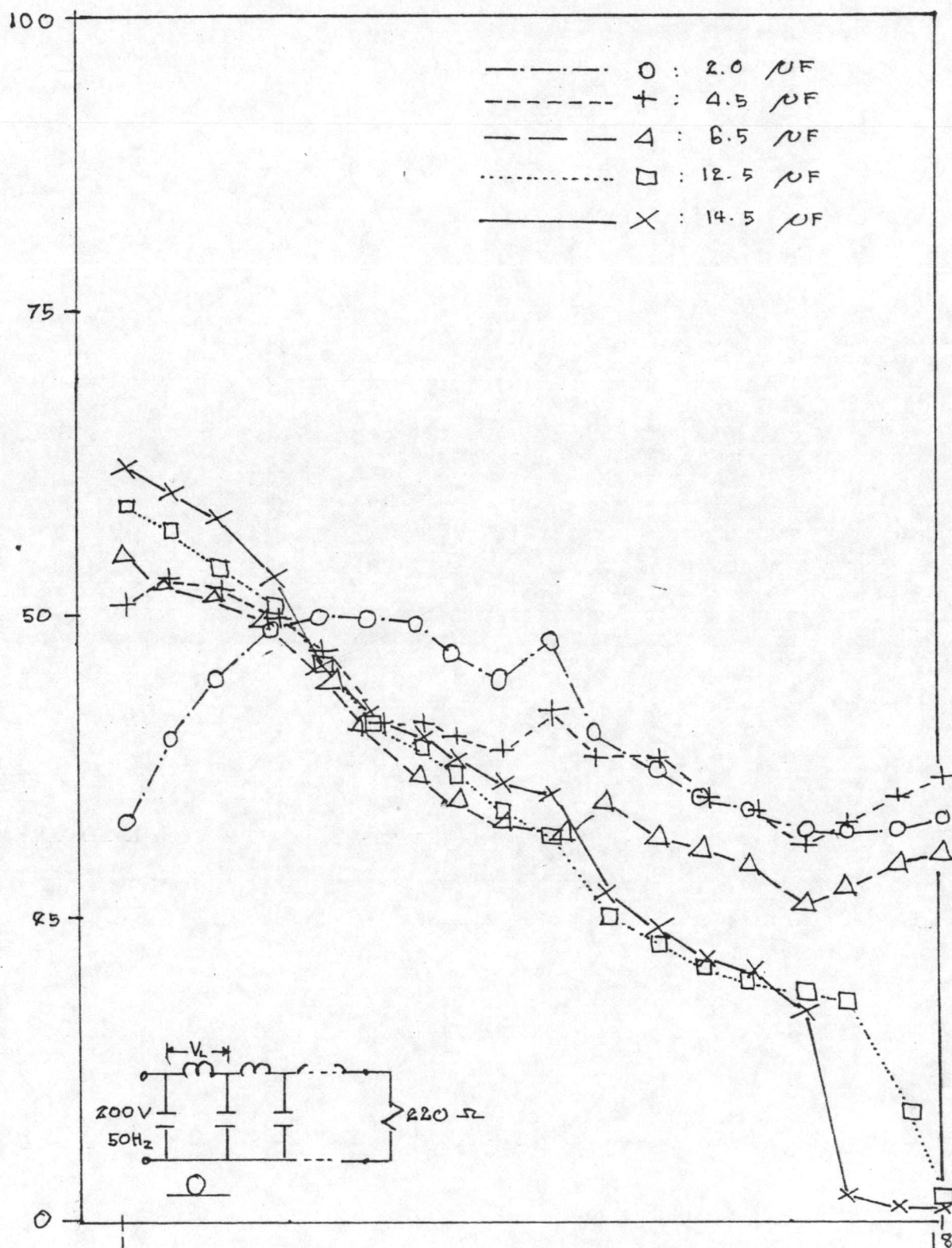
图 7-31



รูปที่ ๗-32

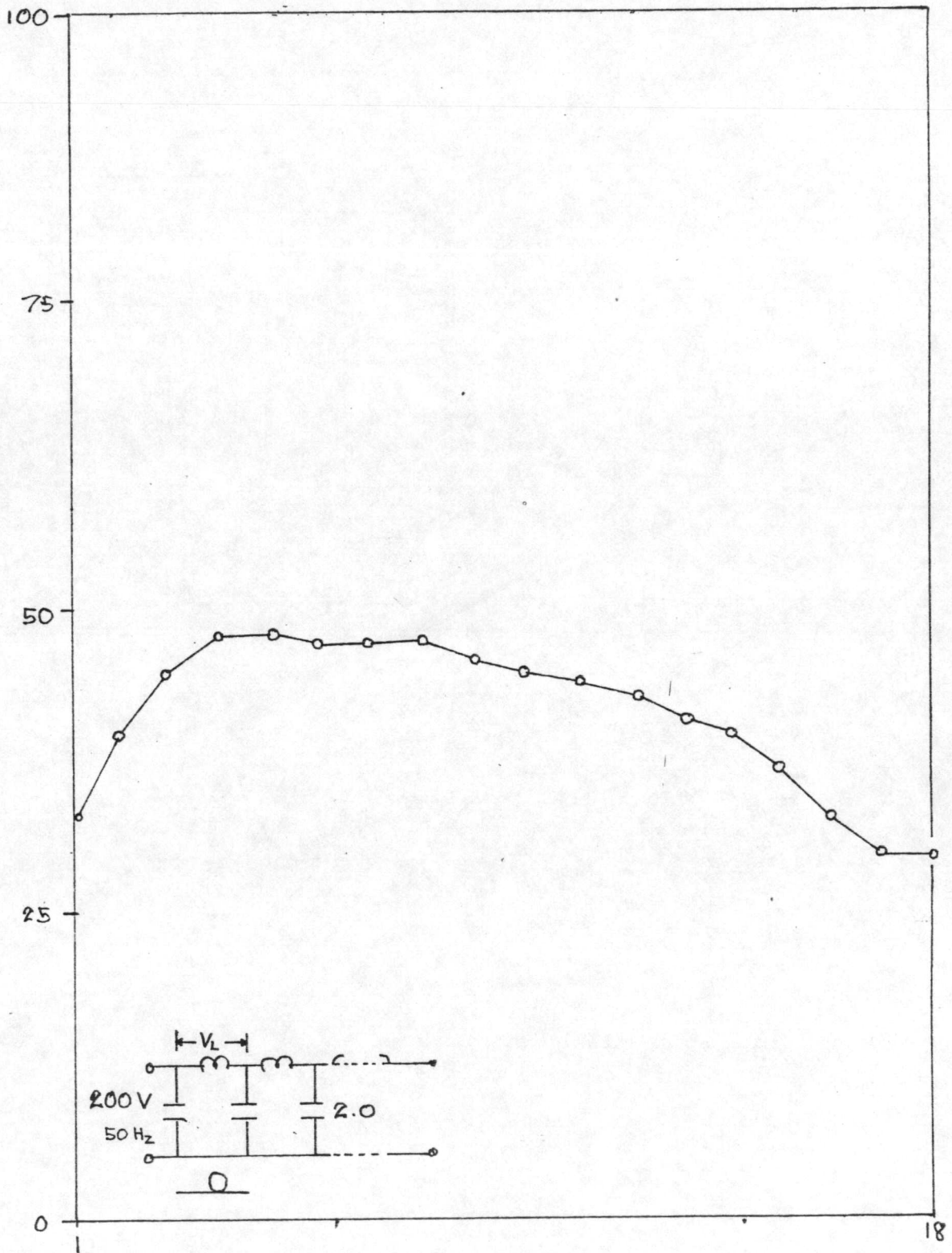


รูปที่ ๗-๓๓

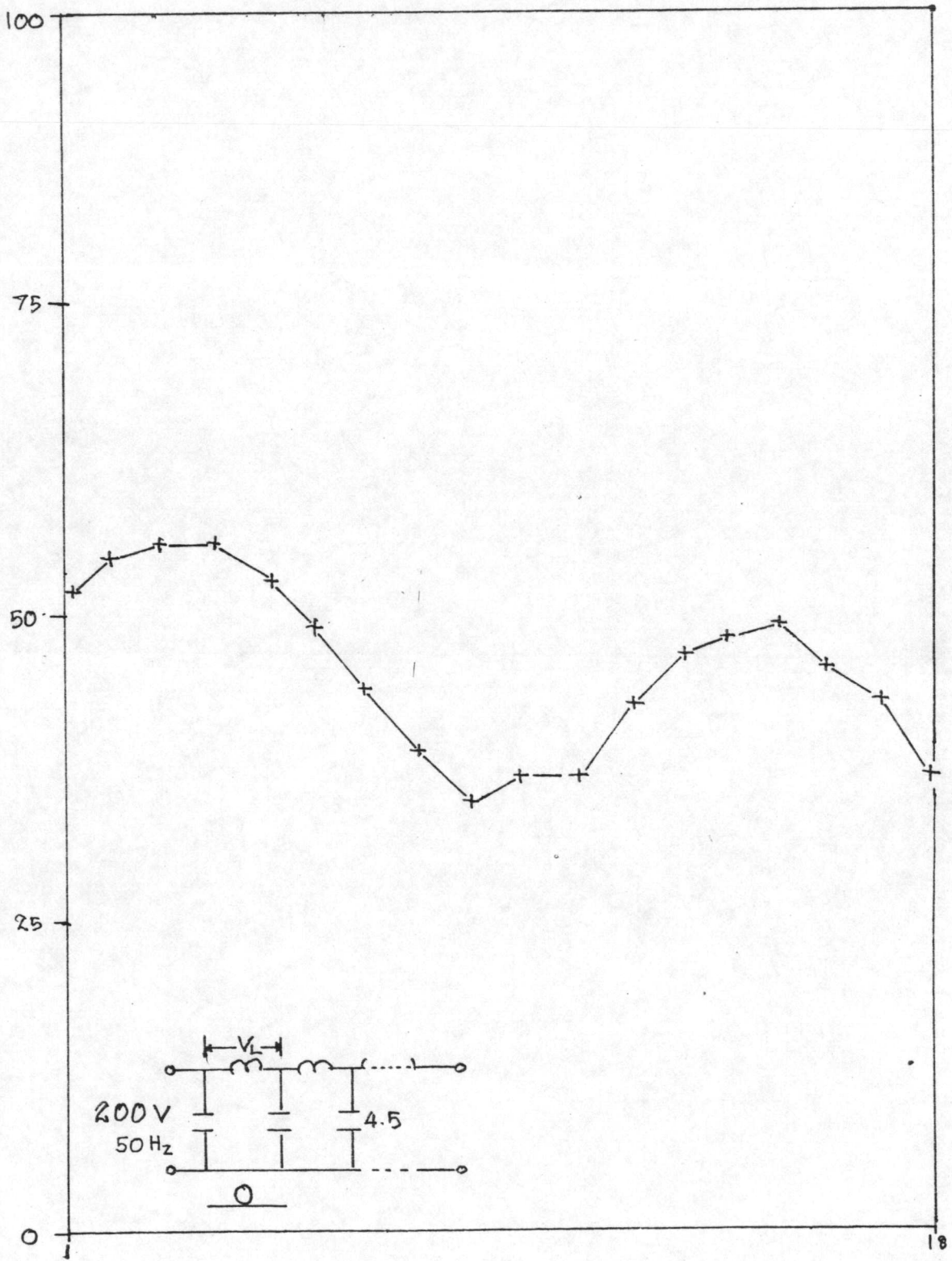


รูปที่ ๑-34

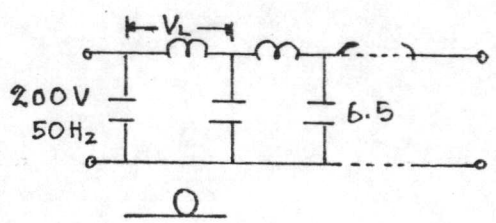
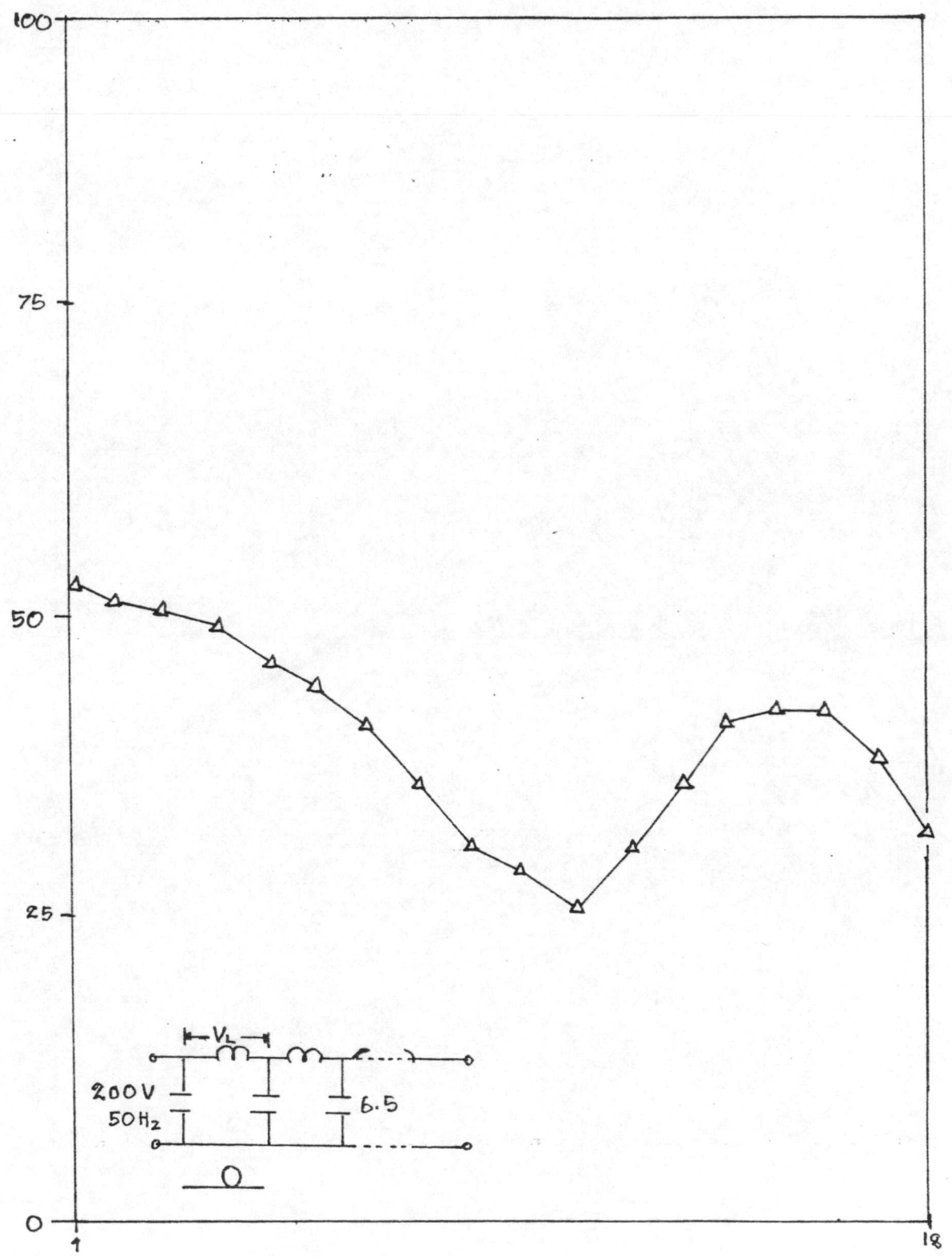




รูปที่ ๗-35



รูปที่ ๗-๓๖



รูปที่ ๗-37

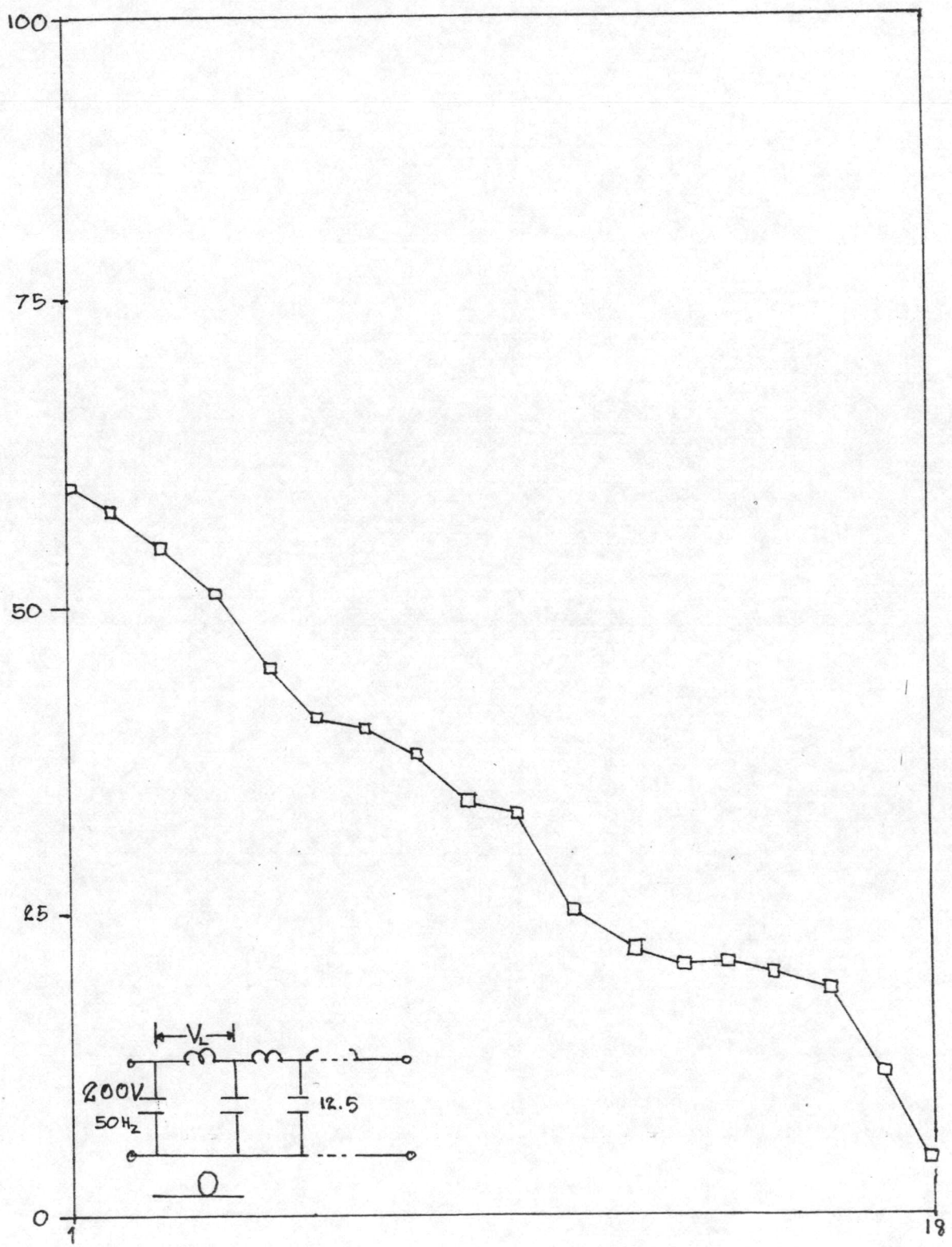
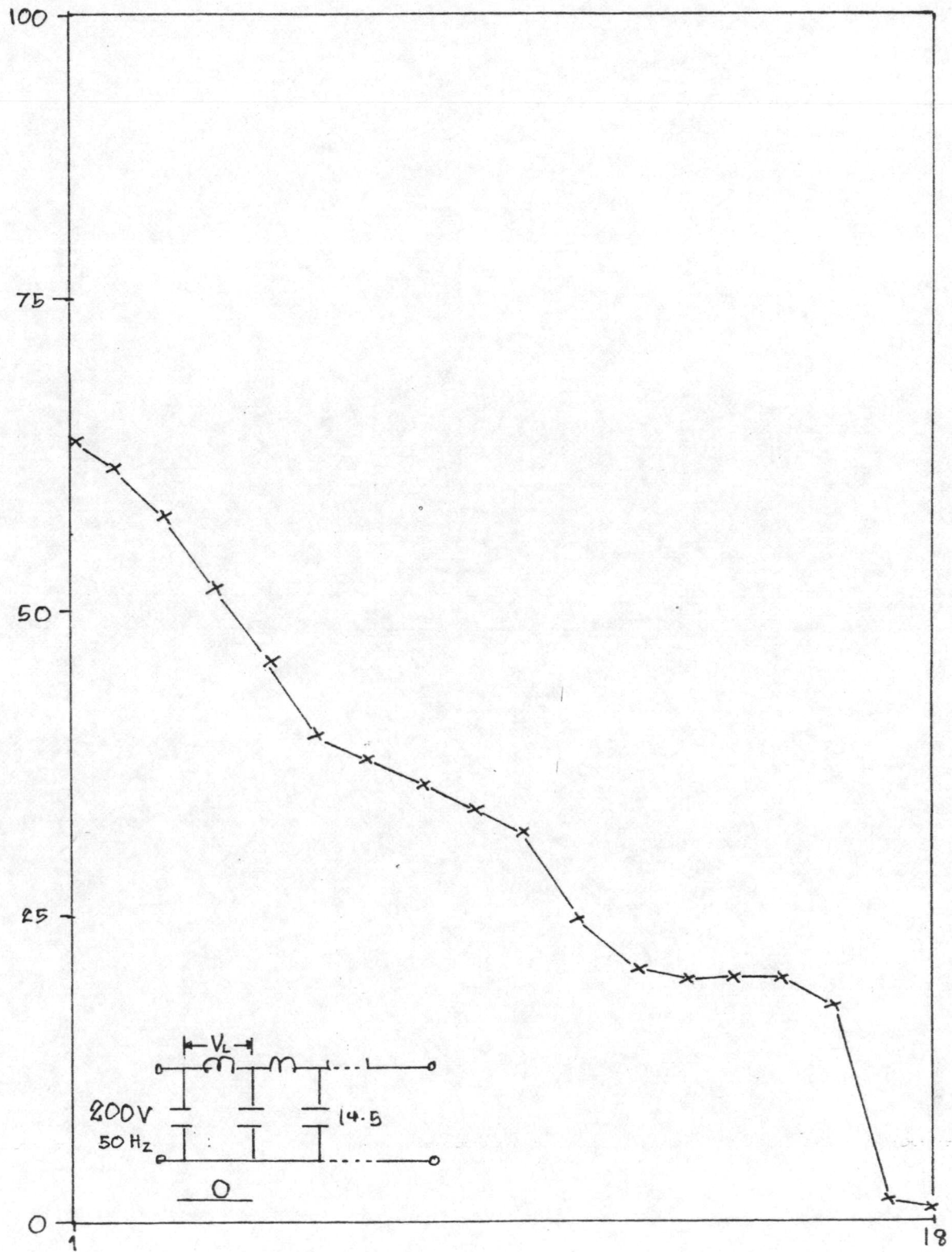
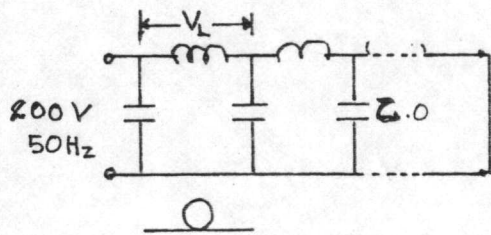
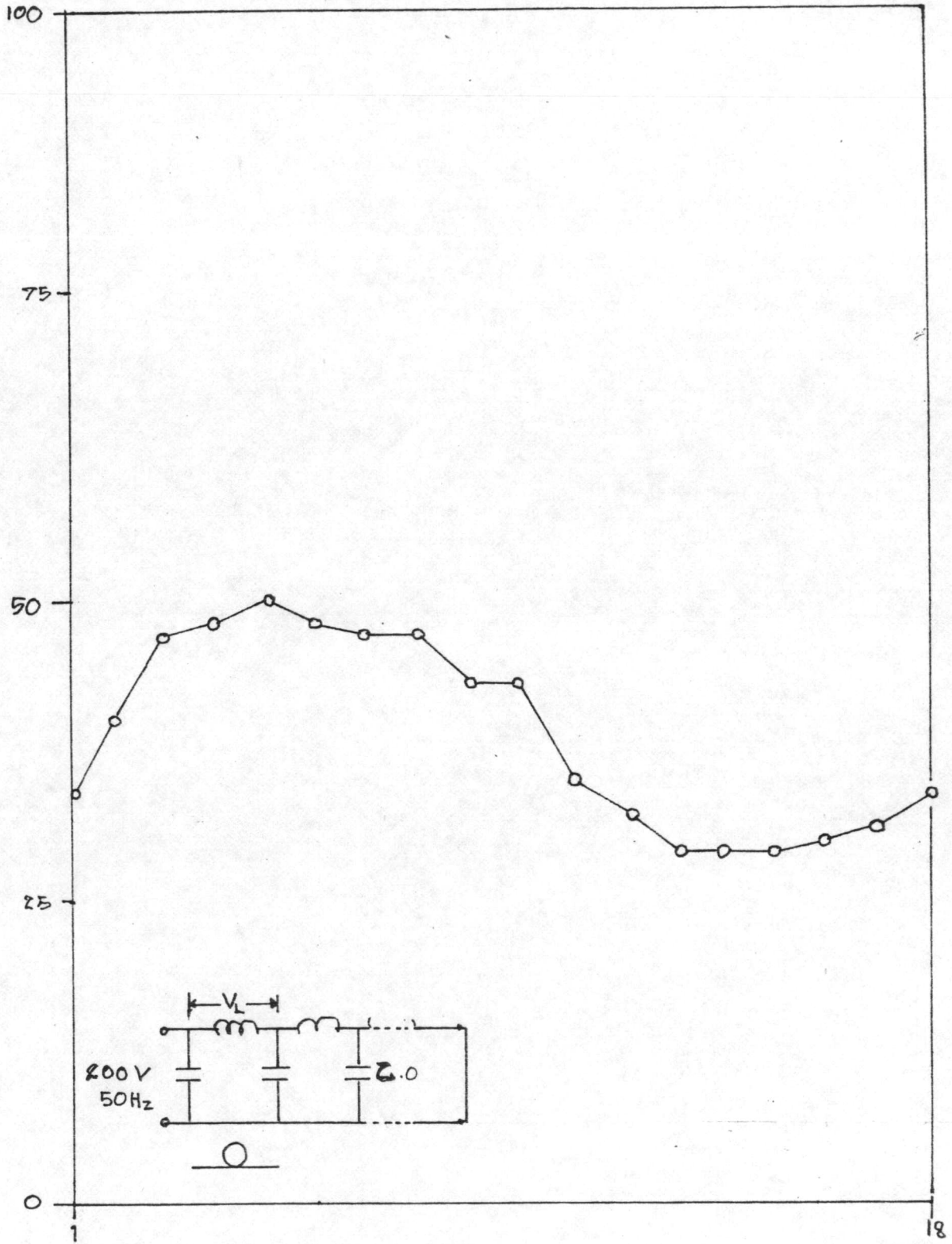


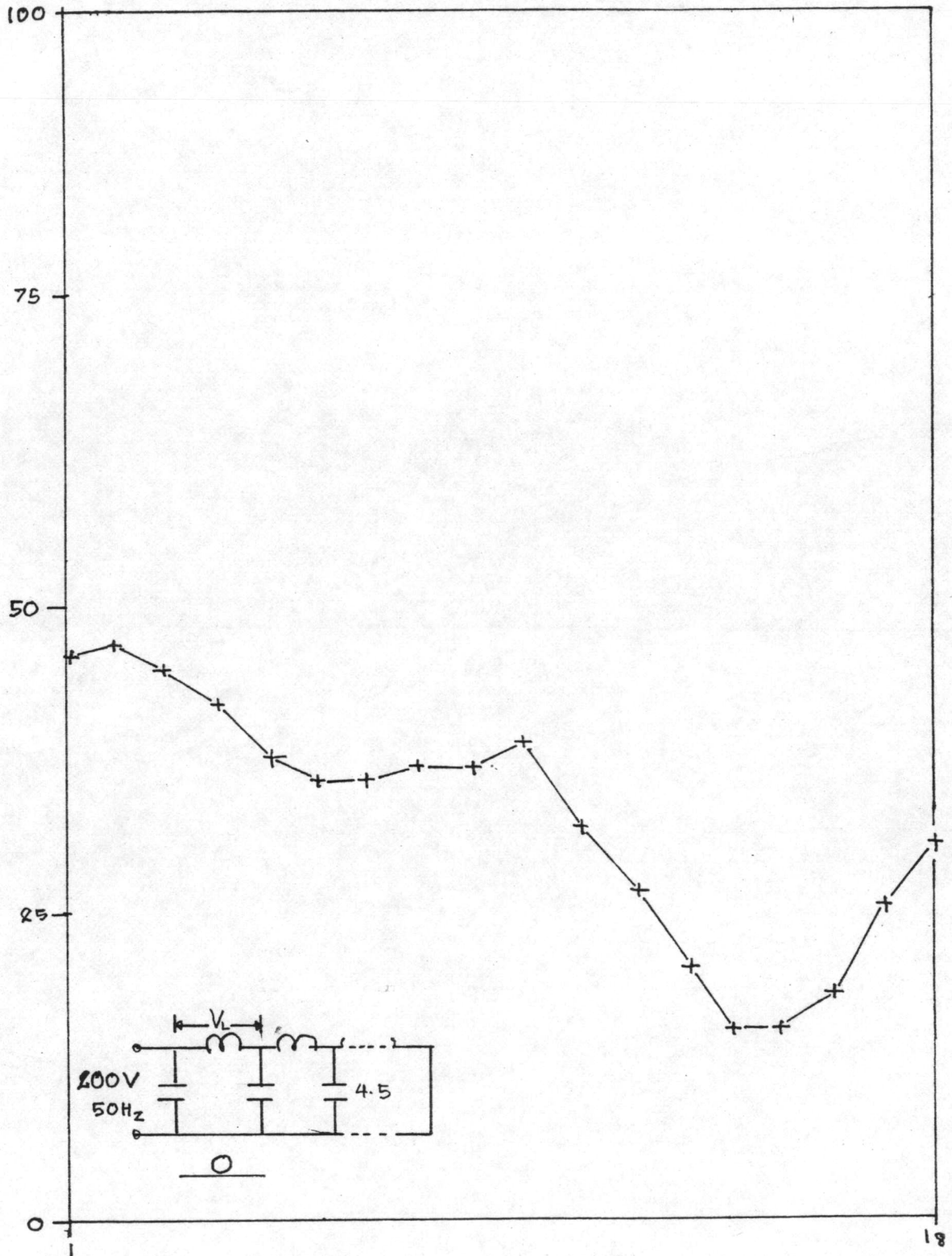
Figure 7-38



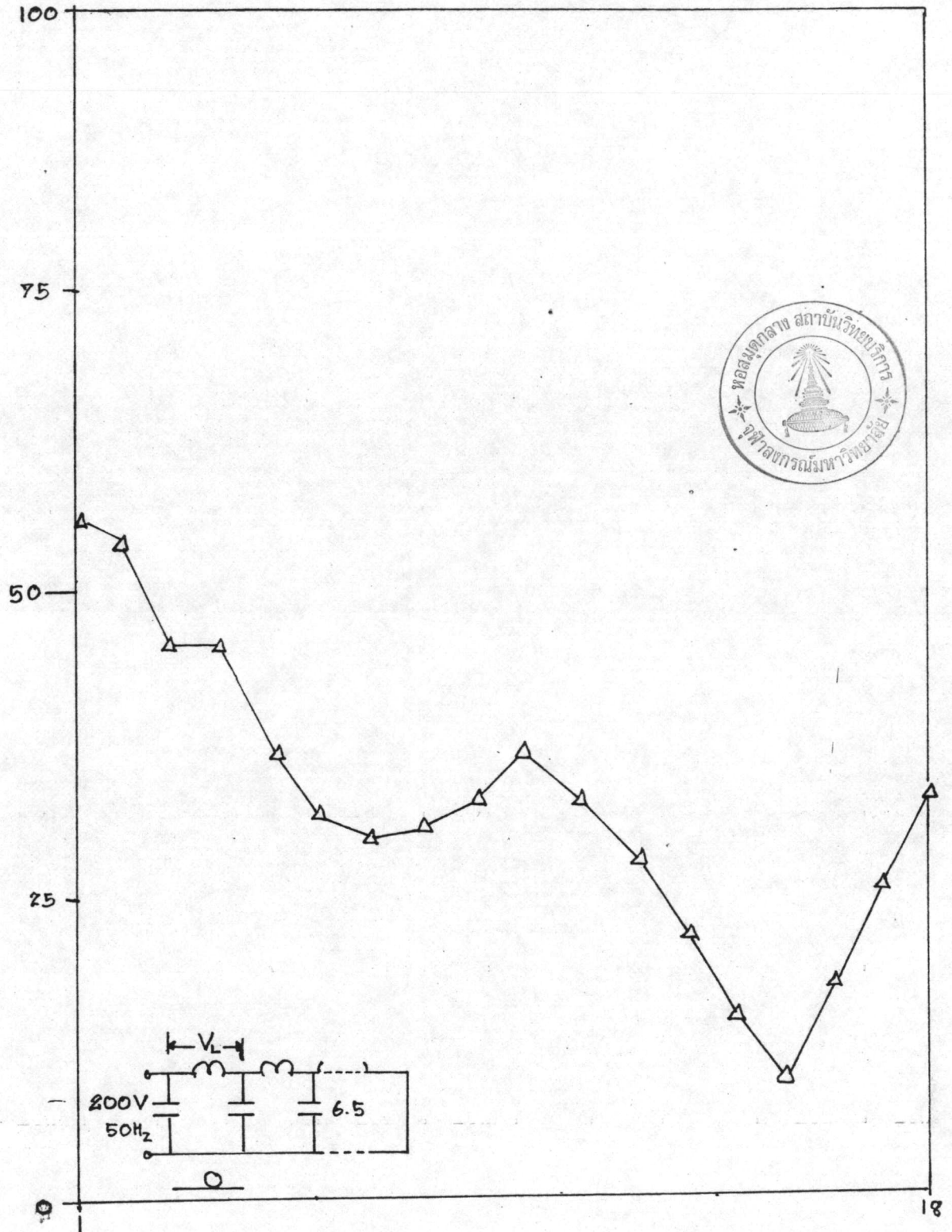
รูปที่ ๑-39



9-40

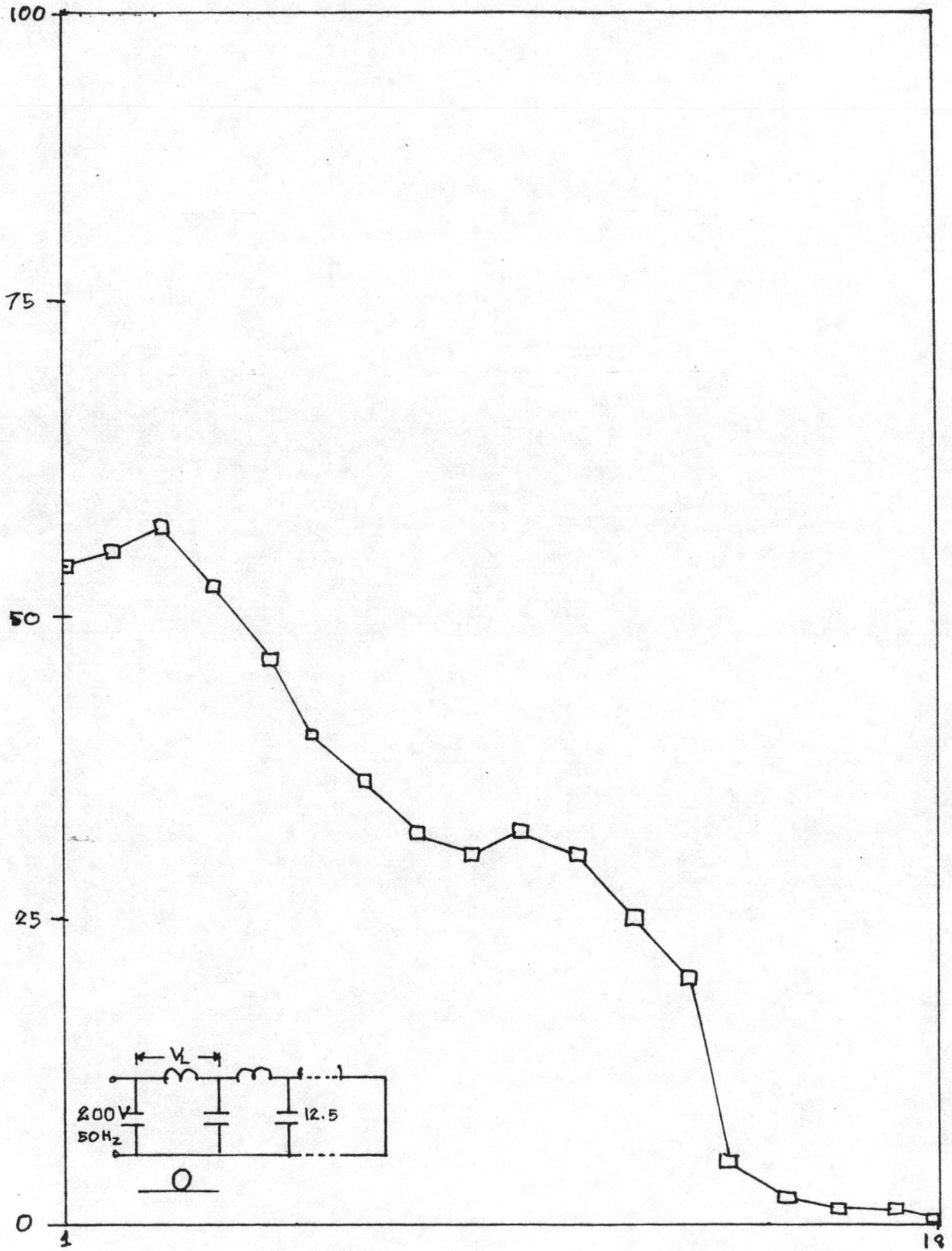


รูปที่ 7-41

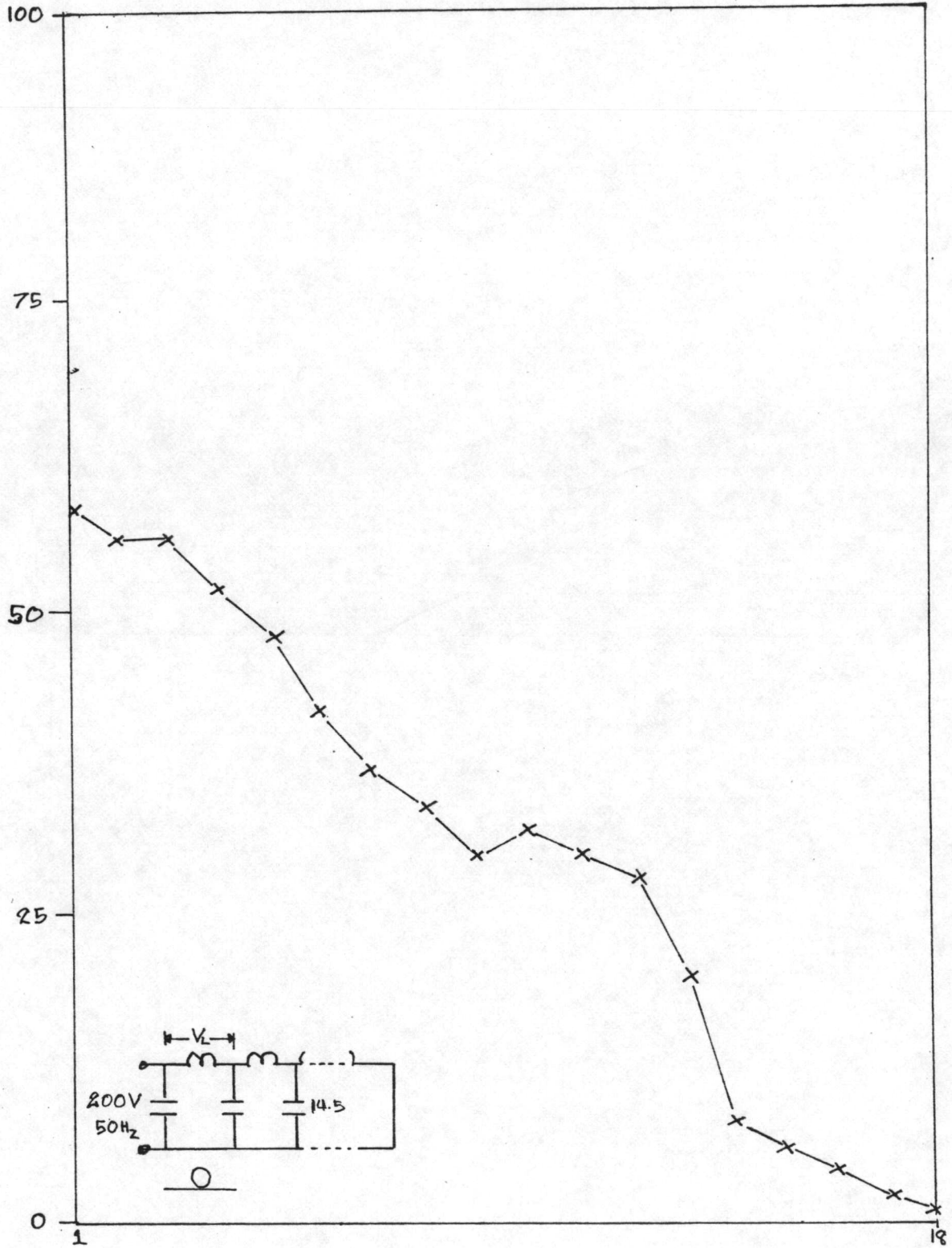


รูปที่ ๖-๔๒

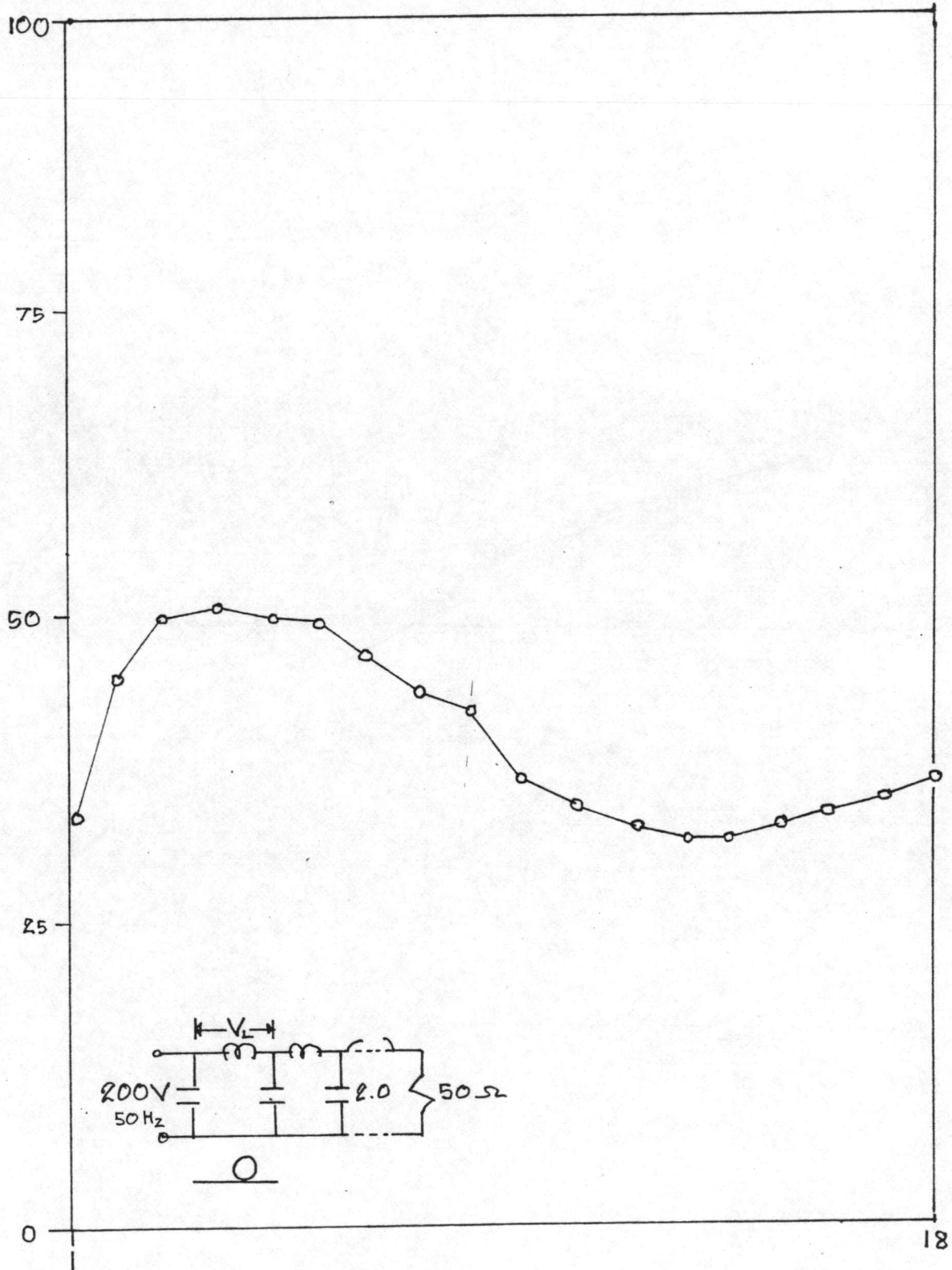




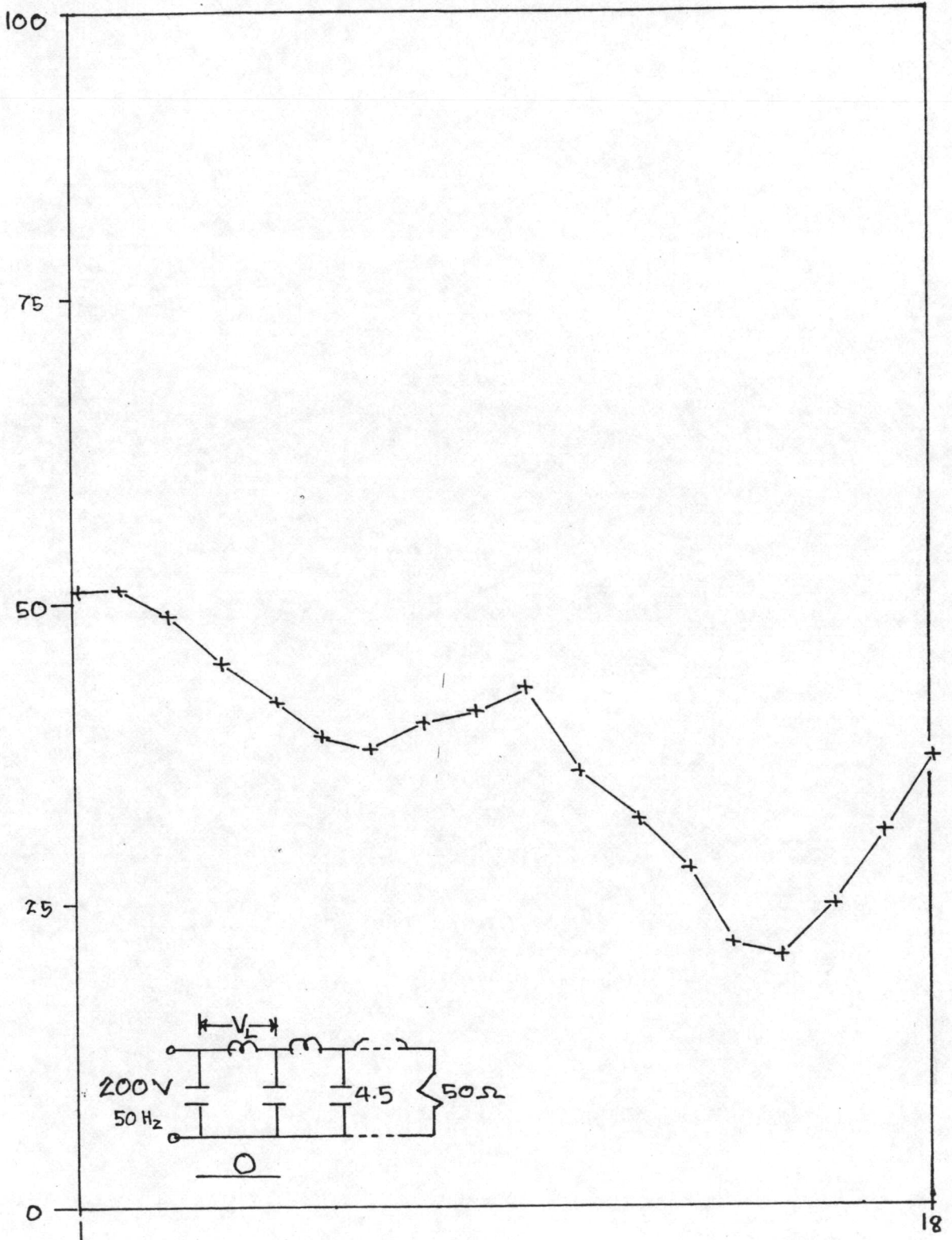
รูปที่ ๗-๔๓



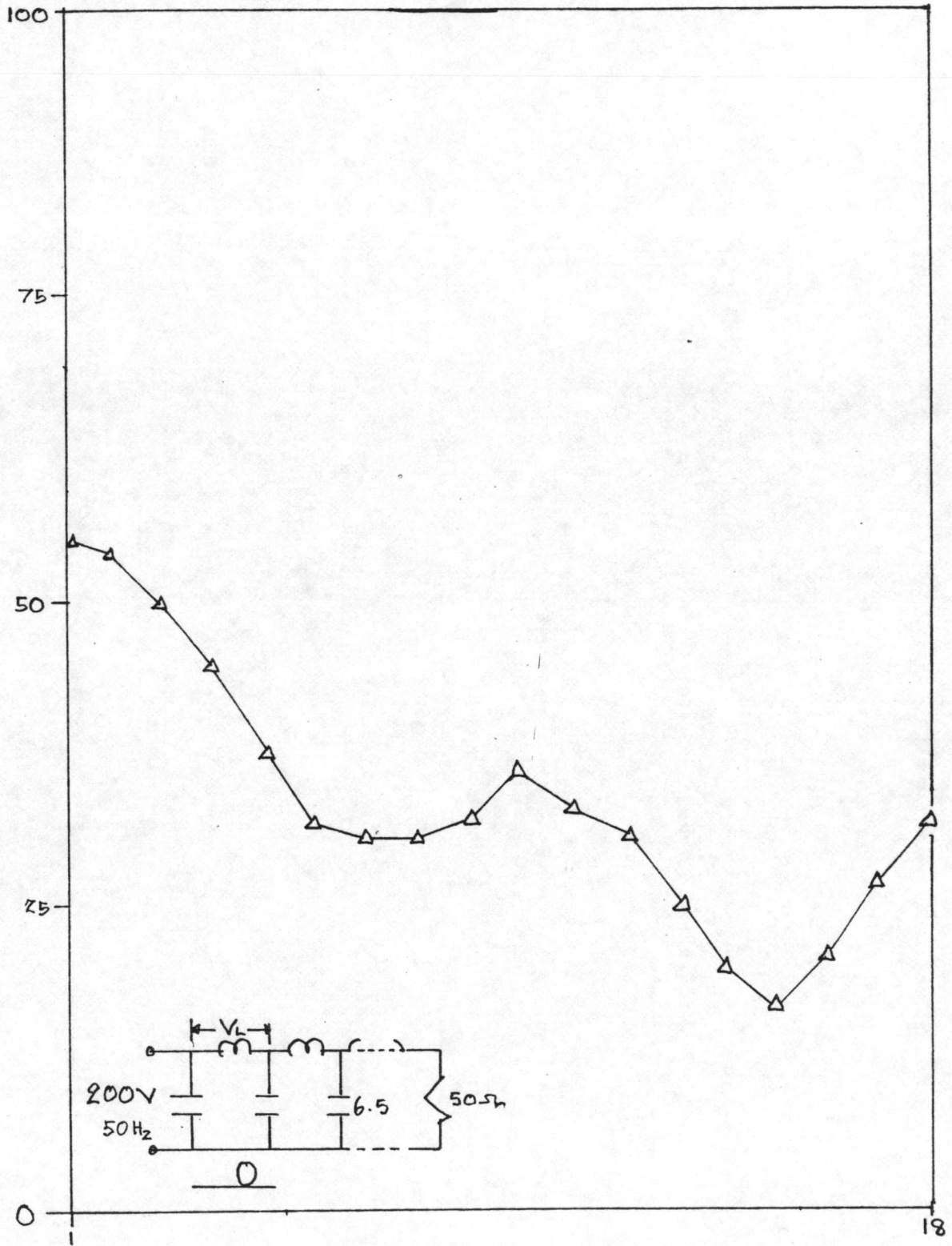
รูปที่ ๗-๔๔



รูปที่ 7-45



9-46



รูปที่ ๗-๔๗

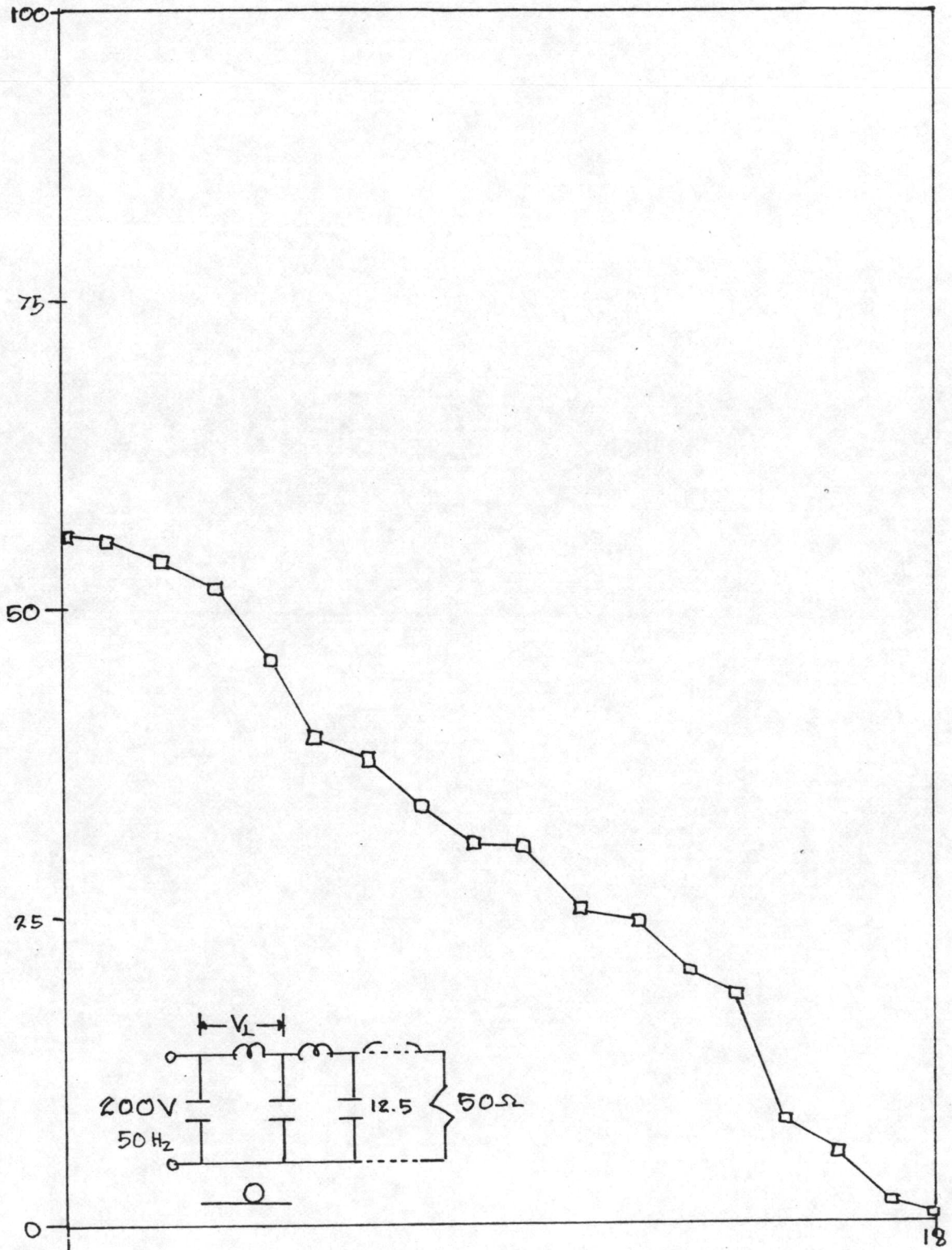


Figure 7-48

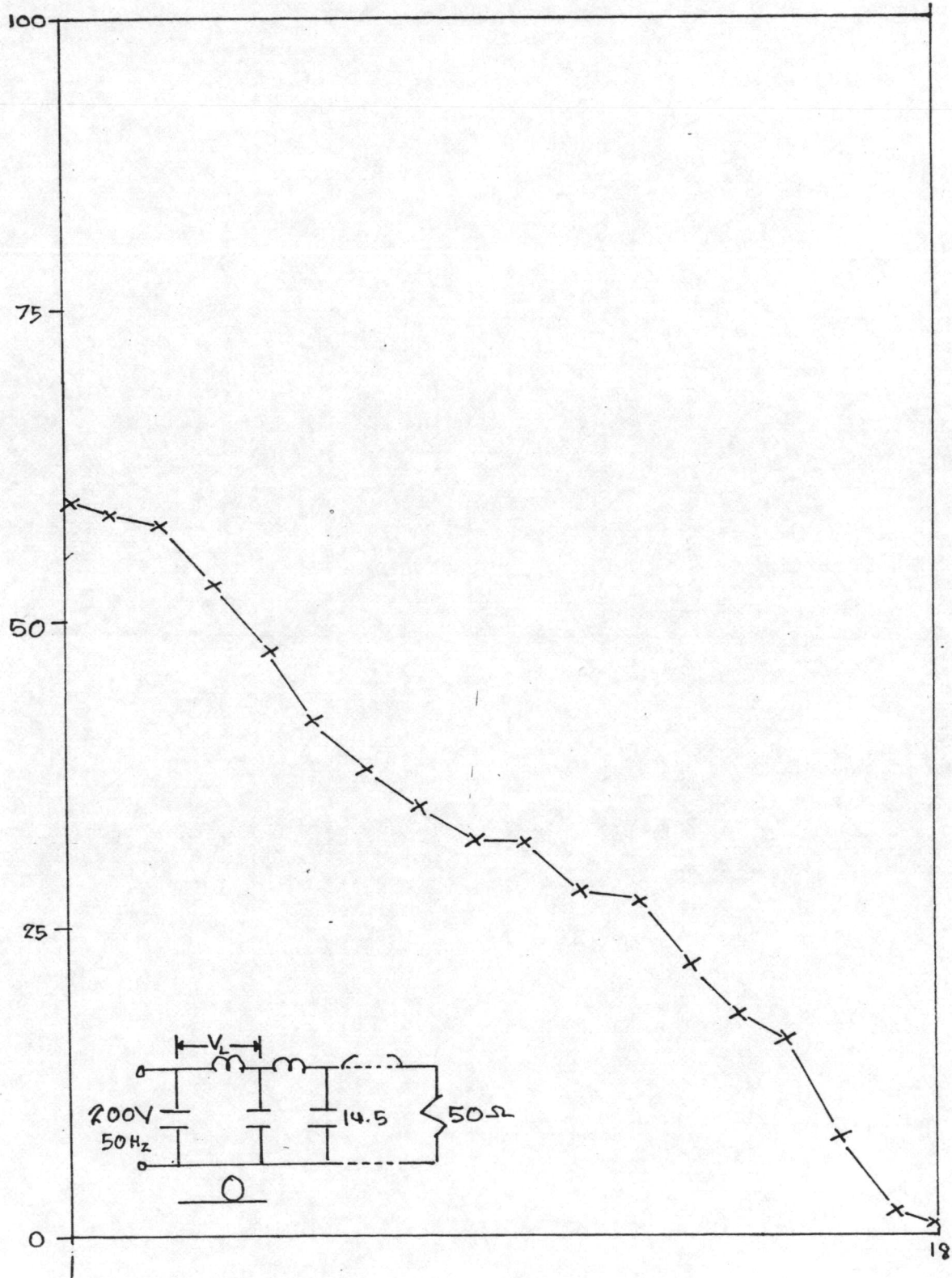
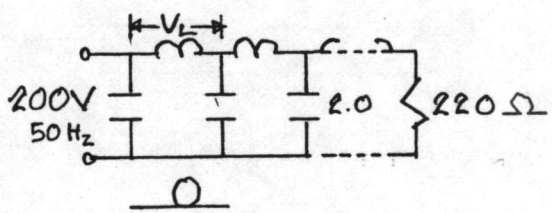
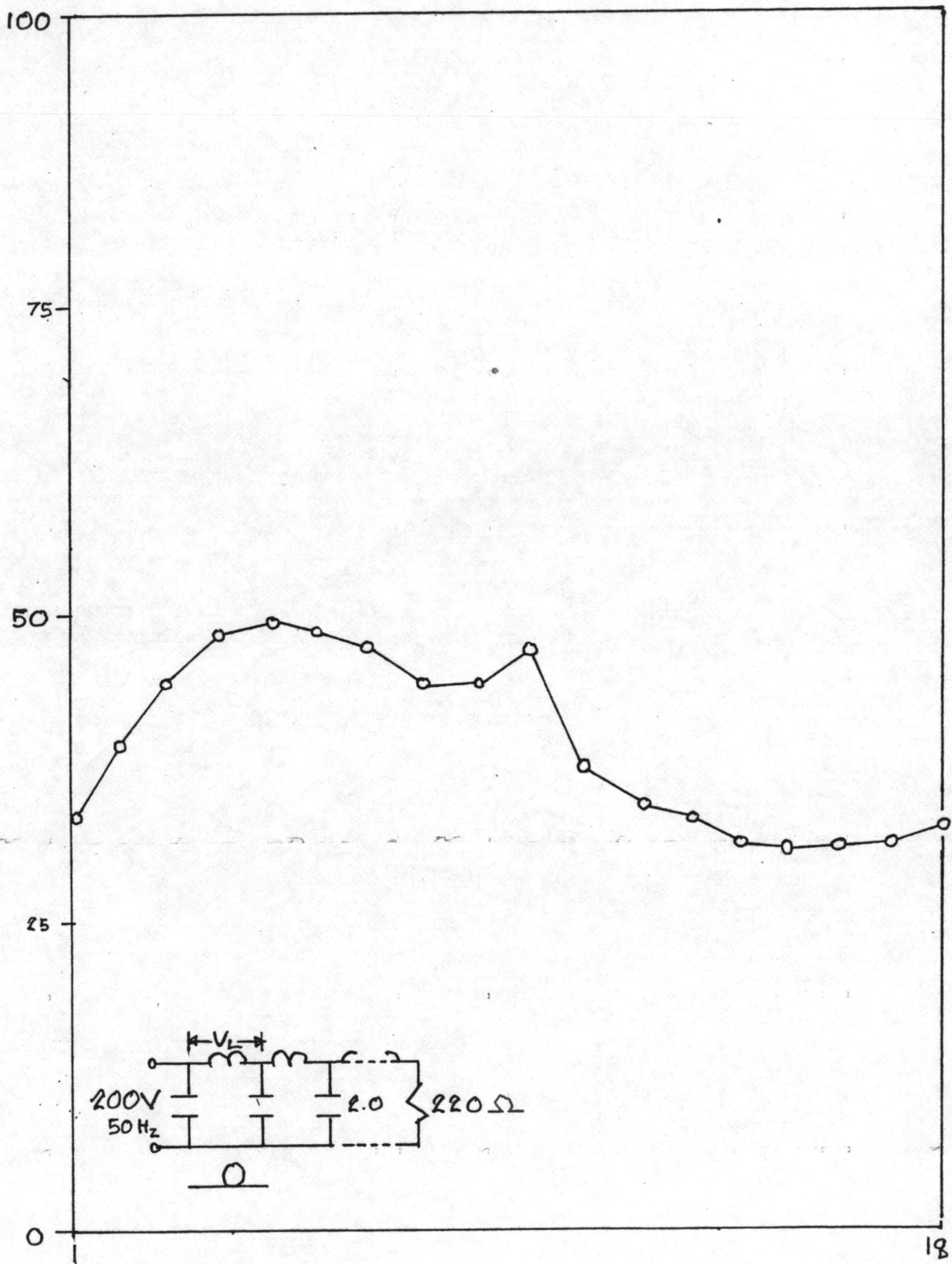
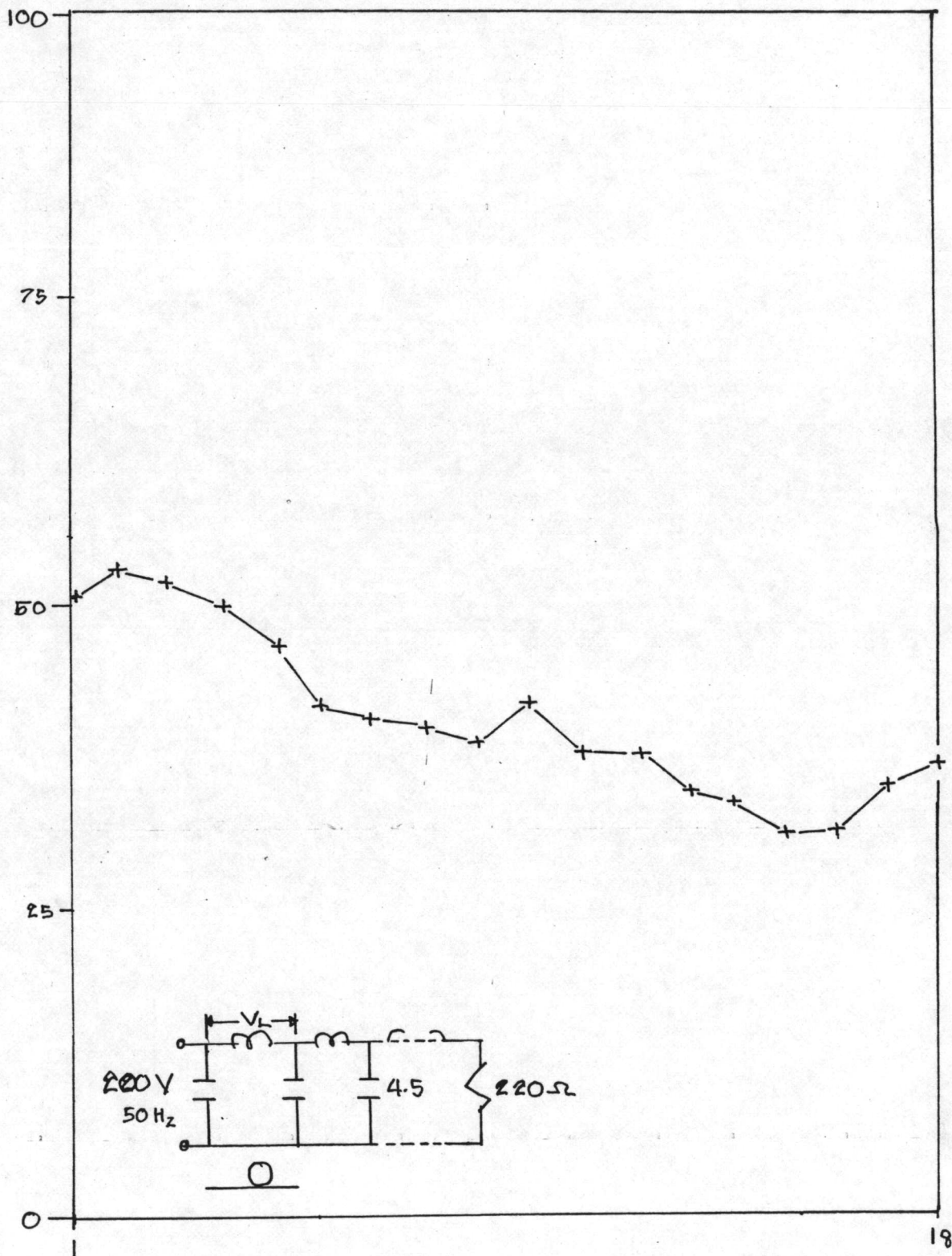


Figure 7-49

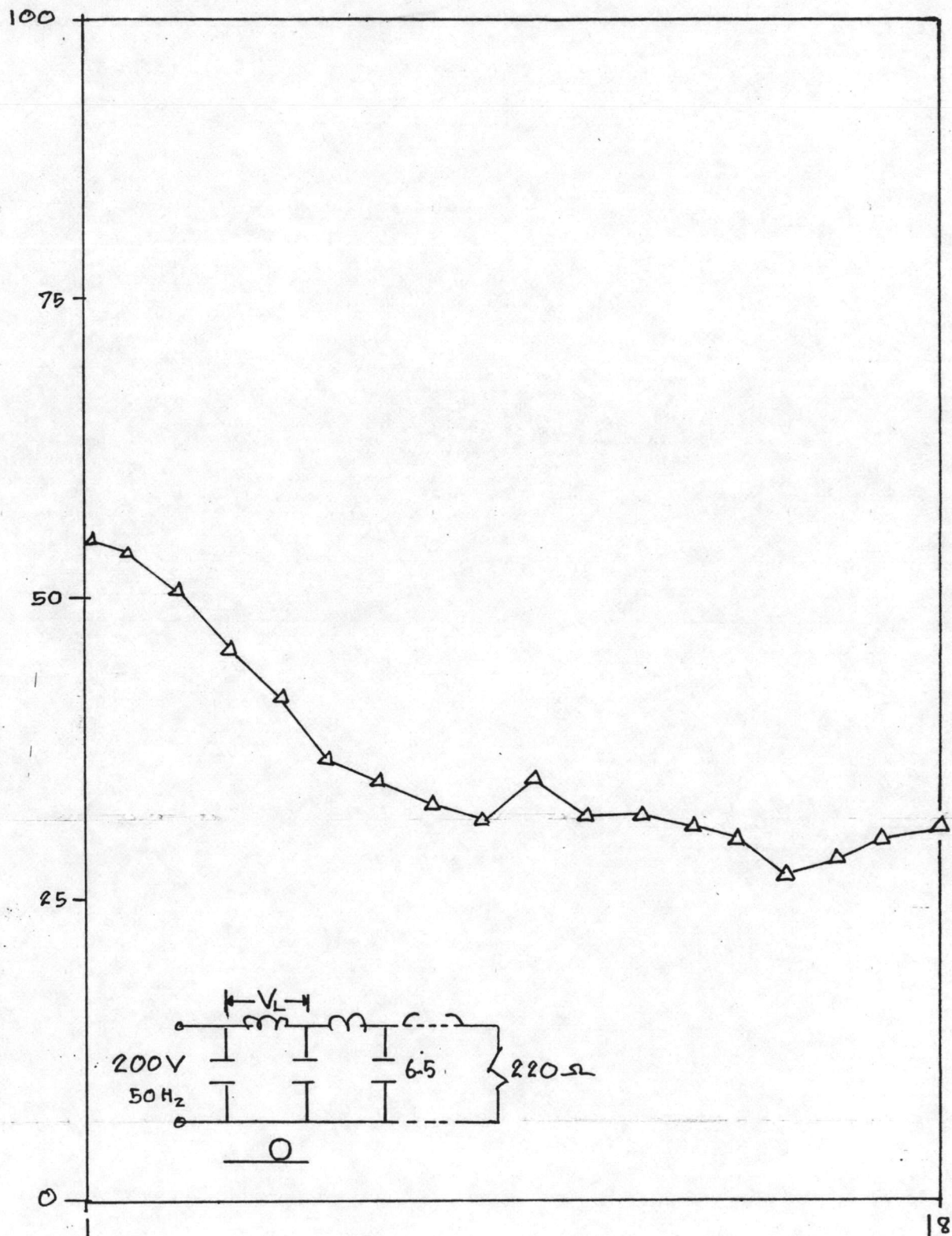


รูปที่ 7-50

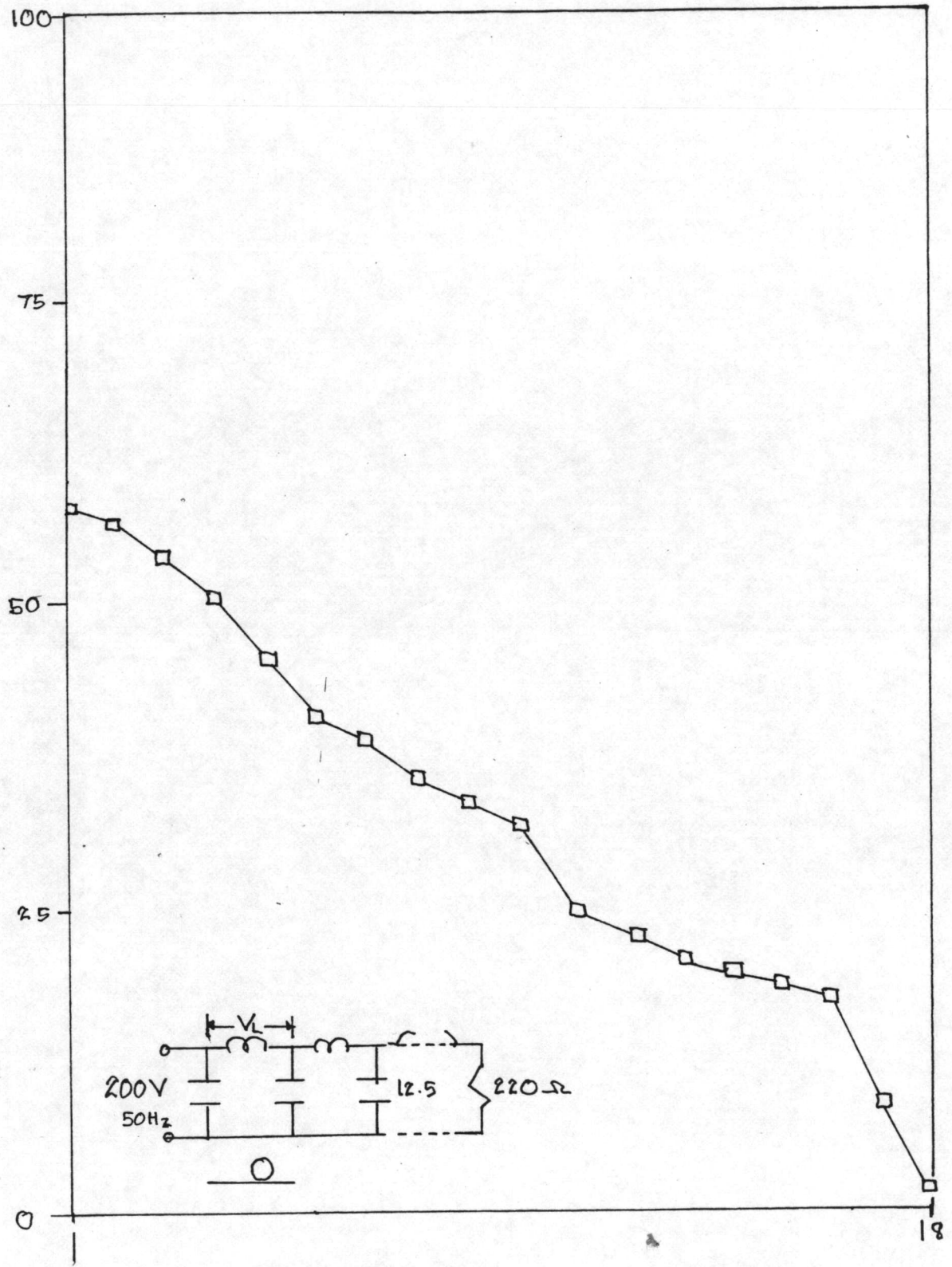




รูปที่ ๗-51



รูปที่ 9-52



รูปที่ ๗-53

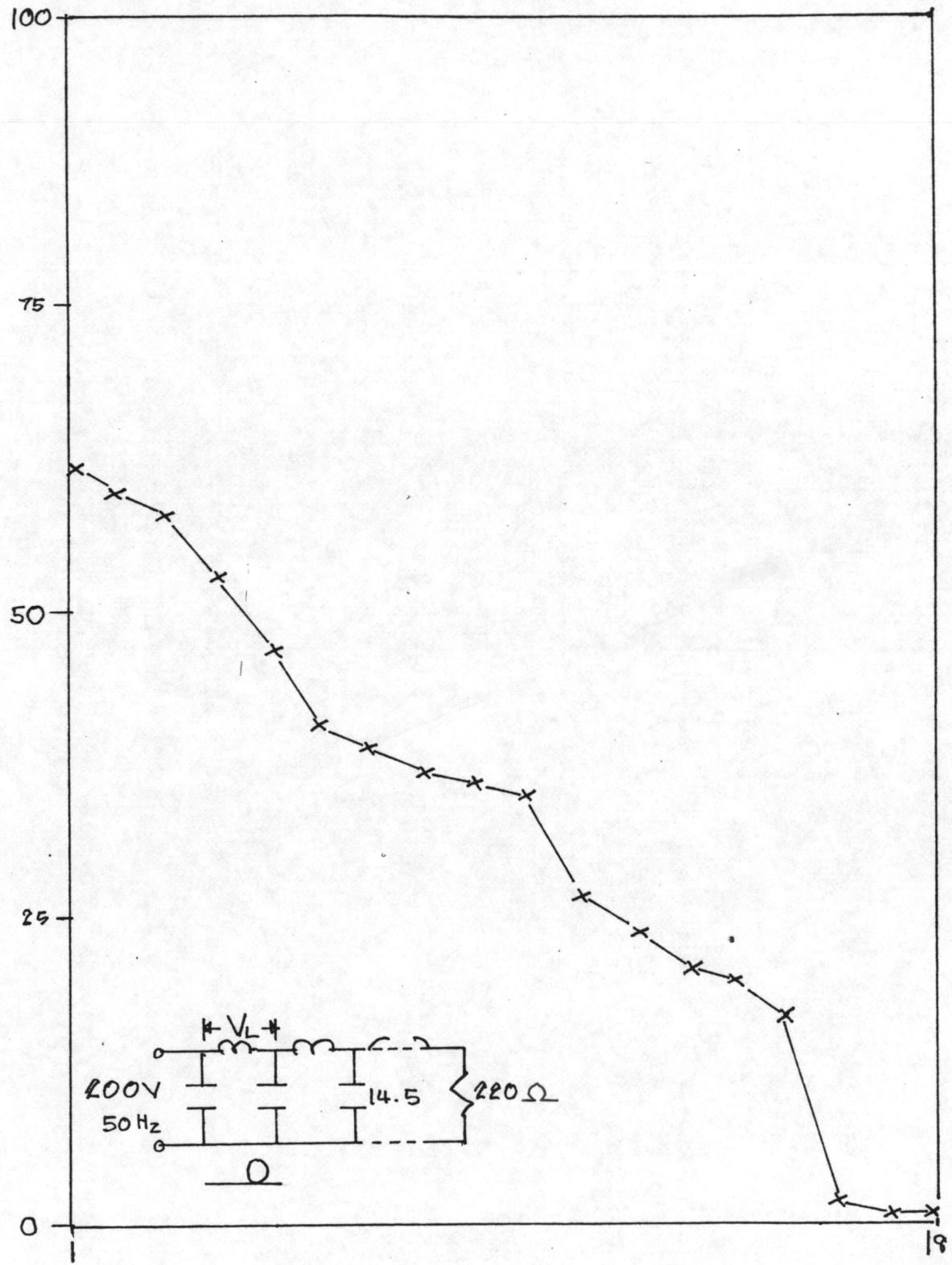


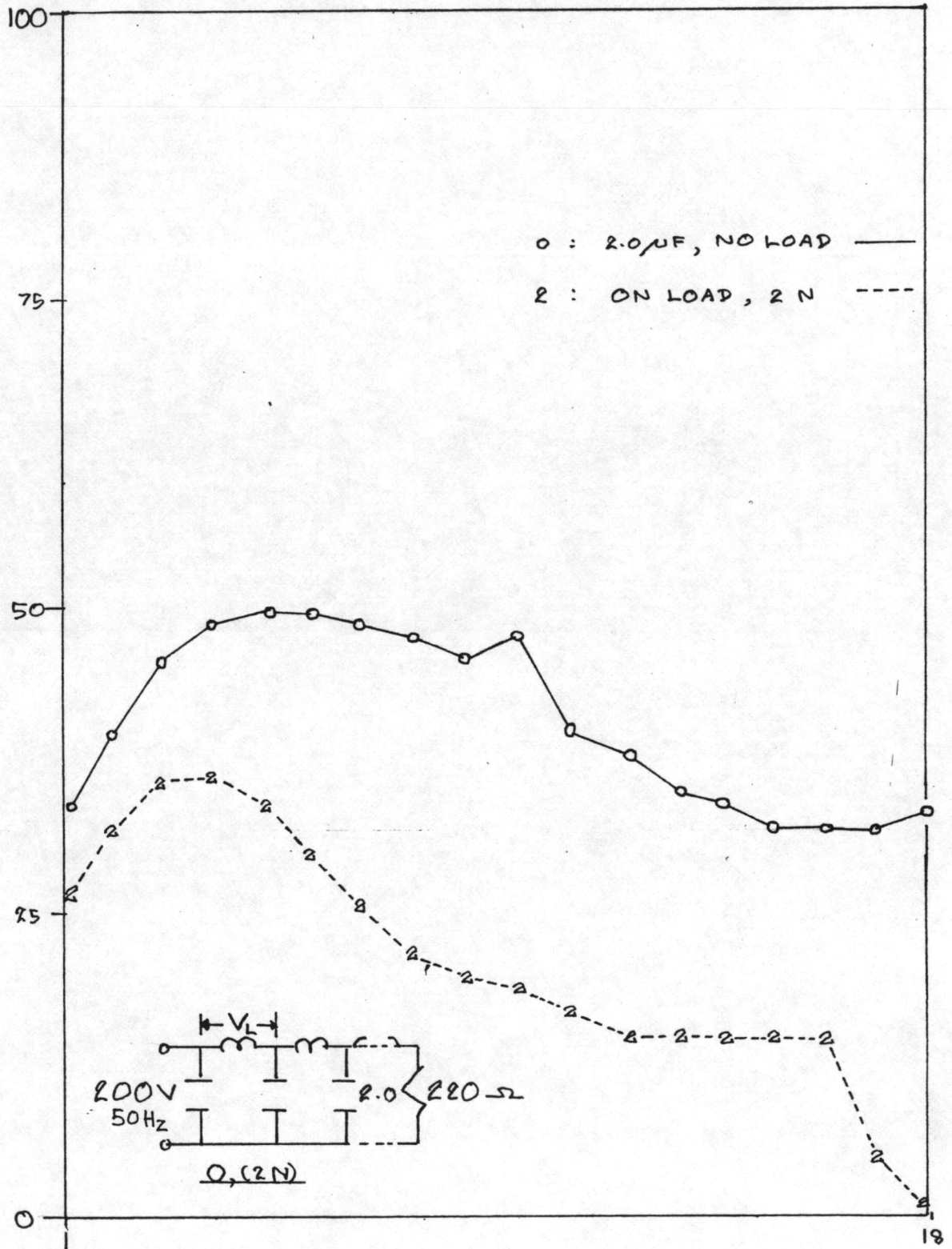
Figure 7-54

แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบการลดขนาดลงของคลื่นเคินทาง  
ในรูปของแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรปฐมภูมิ  
(ขณะไร้โหลด และ ขณะมีโหลด 2 N)

รูปที่ จ-55 ถึง รูปที่ จ-59

โดยกำหนดให้, แกนตั้ง: แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า, (โวลต์)

แกนนอน: แสดงลำดับชดลวดในวงจรปฐมภูมิ



รูปที่ ๗-๕๕

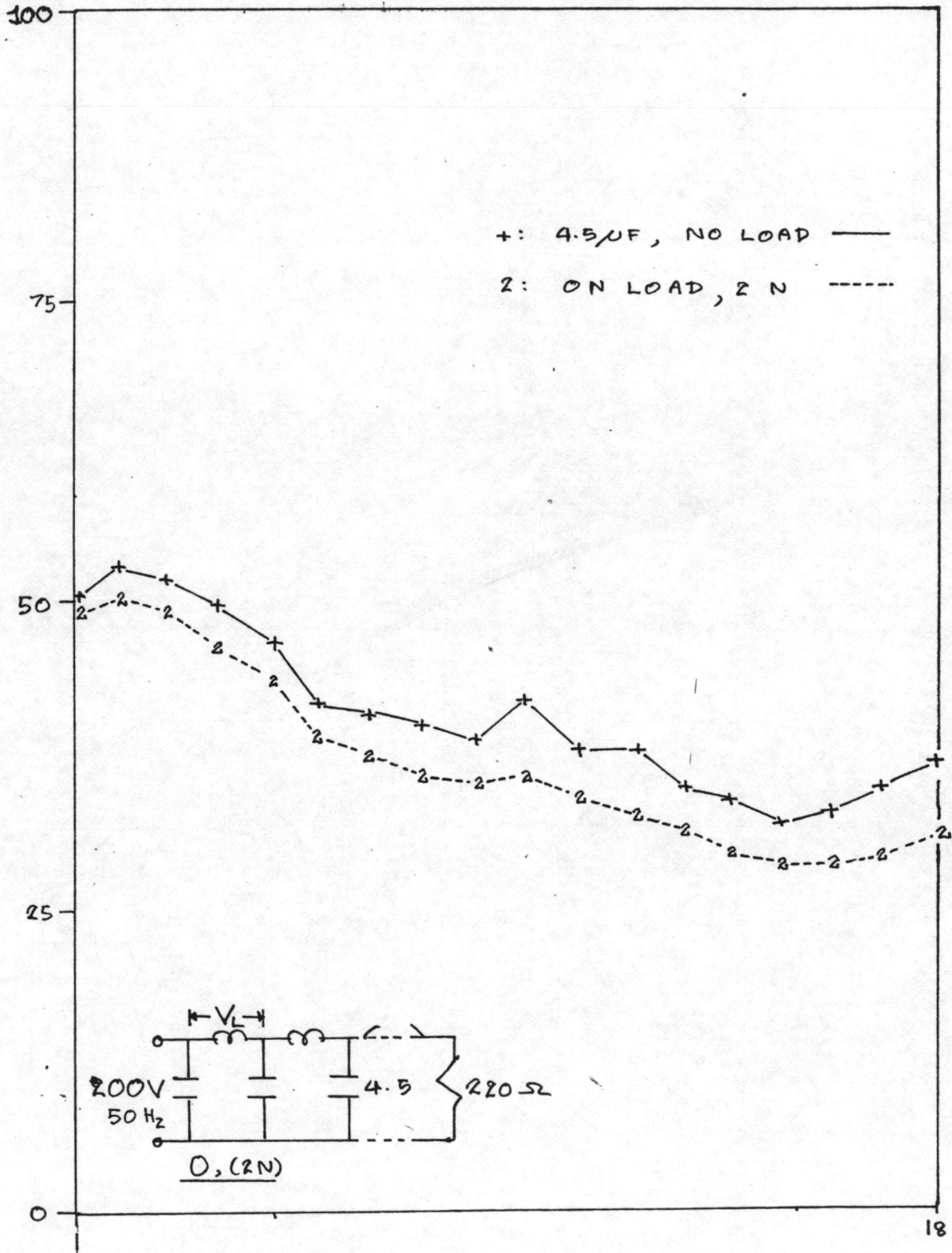
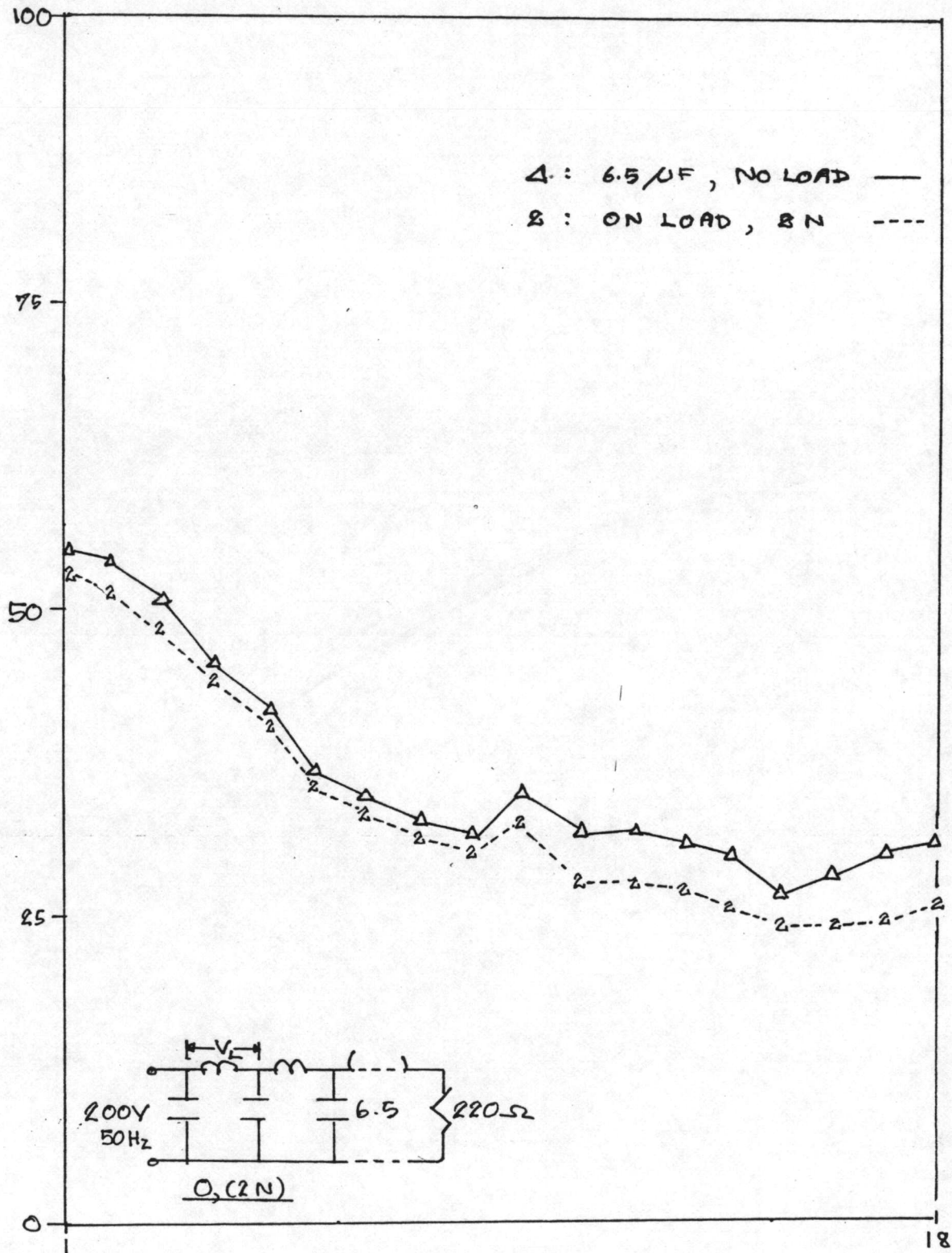
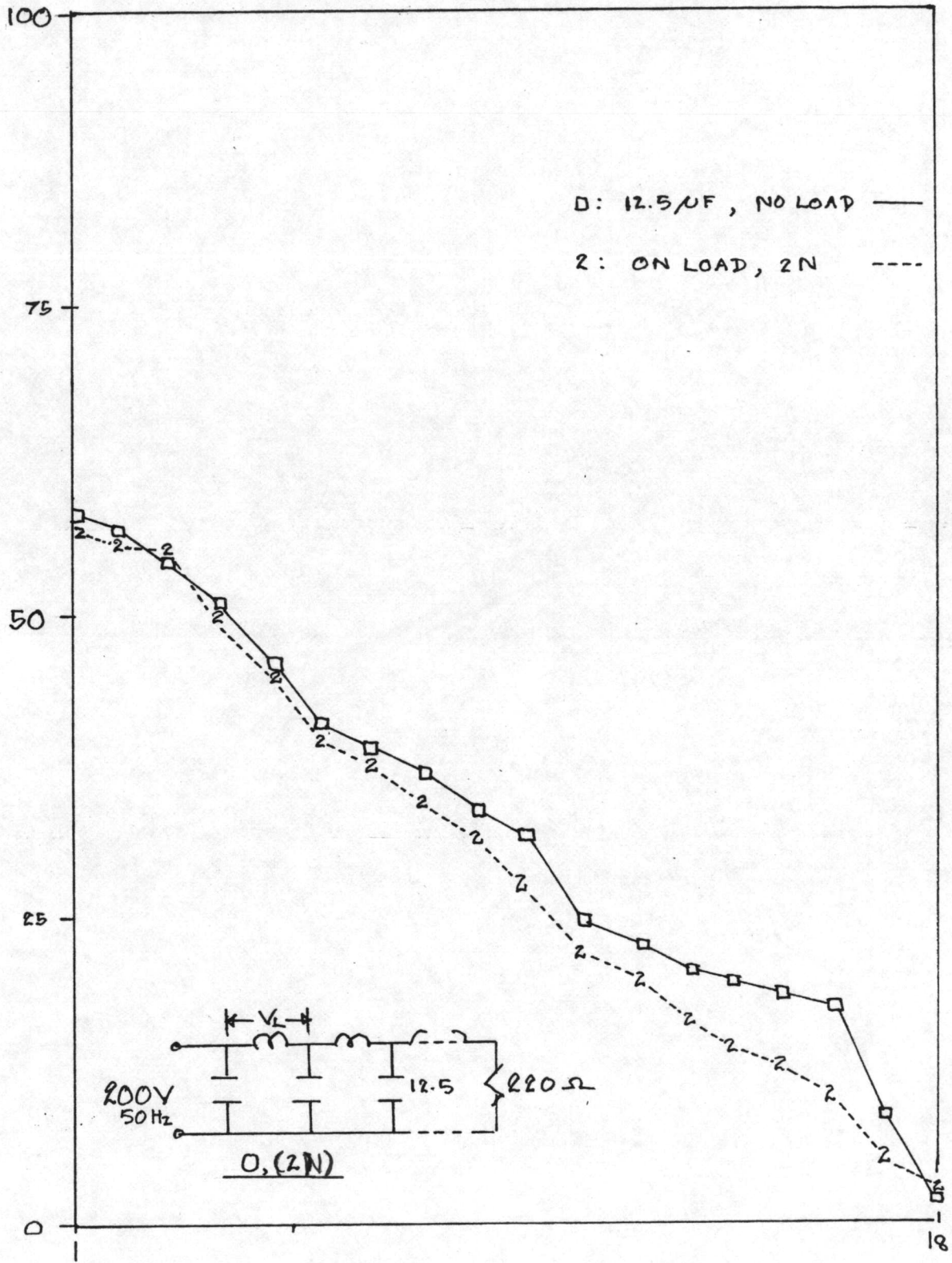


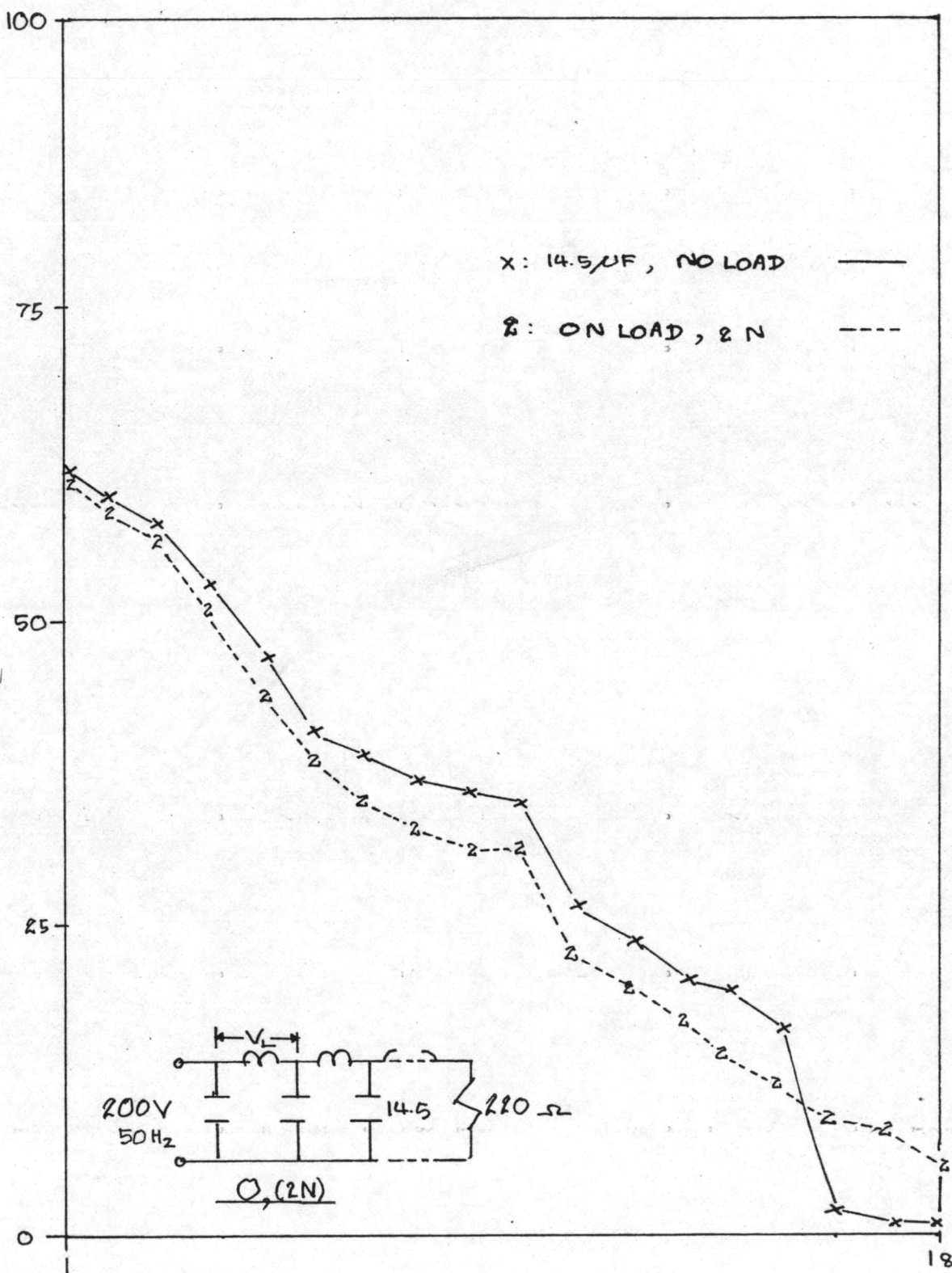
Figure 7-56







รูปที่ 7-58



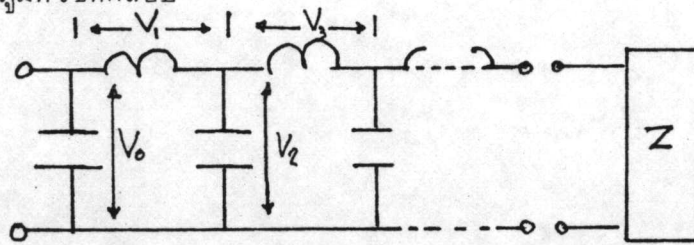
ภาคผนวก ฉ.

แสดงผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของคลื่นเดินทาง  
ในวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา  
เครื่องต้นแบบ

( ไฟป้อนเข้า 200 โวลต์, ความถี่ 50 เฮิรตซ์, คงที่ )

ภาคผนวก ฉ.

วงจรปฐมภูมิที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ ฉ-1 แสดงวงจรปฐมภูมิที่ใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง  
เฟสของคลื่นเดินทาง

ทำการทดสอบ 2 สภาวะ คือ,

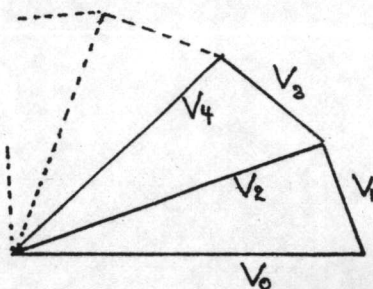
1. ทดสอบขณะที่มอเตอร์ขับเคลื่อนพาไรโพล
2. ทดสอบขณะที่มอเตอร์ขับเคลื่อนพามีโพล

เงื่อนไขที่ใช้ทดสอบ 4 เงื่อนไข คือ,

1. เปิดวงจรปฐมภูมิ
2. ลัดวงจรปฐมภูมิ
3. ต่อปลายวงจรปฐมภูมิต้าย,  $Z = 50 \Omega$

4. คอปลายวงจรปฐมภูมิด้วย,  $Z = 220 \text{ } \Omega$

สัญญา: ลักษณะที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของคลื่นเดินทาง



รูปที่ ๓-2 แสดงเวกเตอร์ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของคลื่นเดินทาง

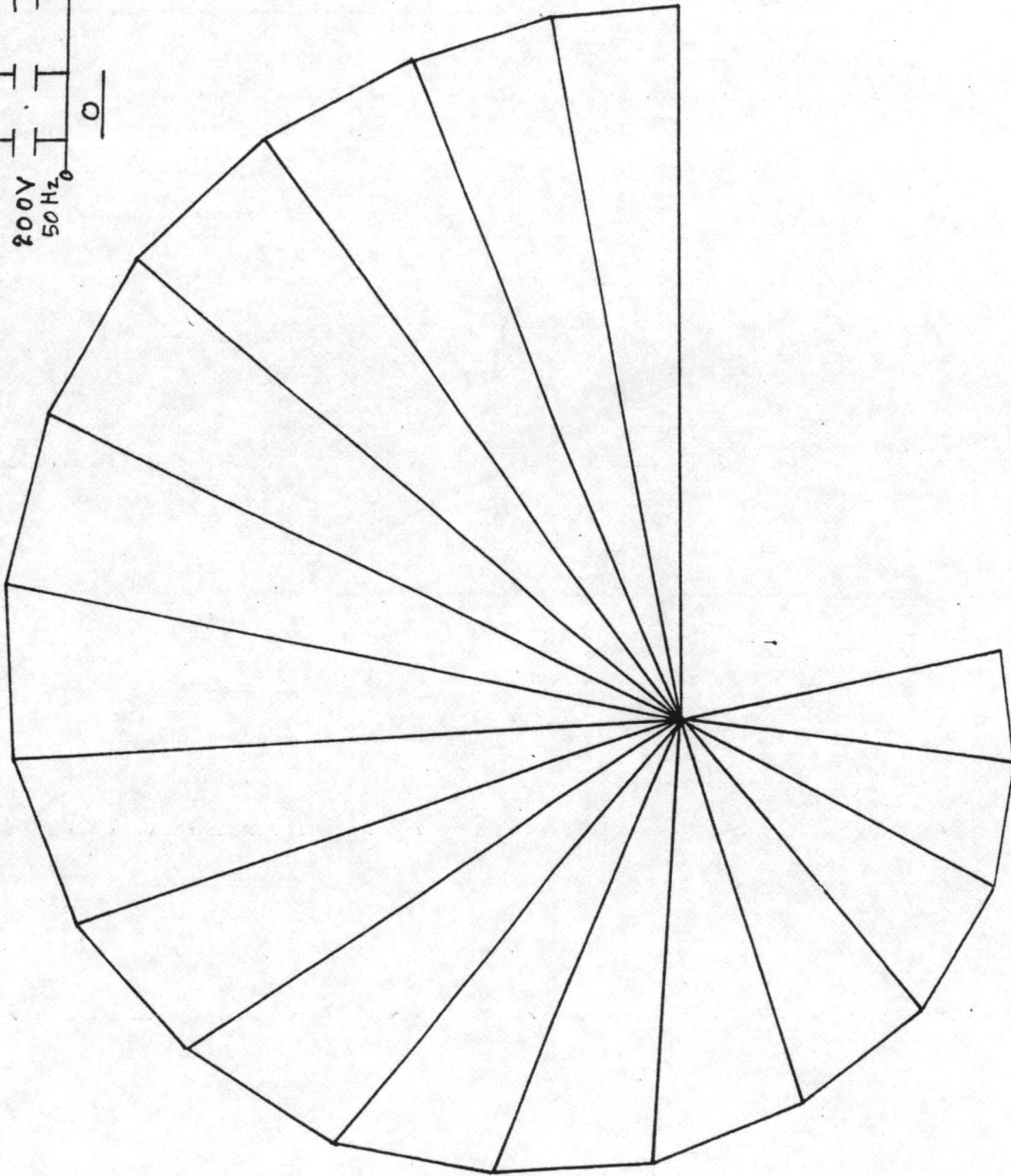
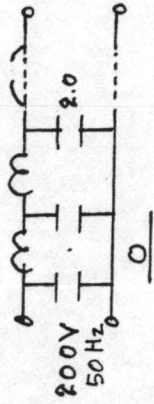
$V_0, V_2, \dots, V_{24}$ : แรงดันไฟฟ้า ครอบคลุมลวดชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 18 ตามลำดับ

$V_1, V_3, \dots, V_{35}$ : แรงดันไฟฟ้า ครอบคลุมตัวเก็บประจุไฟฟ้าตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 18 ตามลำดับ

แสดงผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของคลื่นเคลื่อนที่ในวงจร  
ปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดค้ำน้ำเครื่องต้นแบบ  
(ขณะไร้อโหลด)

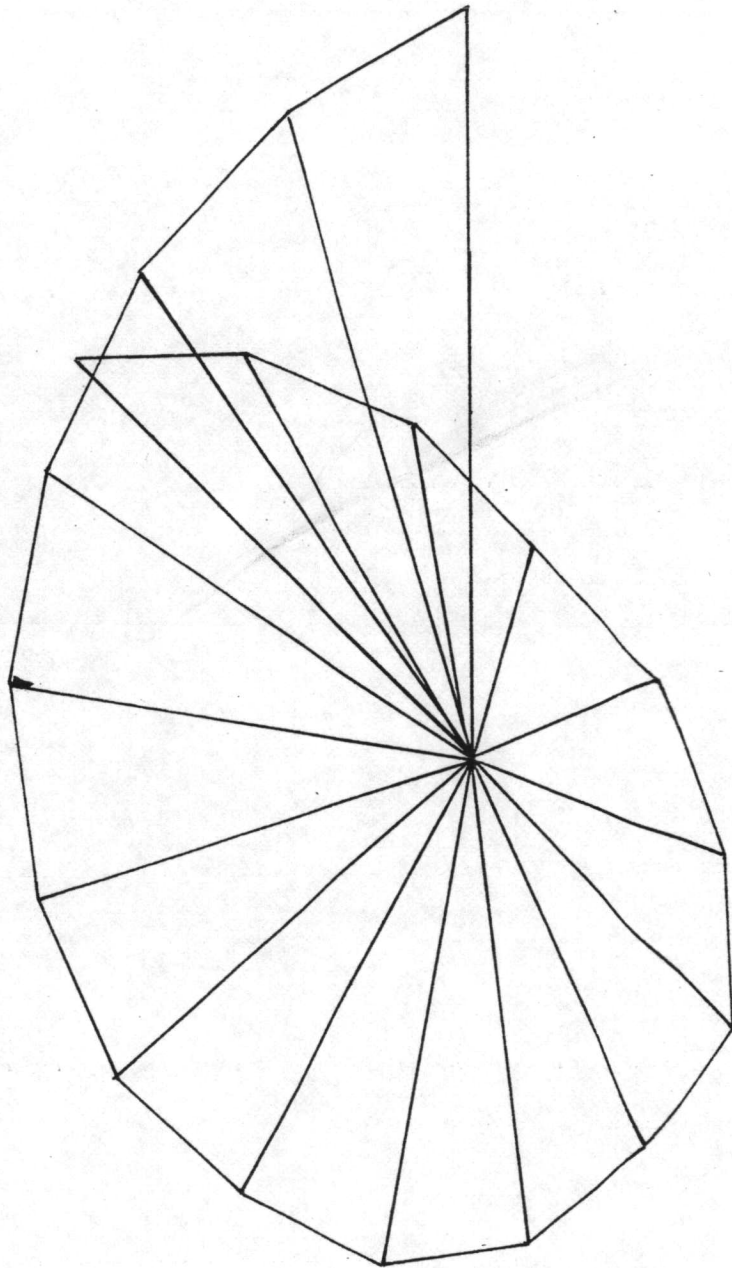
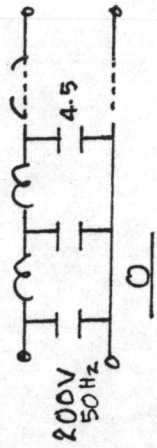
รูปที่ ฉ-3 ถึง รูปที่ ฉ-22

(ใน 4 -เงื่อนไข, โดยใช้เวลาความจุไฟฟ้า 5-ค่า)



รูปที่ ๓-3

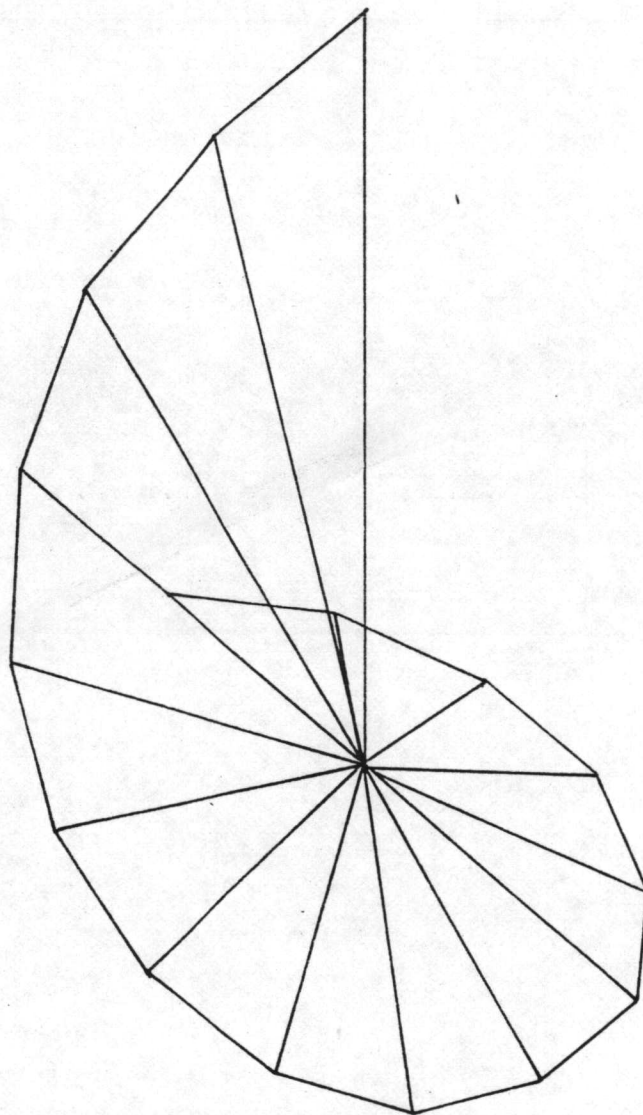
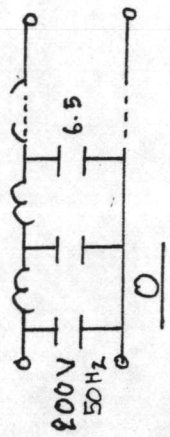
$\beta = 16.64$  องศา



รูปที่ น-4

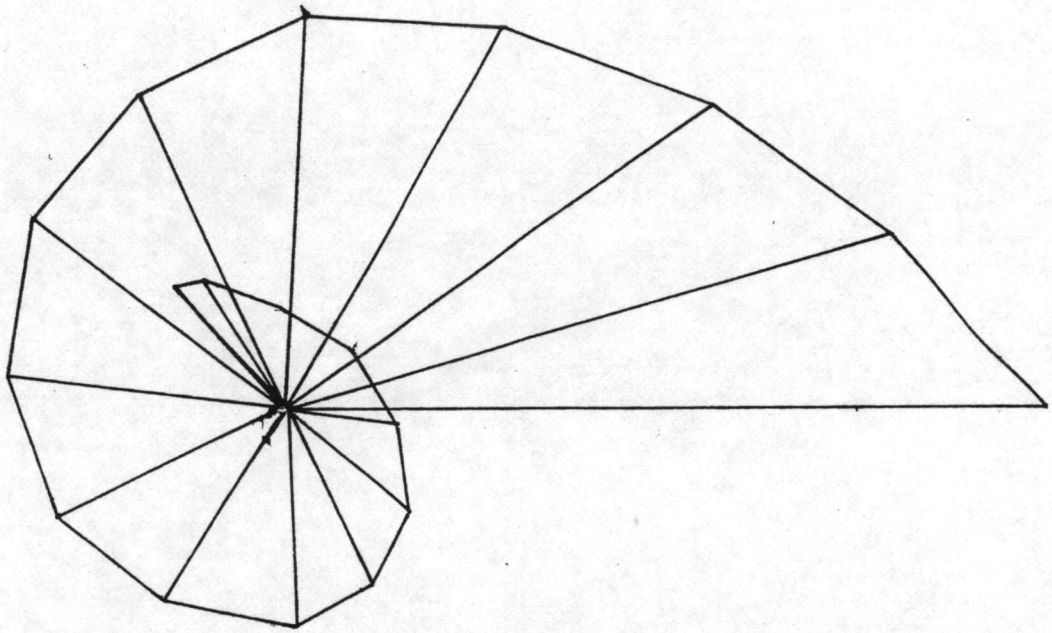
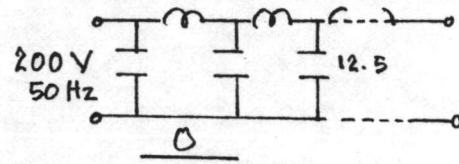
$\theta = 23.70$  องศา





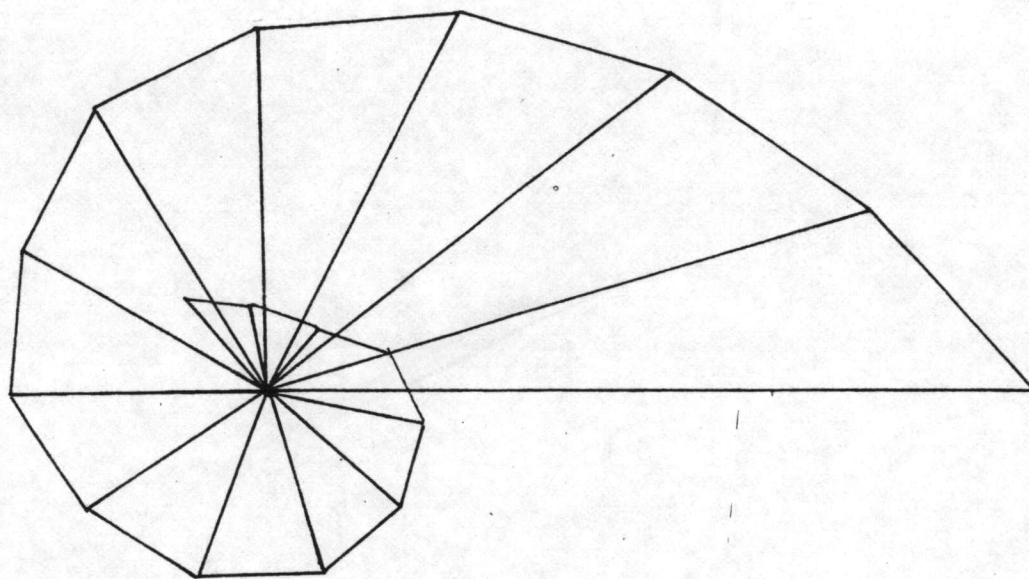
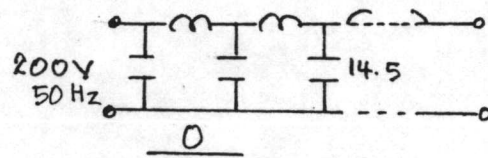
รูปที่ ๓-5

$\beta = 26.86^\circ$  องศา



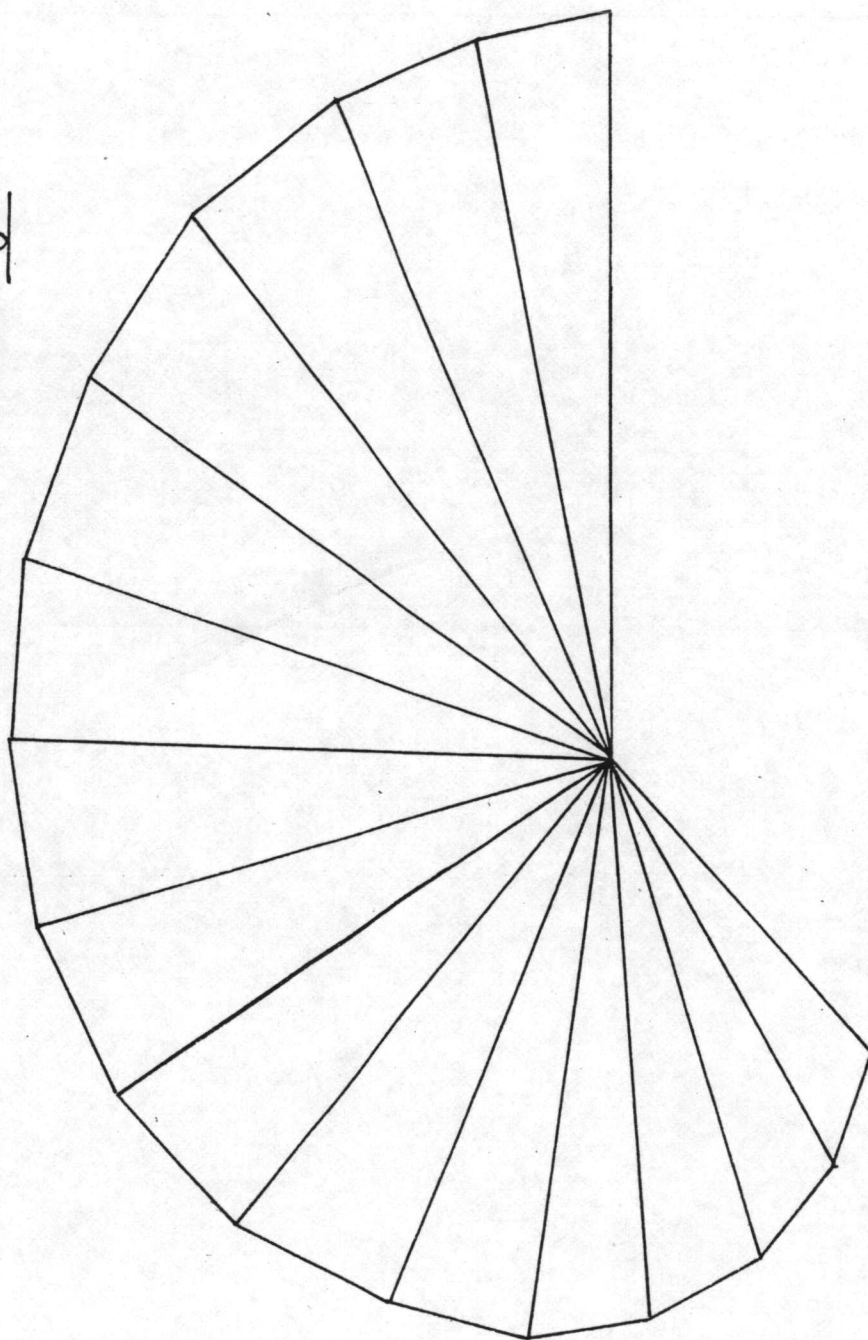
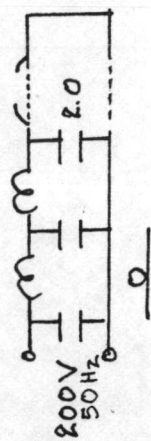
รูปที่ ๓-6

$\beta = 29.11$  องศา



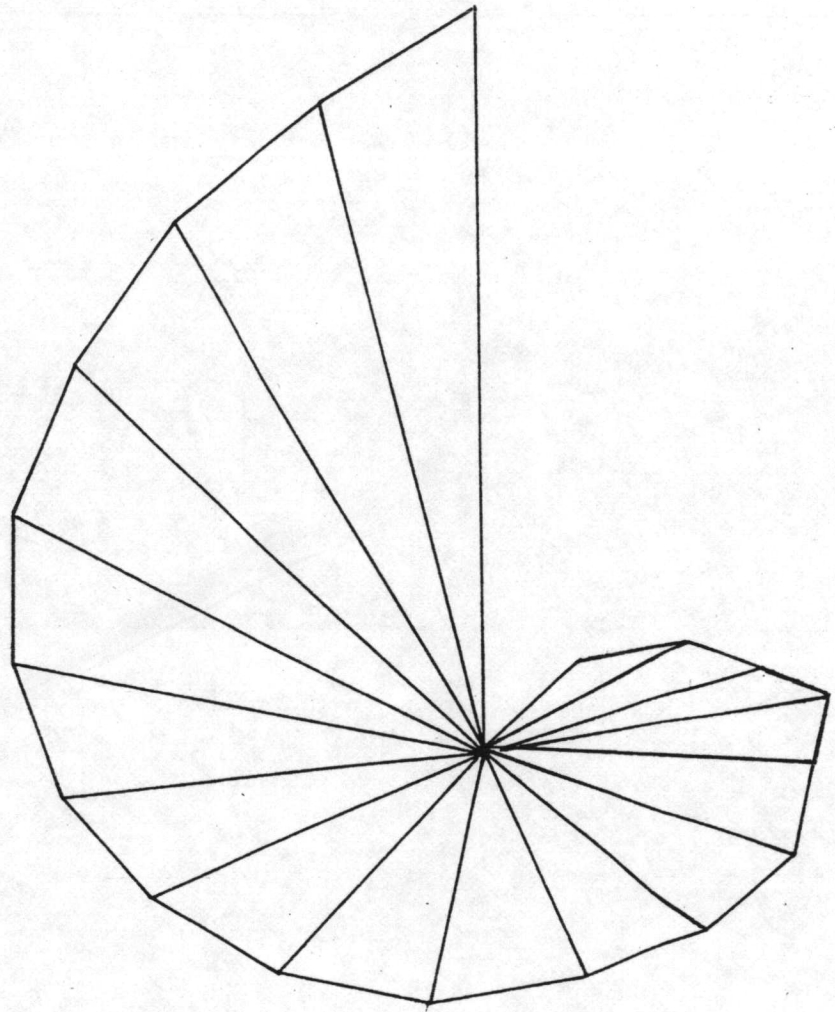
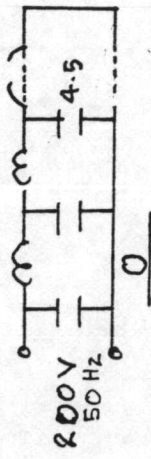
รูปที่ ๑-7

$$\beta = 30.87 \text{ องศา}$$



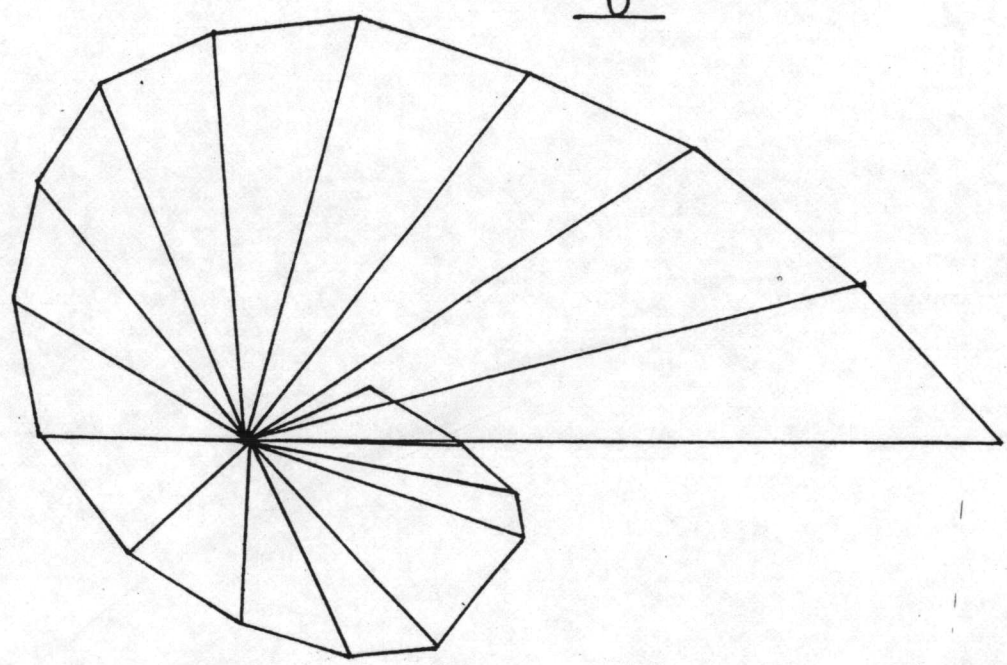
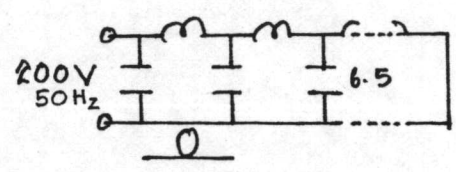
รูปที่ ๘-8

$\theta = 16.00$  องศา



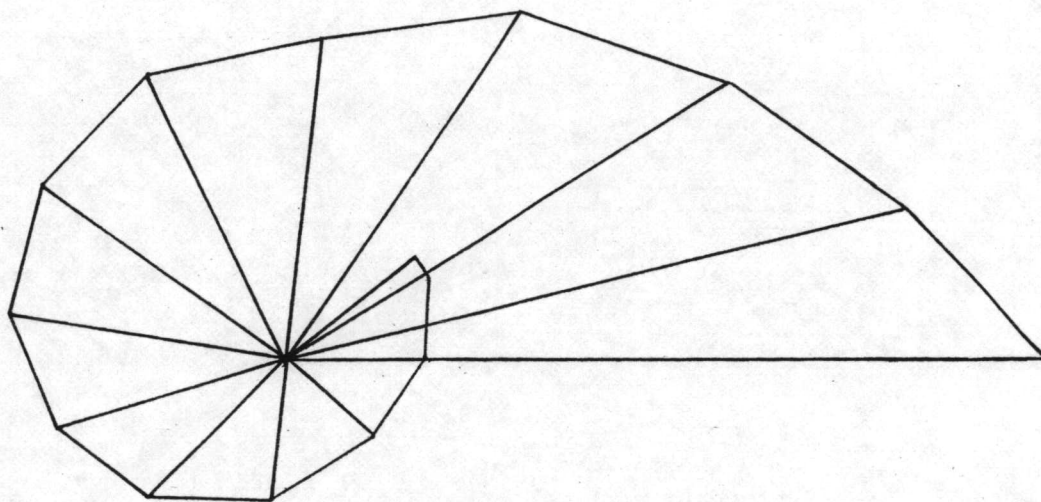
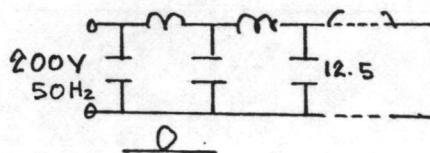
รูปที่ น-9

$$\beta = 18.47 \text{ องศา}$$



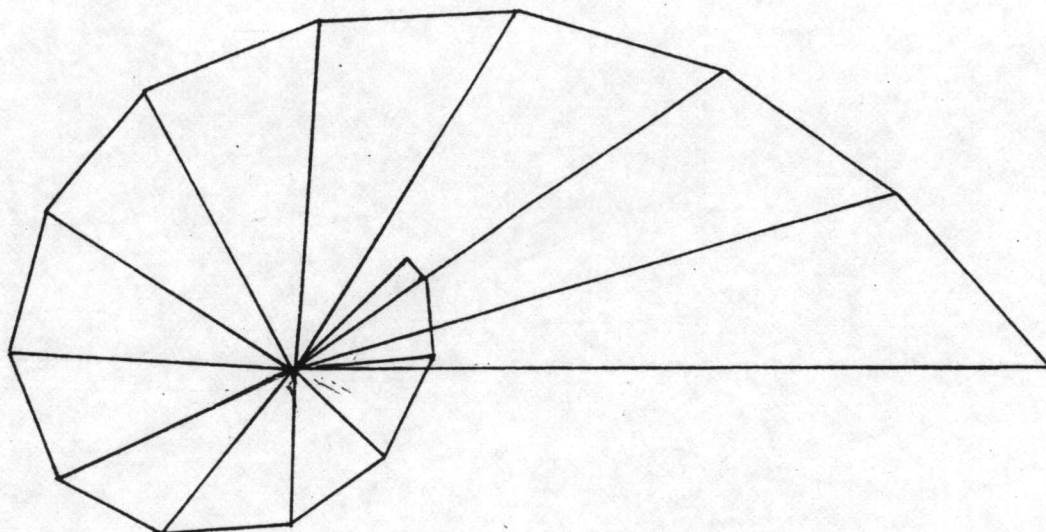
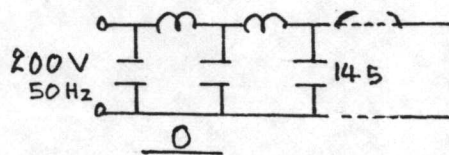
รูปที่ น-10

$$\beta = 22.53 \text{ องศา}$$



$\beta = 28.42$  องศา

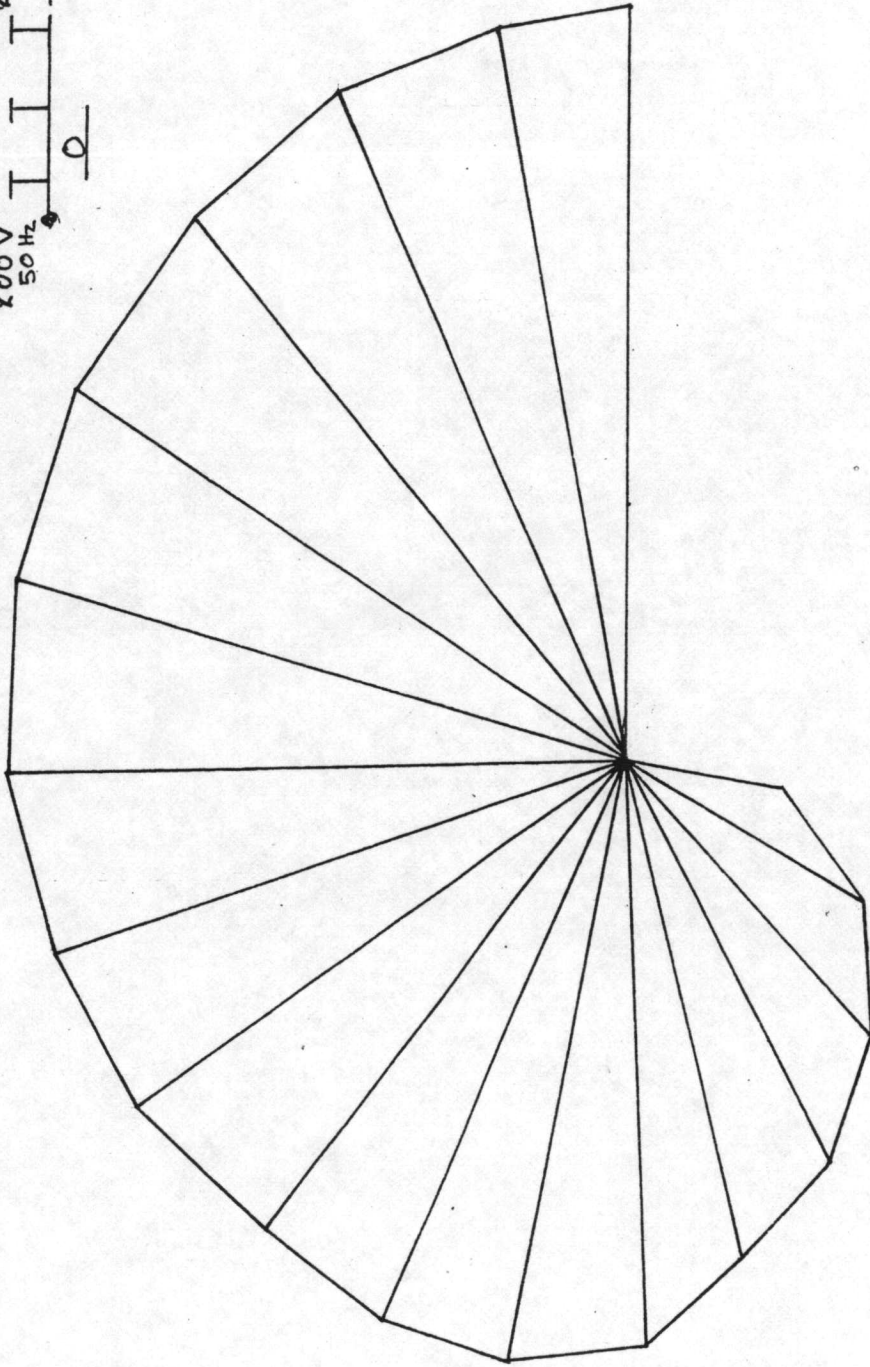
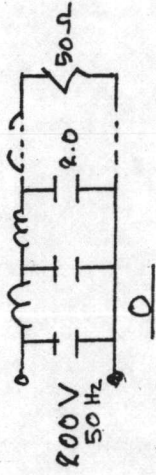
รูปที่ ฉ-11



$\theta = 28.78$  องศา

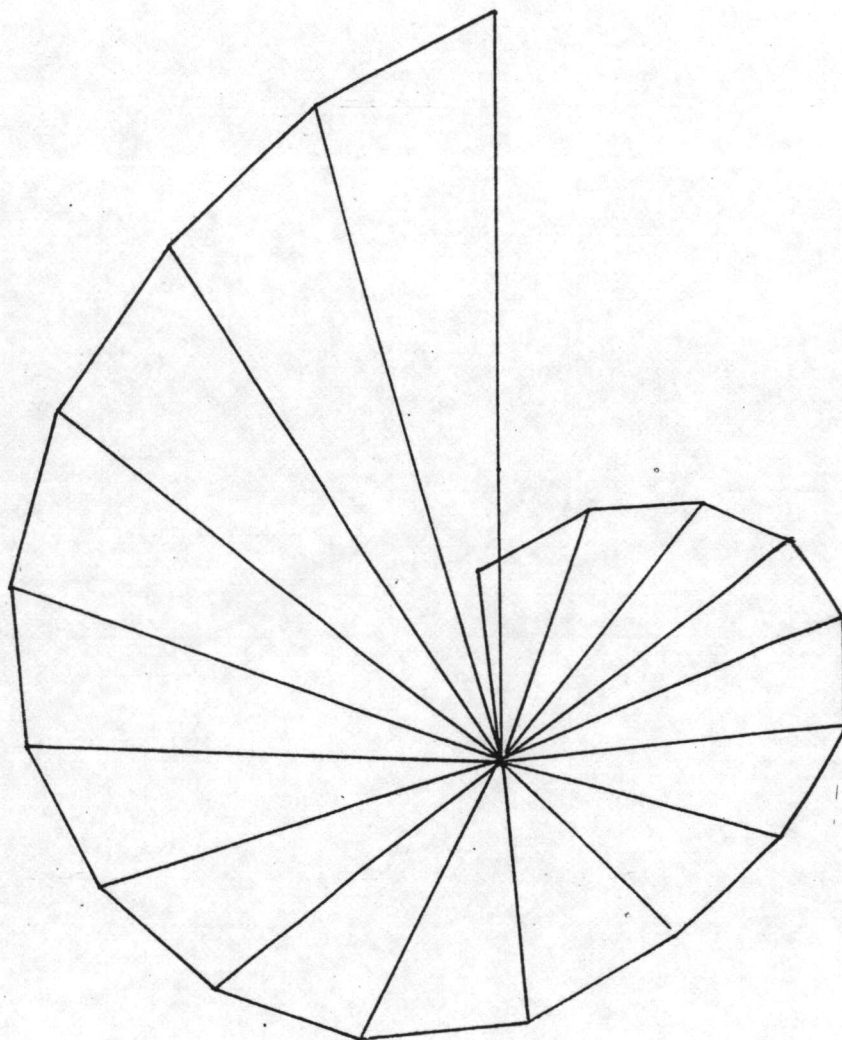
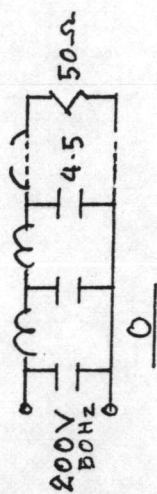
รูปที่ น-12





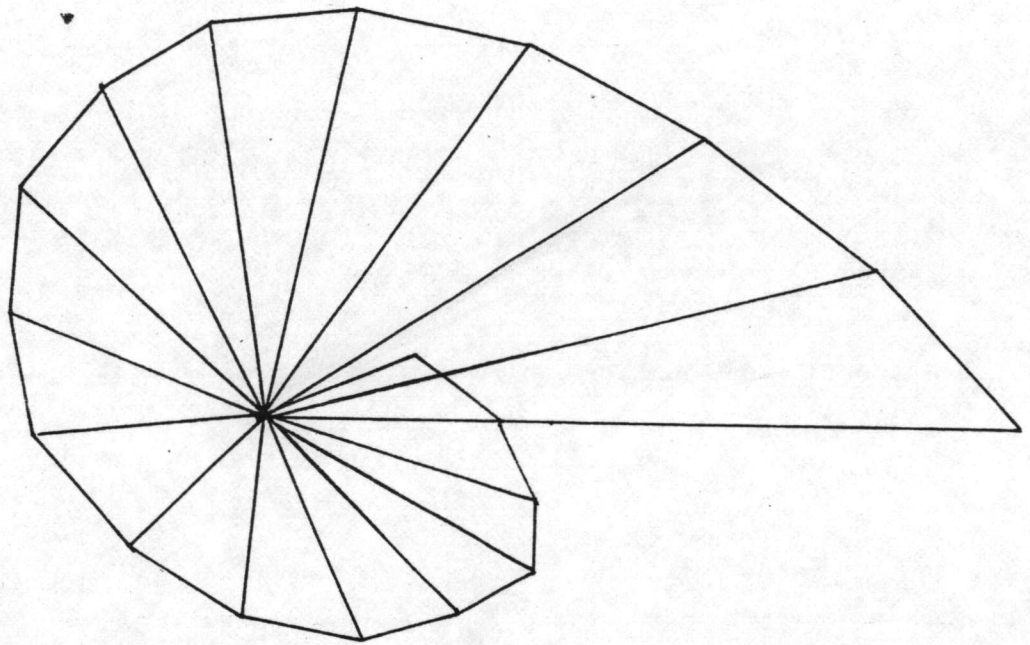
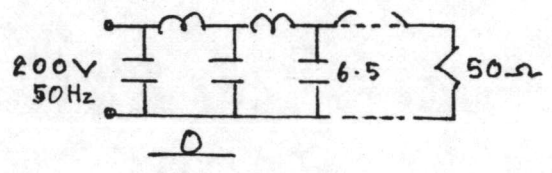
รูปที่ ๑-13

$$\beta = 15.29 \text{ องศา}$$



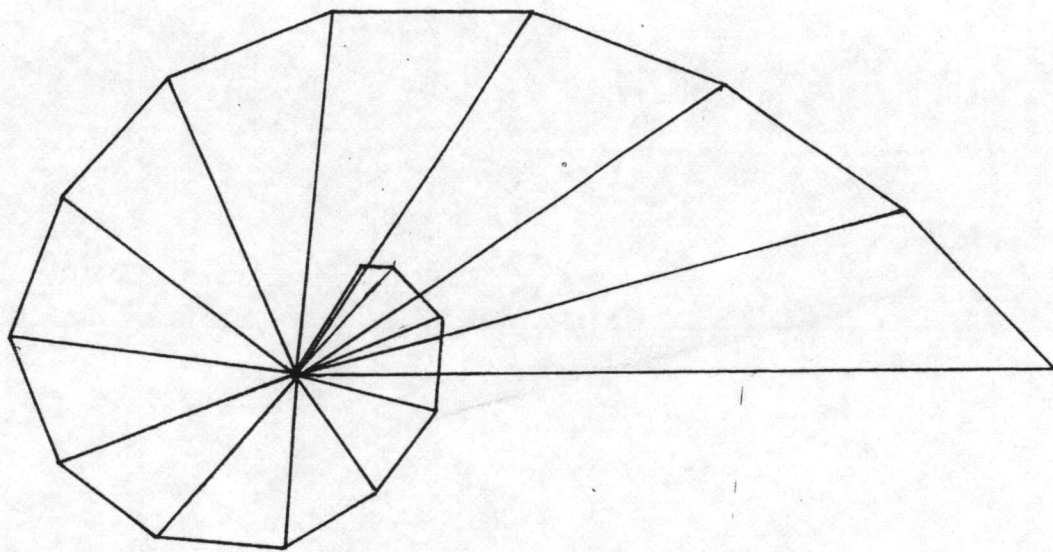
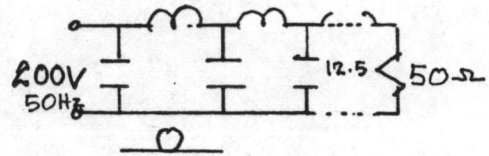
$$\phi = 21.47 \text{ องศา}$$

รูปที่ น-14



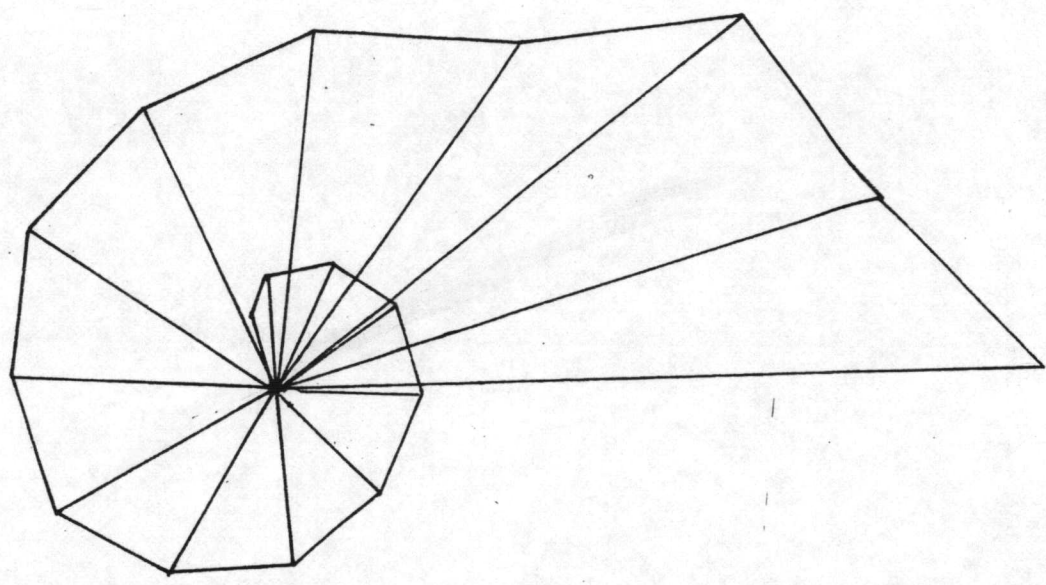
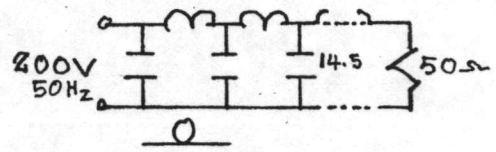
รูปที่ ๑-15

$\beta = 22.41$  องศา



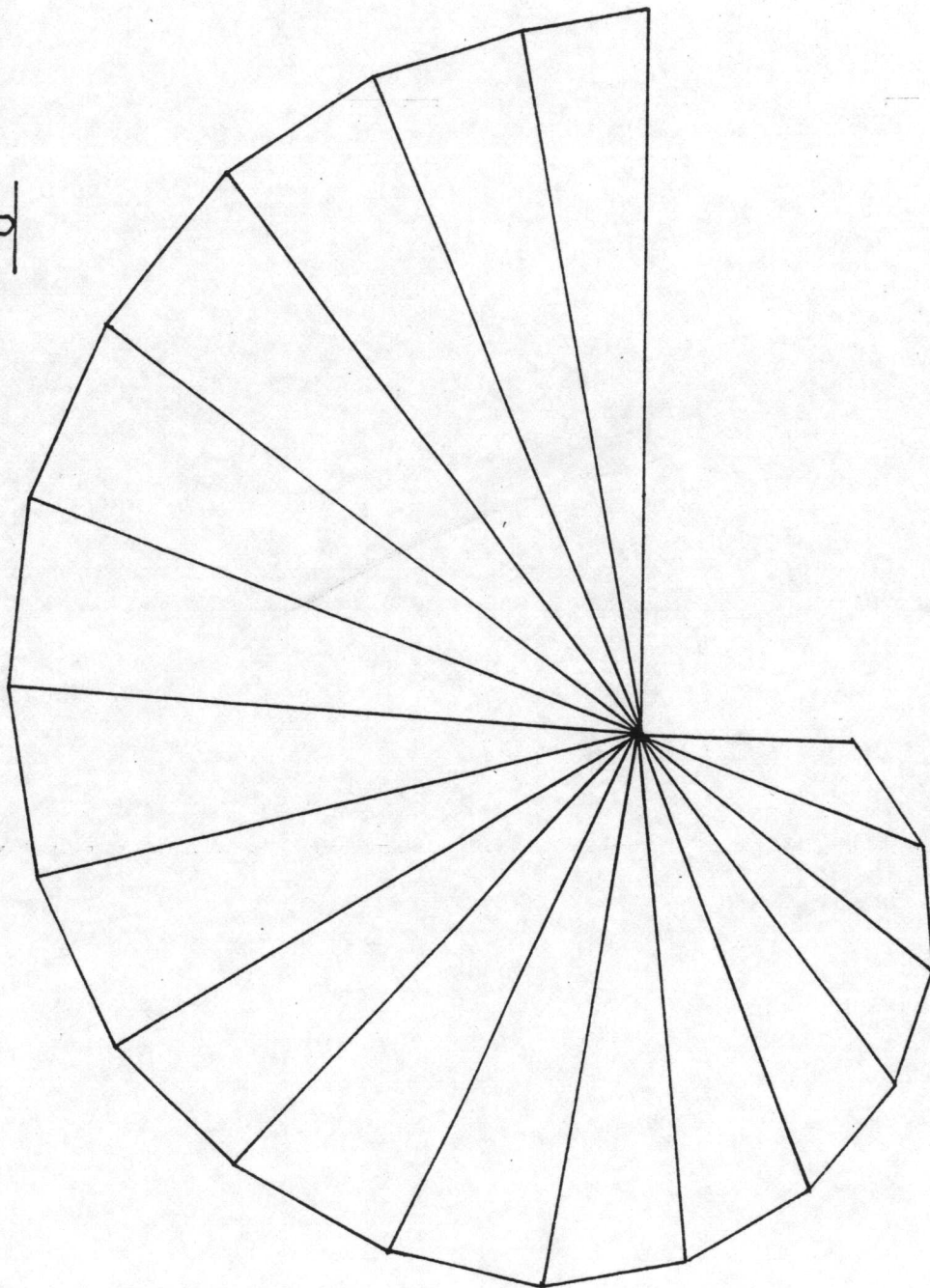
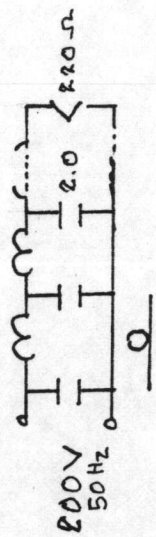
รูปที่ น-16

$$\beta = 27.80 \text{ องศา}$$



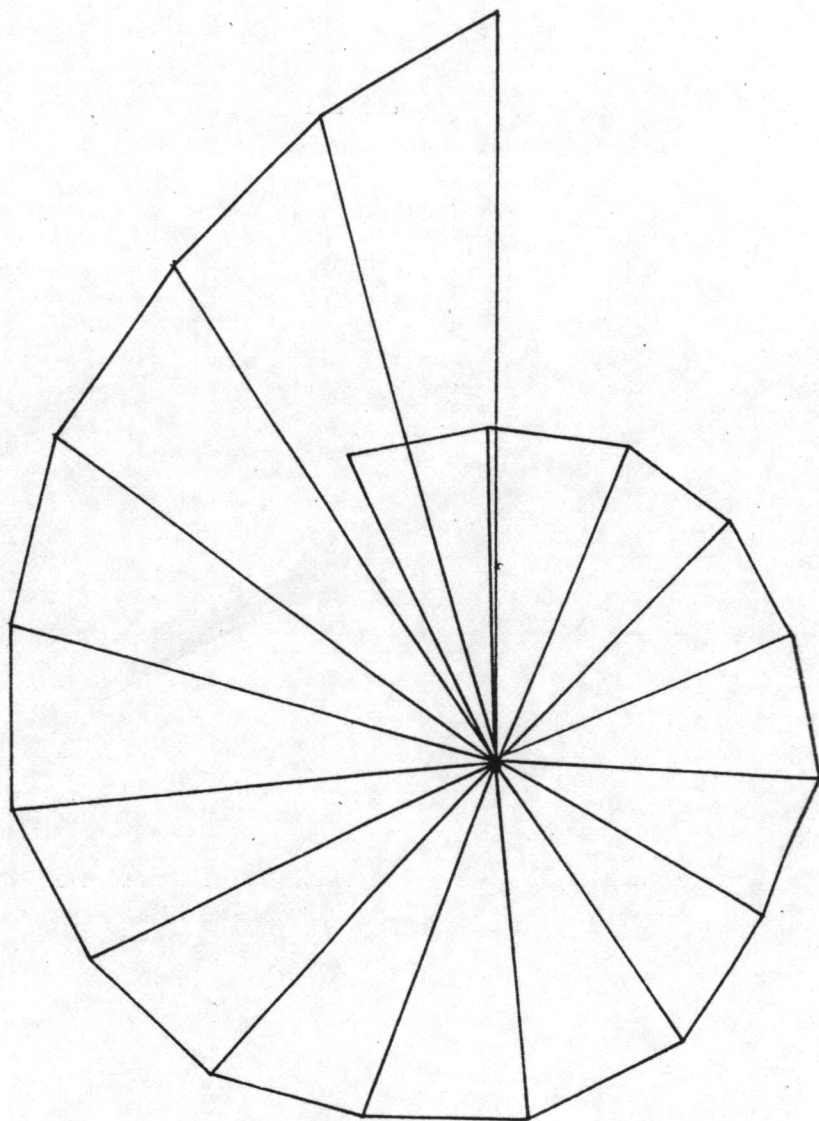
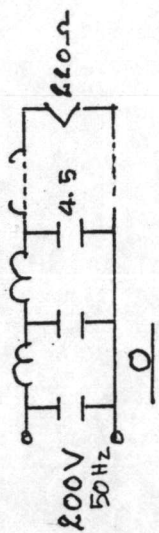
รูปที่ น-17

$$\beta = 27.41 \text{ องศา}$$



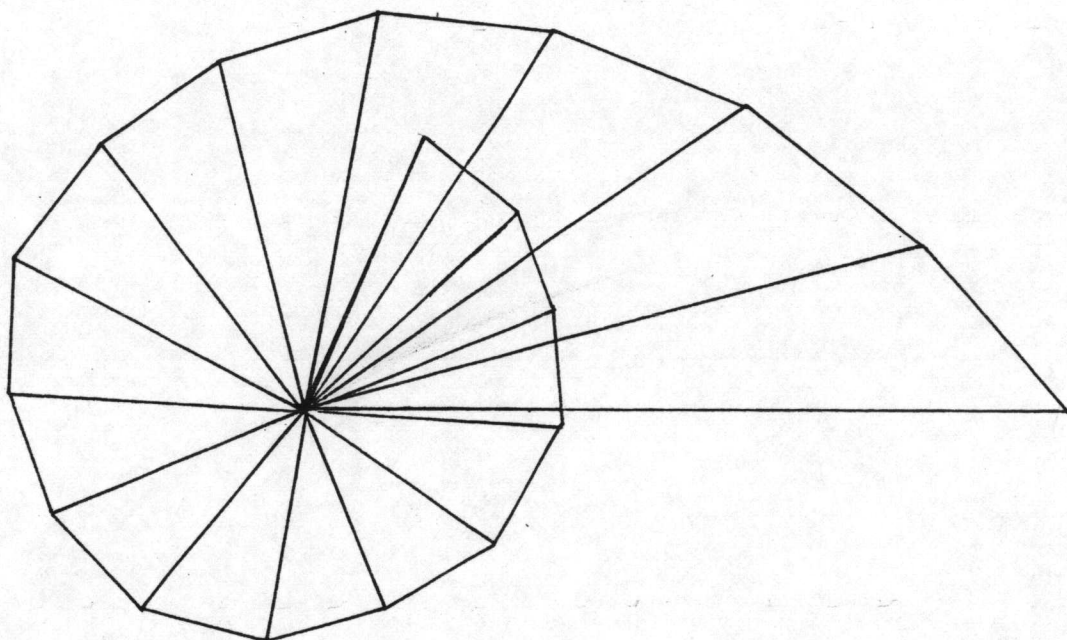
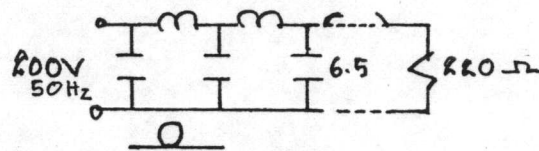
รูปที่ น-18

$\theta = 15.76$  องศา



รูปที่ น-19

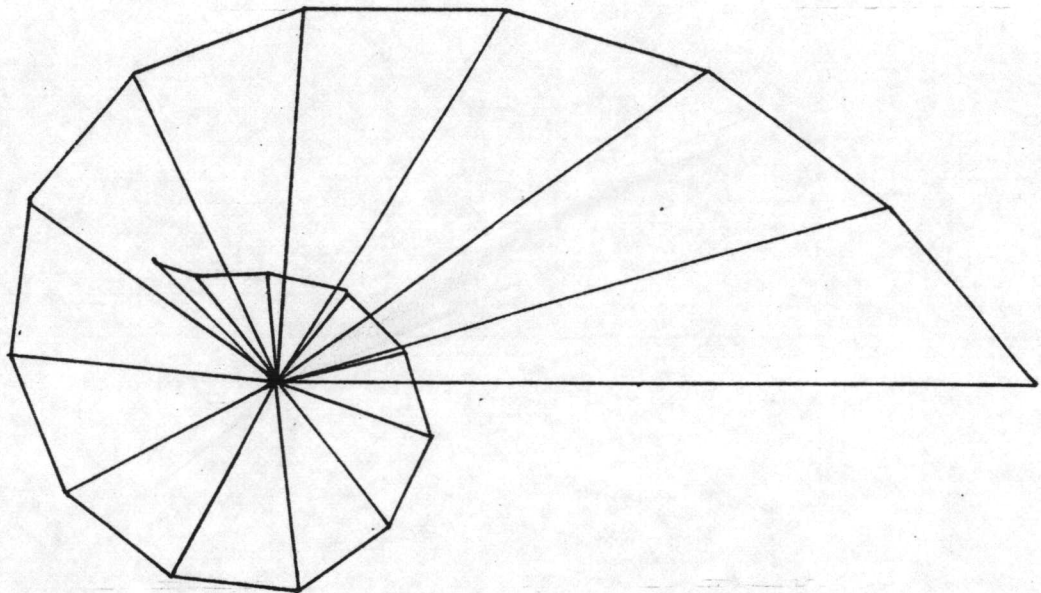
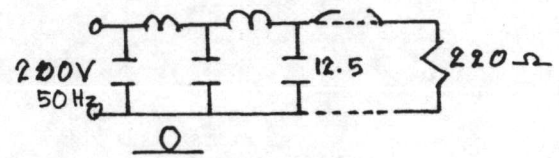
$\beta = 22.58$  องศา



รูปที่ น-20

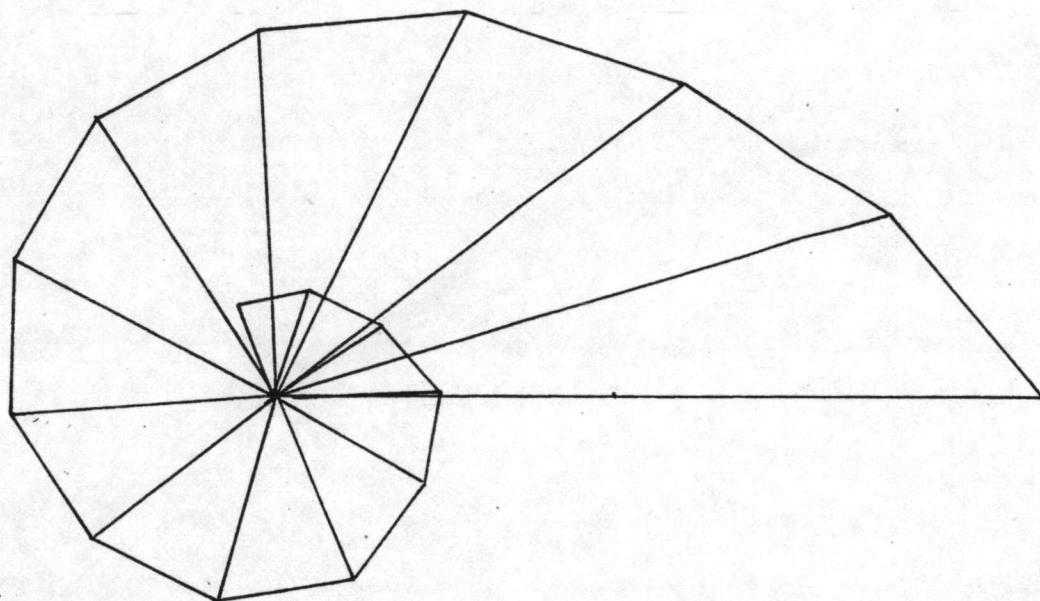
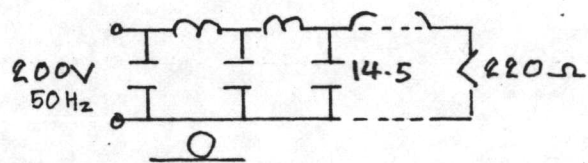
$\theta = 25.05$  องศา





$$\beta = 29.17 \text{ องศา}$$

รูปที่ น-21



รูปที่ น-22

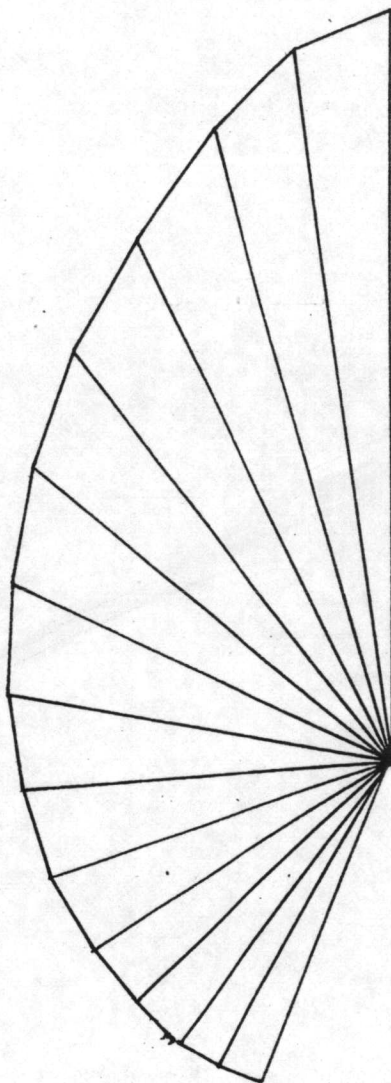
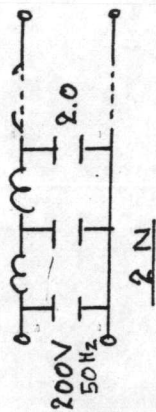
$$\theta = 31.53 \text{ องศา}$$

แสดงผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของคลื่นเดินทาง  
ในวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา  
เครื่องคนแบบ

(ขณะมีโหลด 2 N )

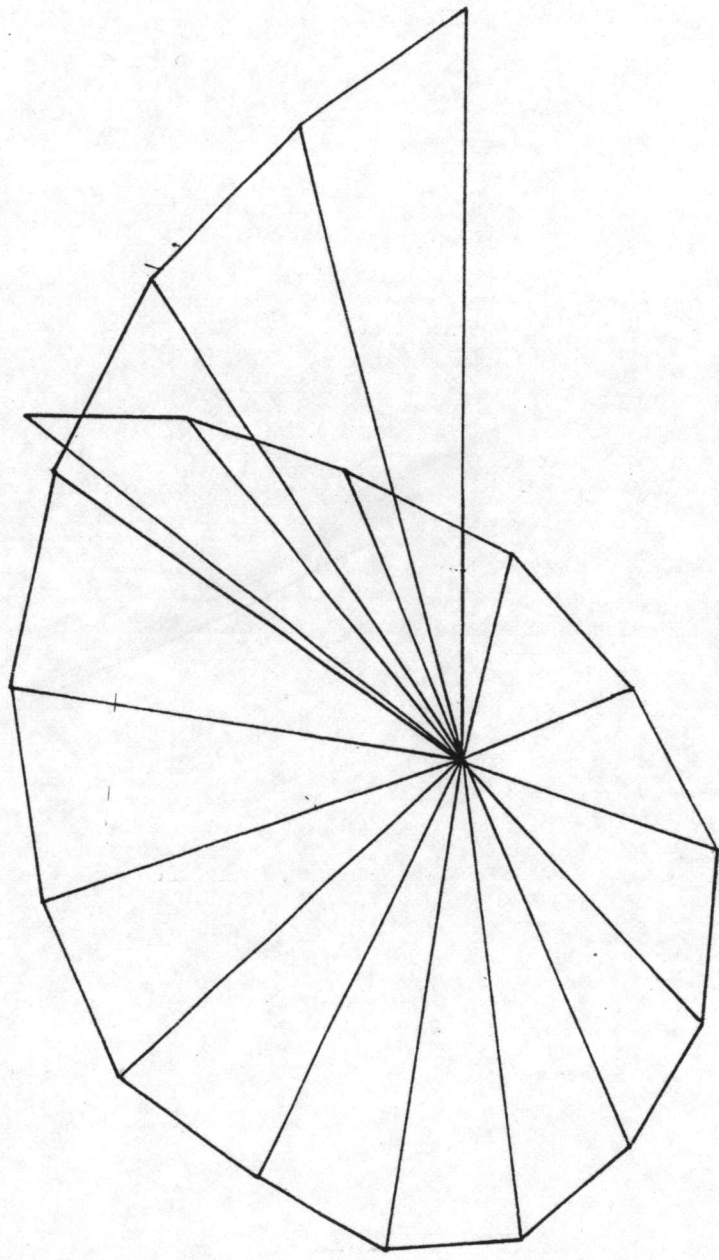
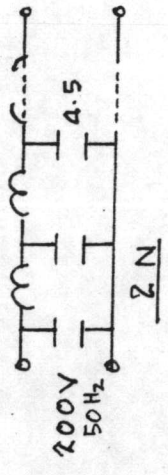
รูปที่ ฉ-23 ถึง รูปที่ ฉ-40

(ใน 4-เงื่อนไข, โดยใช้ค่าความจุไฟฟ้า 5-ค่า)



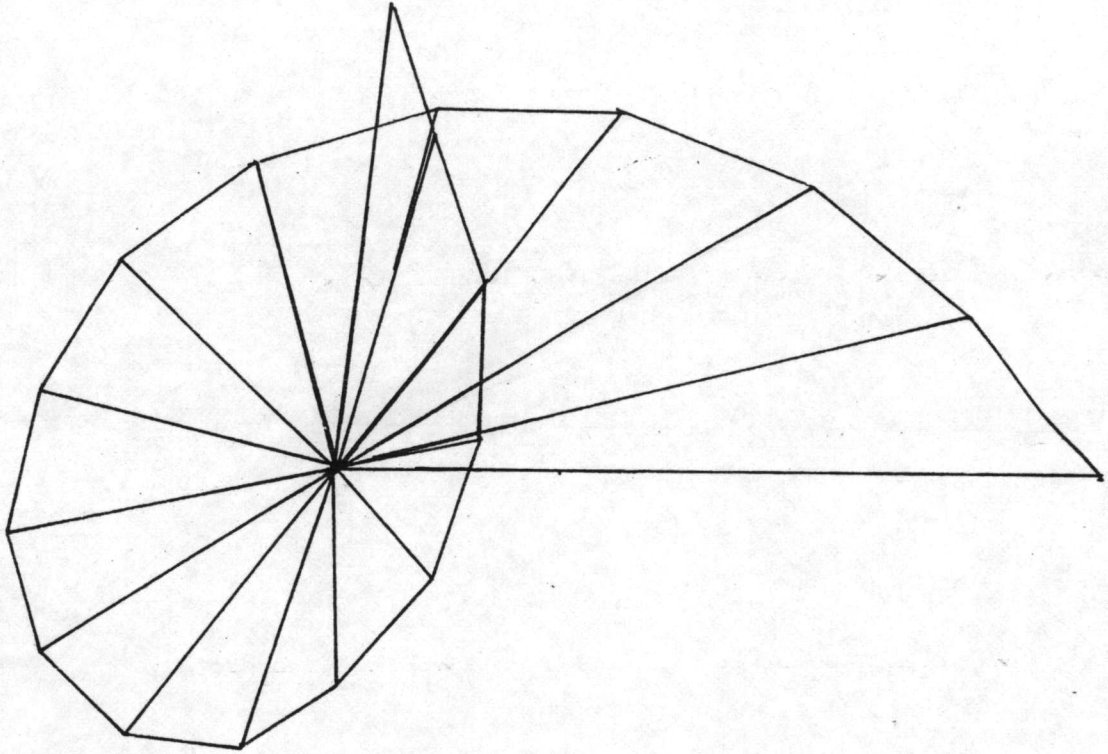
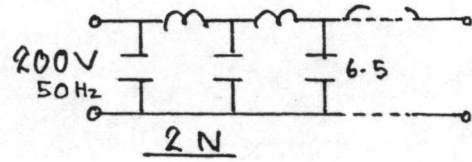
รูปที่ น-23

$$\theta = 11.42 \text{ องศา}$$



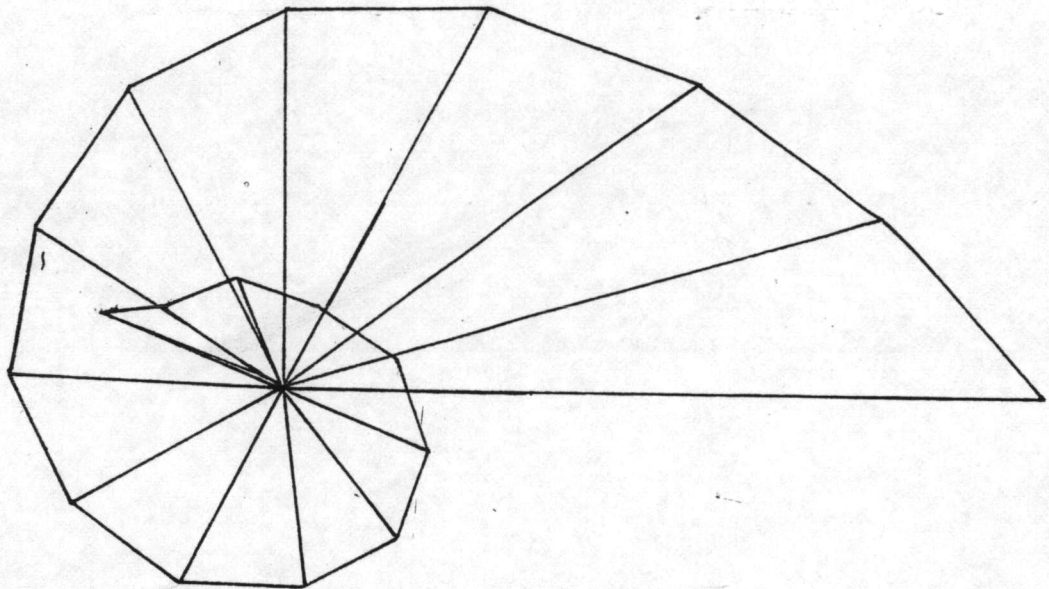
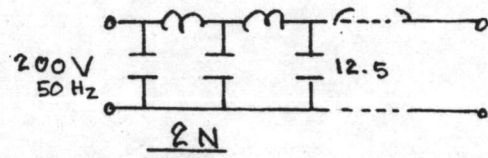
รูปที่ น-24

$$\phi = 24.23 \text{ องศา}$$



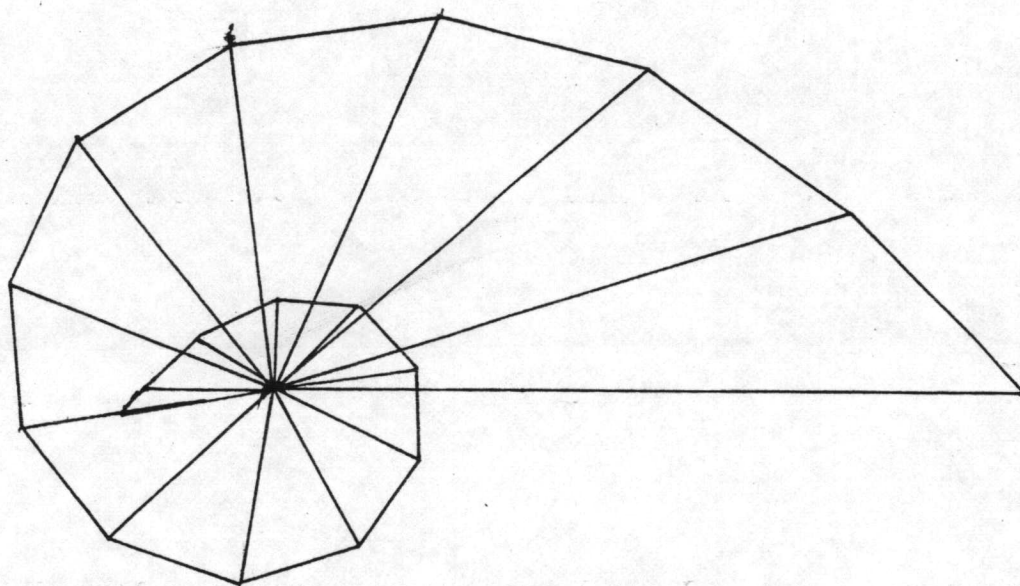
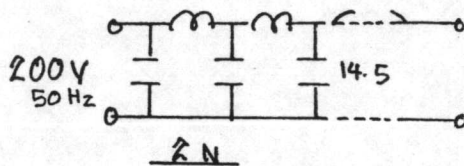
รูปที่ น-25

$\beta = 26.17$  องศา



รูปที่ น-26

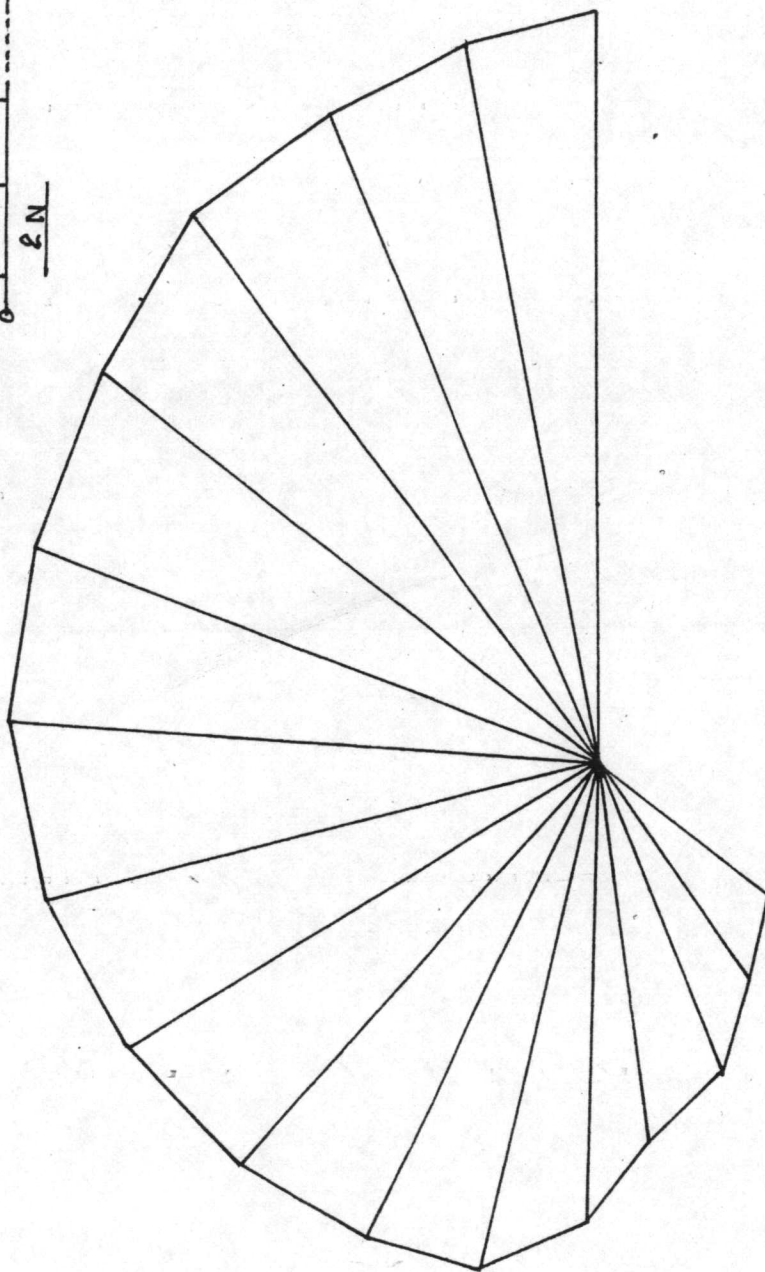
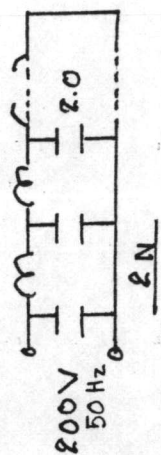
$\theta = 30.54$  องศา



$\beta = 32.35$  องศา

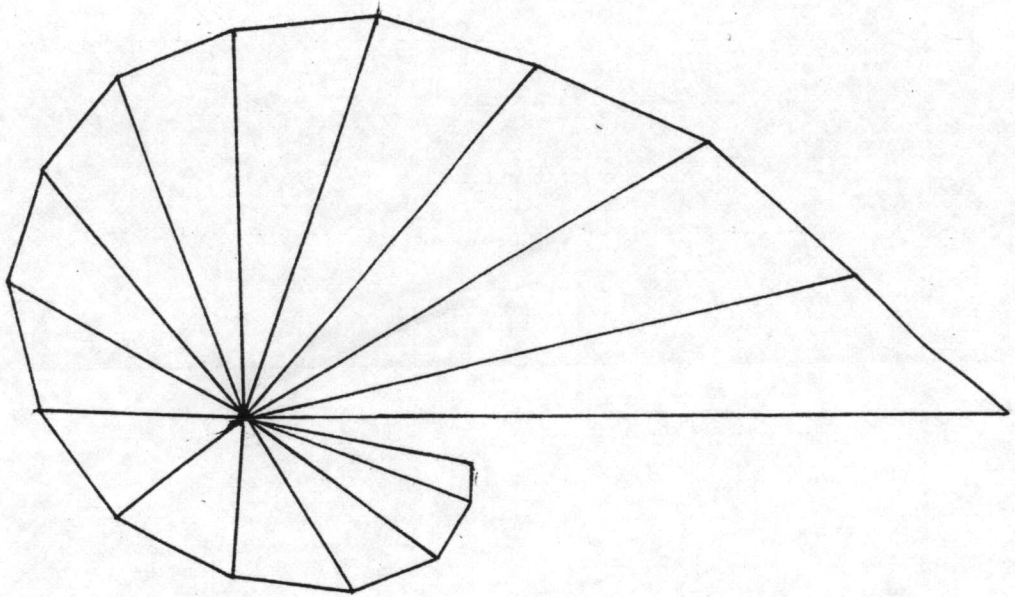
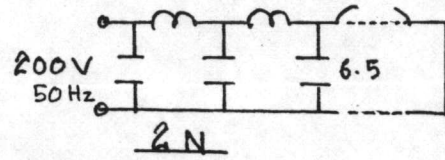
รูปที่ น-27





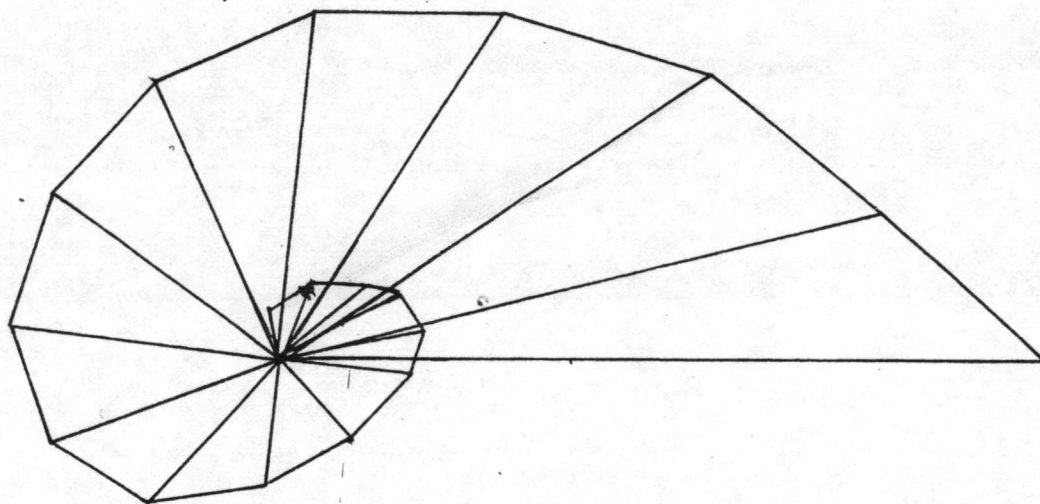
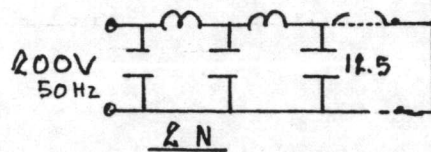
รูปที่ น-28

$\beta = 14.43$  องศา



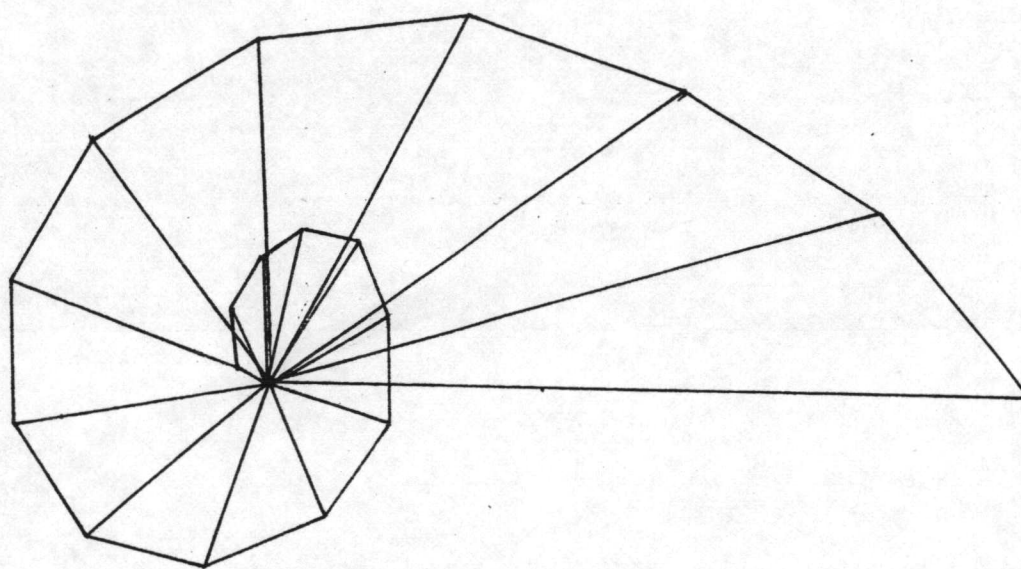
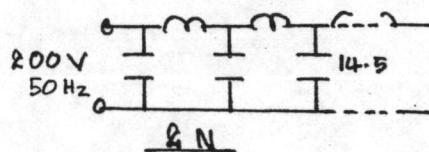
รูปที่ น-29

$$\beta = 23.26 \text{ องศา}$$



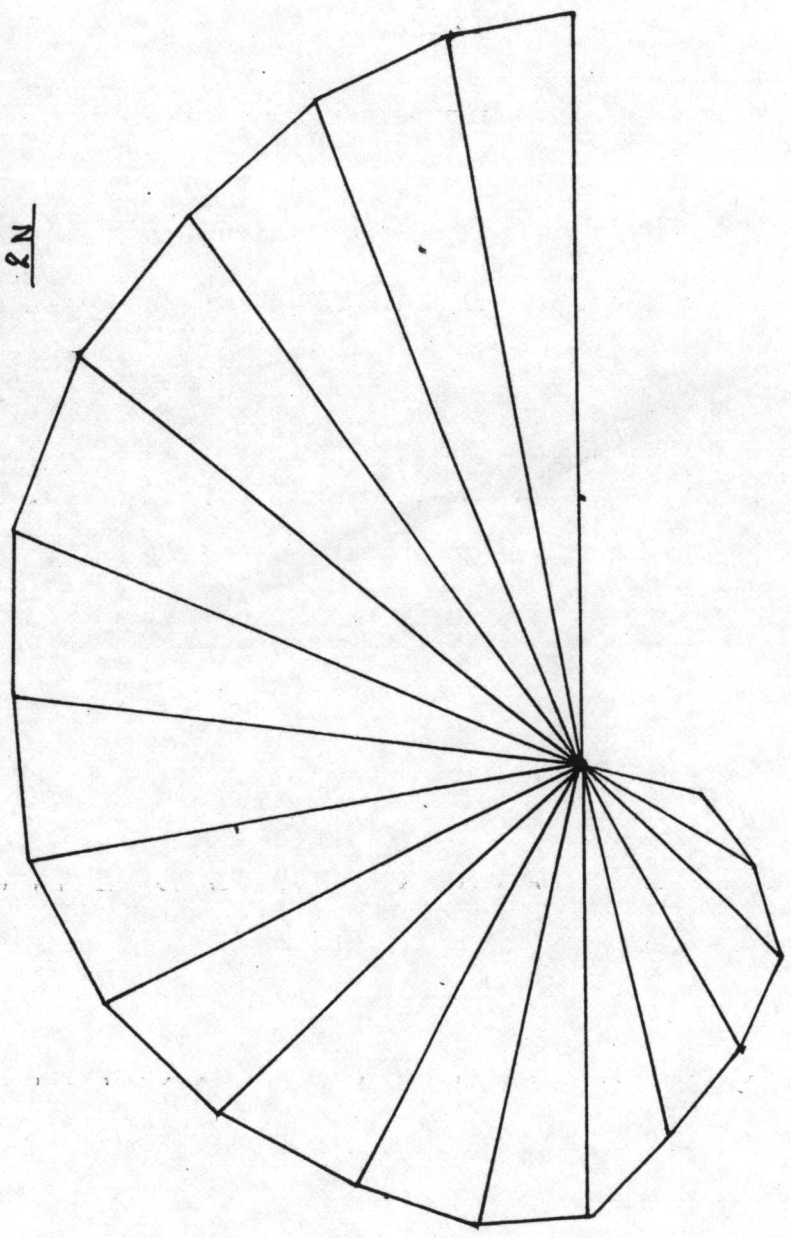
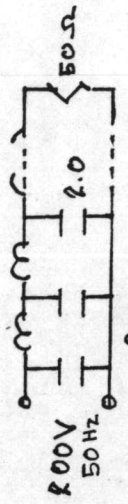
รูปที่ น-30

$$\beta = 27.82 \text{ องศา}$$



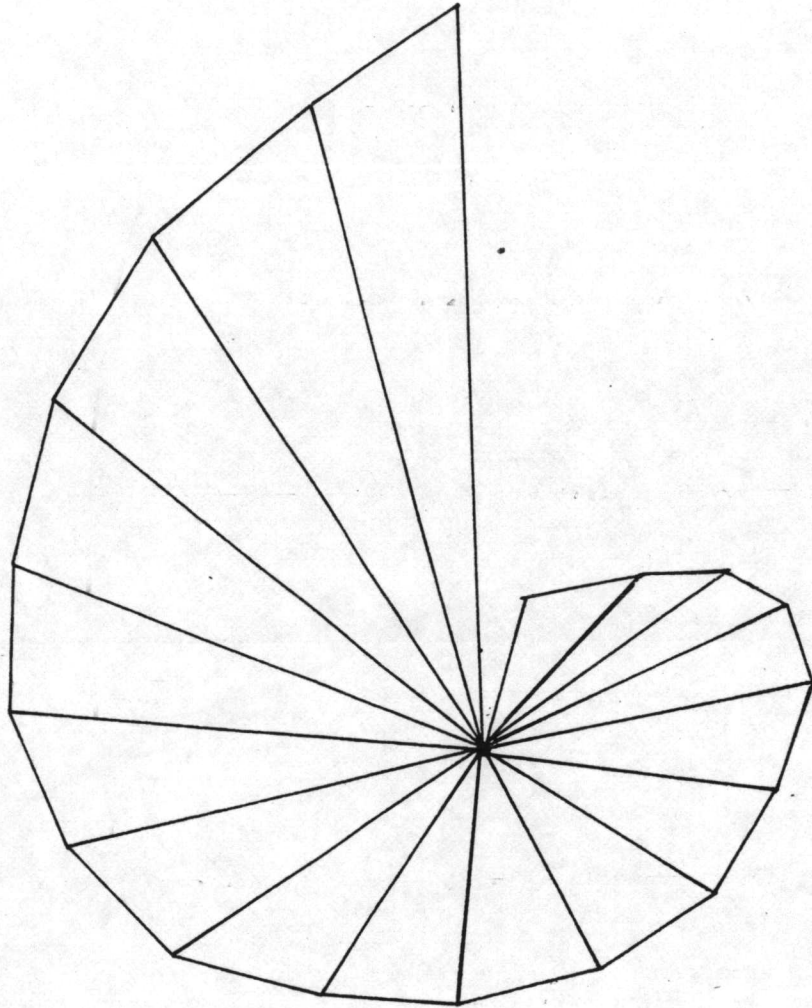
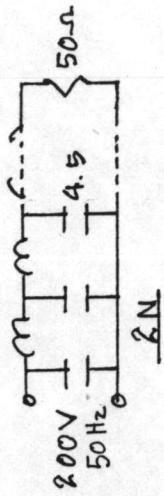
รูปที่ น-31

$$\beta = 30.58 \text{ องศา}$$



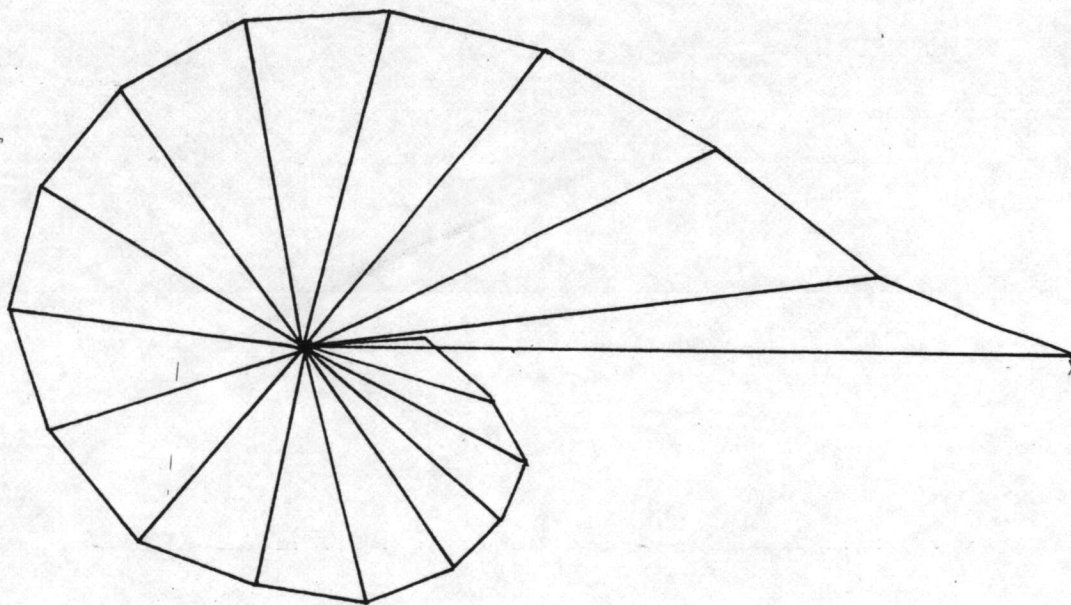
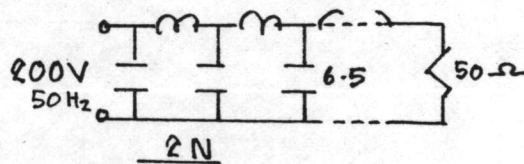
รูปที่ น-32

$\theta = 14.94$  องศา



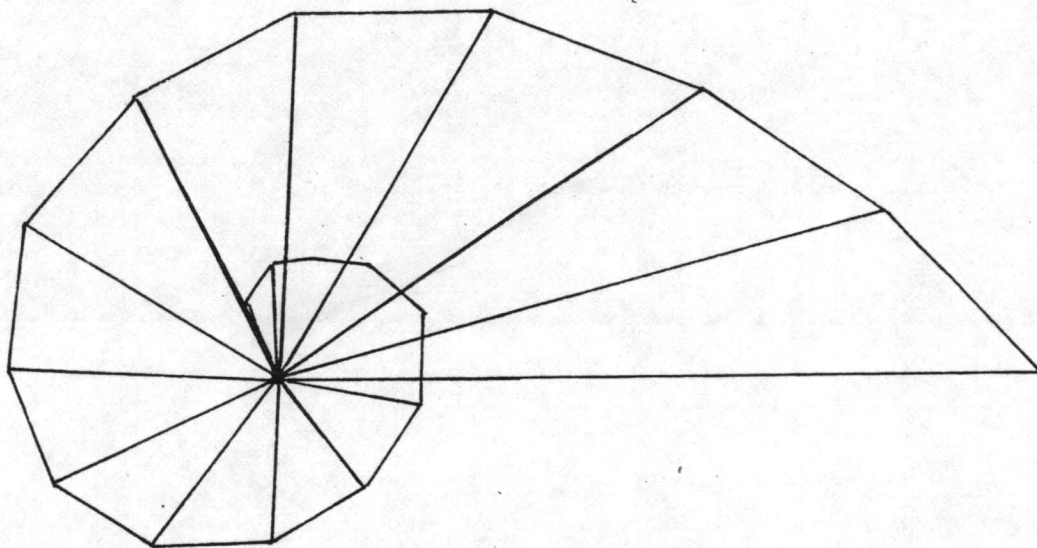
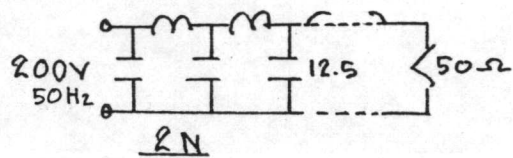
รูปที่ น-33

$$\theta = 20.29 \text{ องศา}$$



รูปที่ น-34

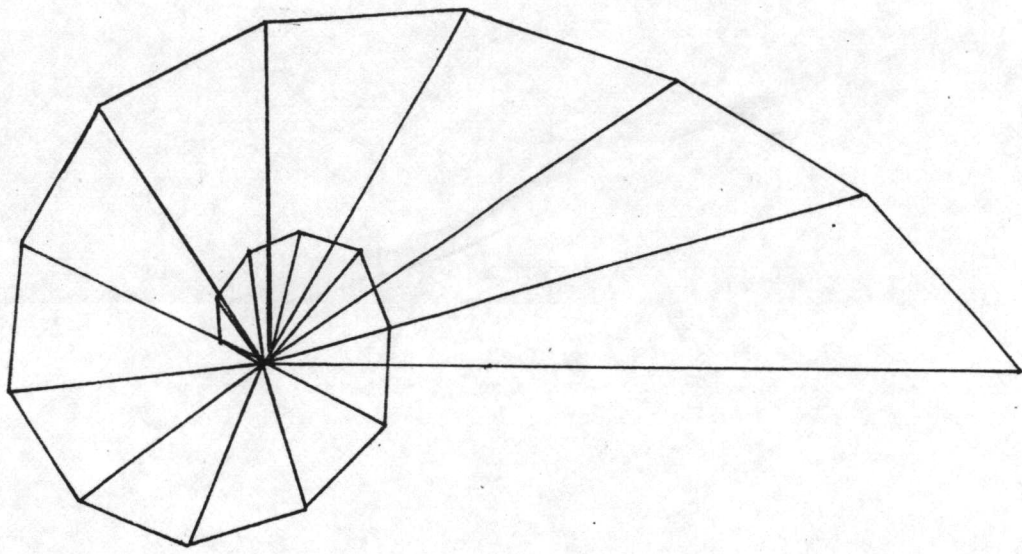
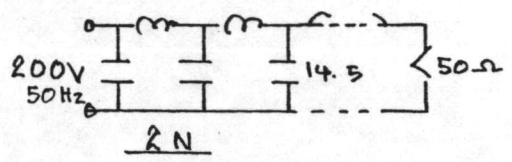
$$\beta = 21.41 \text{ องศา}$$



รูปที่ น-35

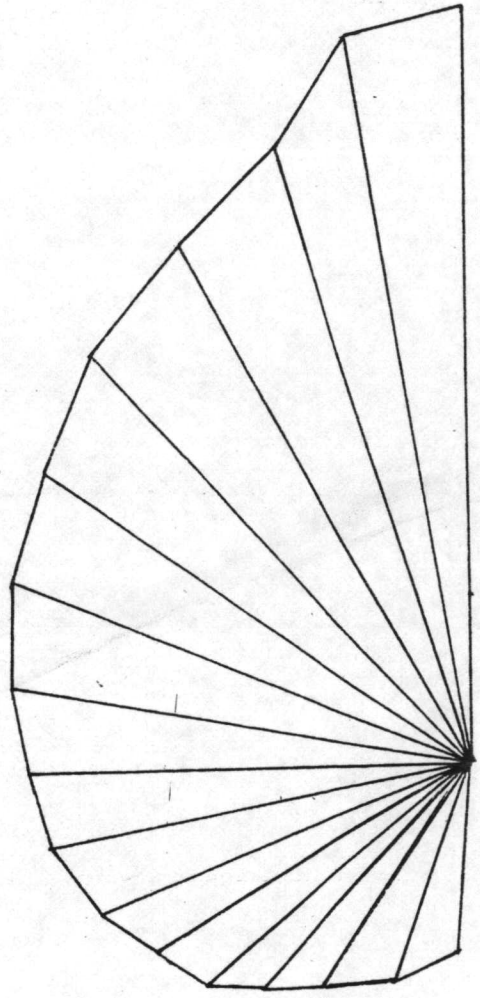
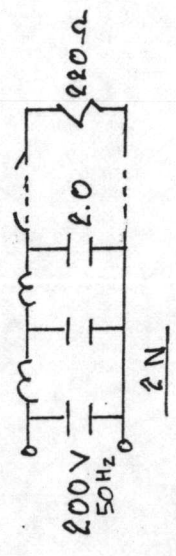
$$\beta = 29.62 \text{ องศา}$$





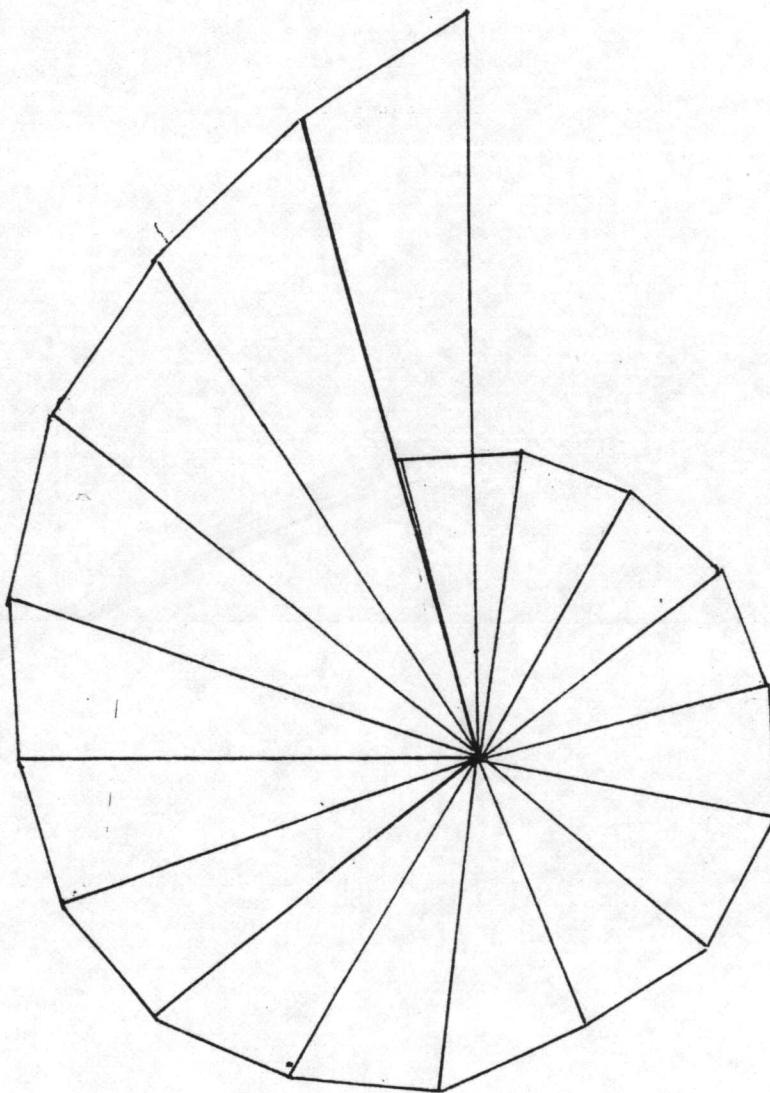
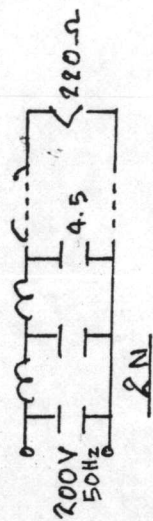
รูปที่ น-36

$\theta = 30.35$  องศา



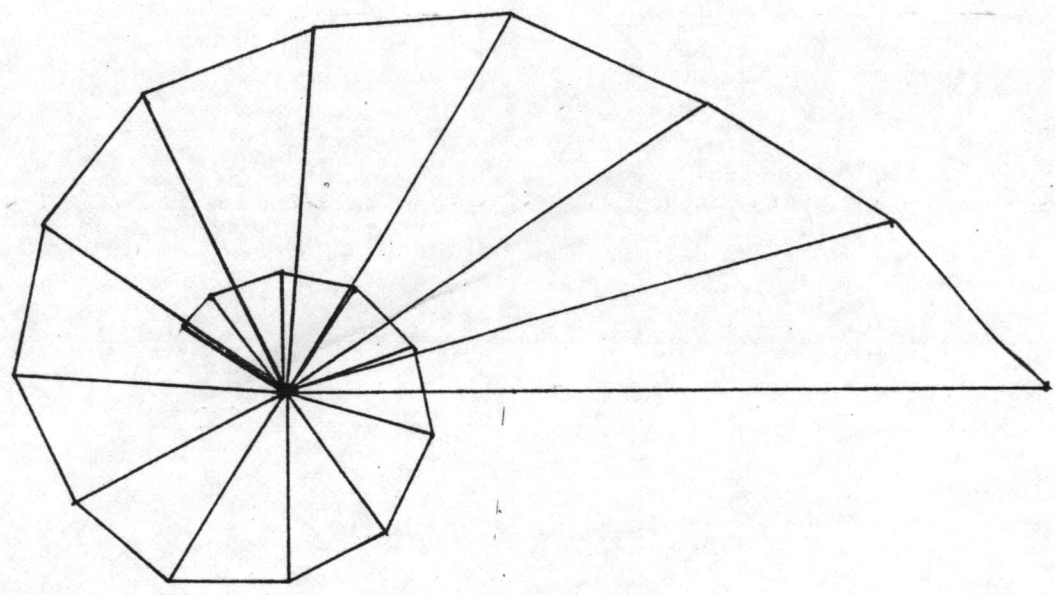
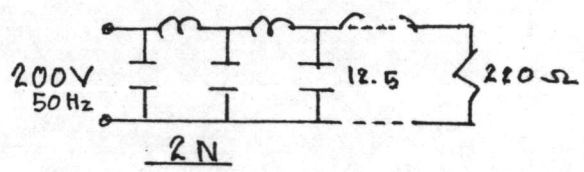
รูปที่ น-37

$\theta = 11.06$  องศา



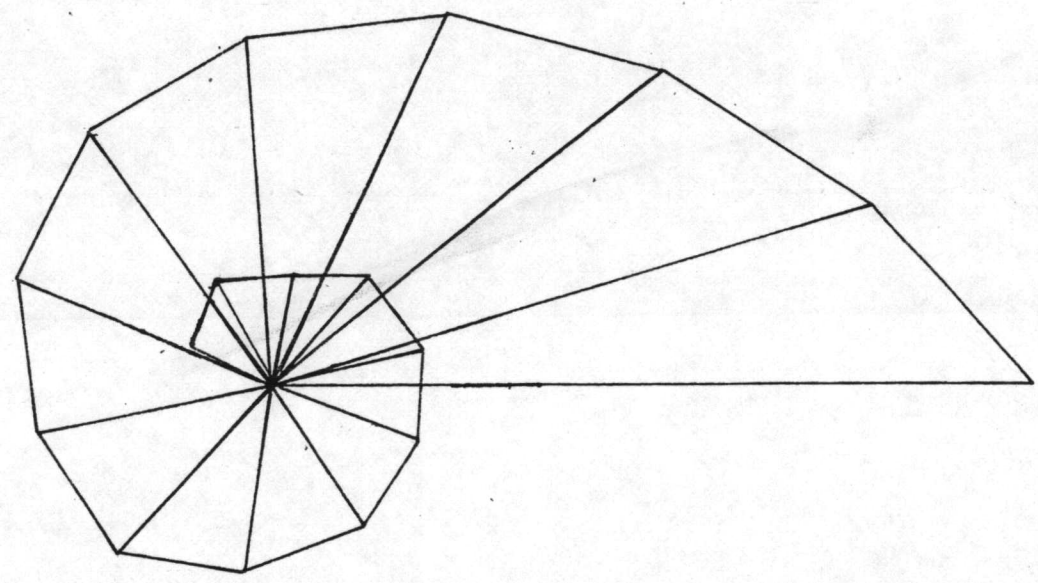
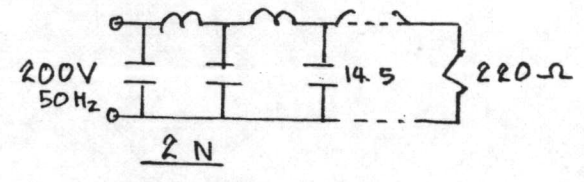
รูปที่ น-38

$\theta = 21.94$  องศา



$\theta = 29.82$  องศา

รูปที่ น-39



$$\beta = 32.25 \text{ องศา}$$

รูปที่ น-40

ตารางที่ ๑-1 (ขณะไร้อุณหภูมิ)

ขณะไร้อุณหภูมิ				
ความจุไฟฟ้า (UF)	วงจรมอเตอร์	วงจรมอเตอร์	Z = 50 Ω	Z = 220 Ω
2.0	16.64	16.00	15.29	15.76
4.50	23.70	18.47	21.47	22.58
6.50	26.86	22.58	22.41	25.05
12.50	29.11	28.42	27.80	29.11
14.50	30.87	25.78	27.41	31.53

ตารางแสดงค่าเฟสของคลื่นเดินทางในวงจรมอเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
เฟสเกี่ยวกับคลื่นพา (ขณะไร้อุณหภูมิ) , องศา

ตารางที่ ๓-2 (ขณะมีโหลด 2 N)

ขณะมีโหลด 2 N				
ความจุไฟฟ้า ( $\mu\text{F}$ )	เปิด วงจรปฐมภูมิ	ลัด วงจรปฐมภูมิ	$Z = 50 \Omega$	$Z = 220 \Omega$
2.0	11.42	14.65	14.94	11.06
4.5	24.23		20.29	21.94
6.5	26.17	23.26	21.41	
12.5	30.58	27.82	29.62	29.82
14.5	32.35	30.58	30.35	32.25

ตารางแสดงค่าเฟสของคลื่นเดินทางในวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
เฟสเคี้ยวชนิดคลื่นพา (ขณะมีโหลด 2 N) , องศา

ภาคผนวก ช.

แสดงผลทดสอบ คุณสมบัติ ความเร็วรอบ-แรงบิด-ประสิทธิภาพ

ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดลื่นพาเครื่องต้นแบบ

(ไฟป้อนเข้า 200 โวลต์, ความถี่ 50 เฮิรตซ์, คงที่)

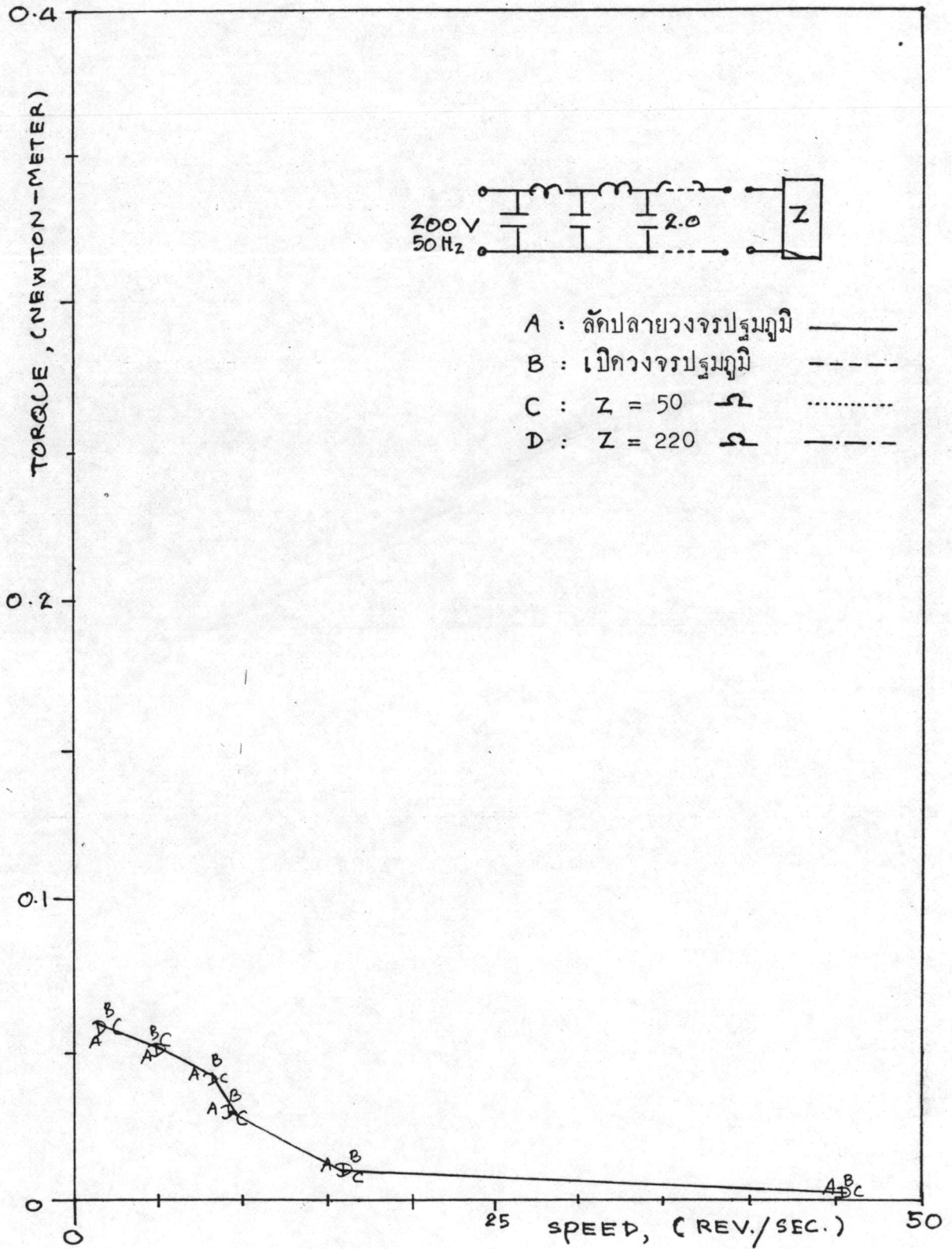


แสดงผลทดสอบ คุณสมบัติ ความเร็วรอบ-แรงบิด ของ  
มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดลื่นพาเครื่องต้นแบบ  
(ใน 4-เงื่อนไข, โดยใช้เวลาความจุไฟฟ้า 5-ค่า)

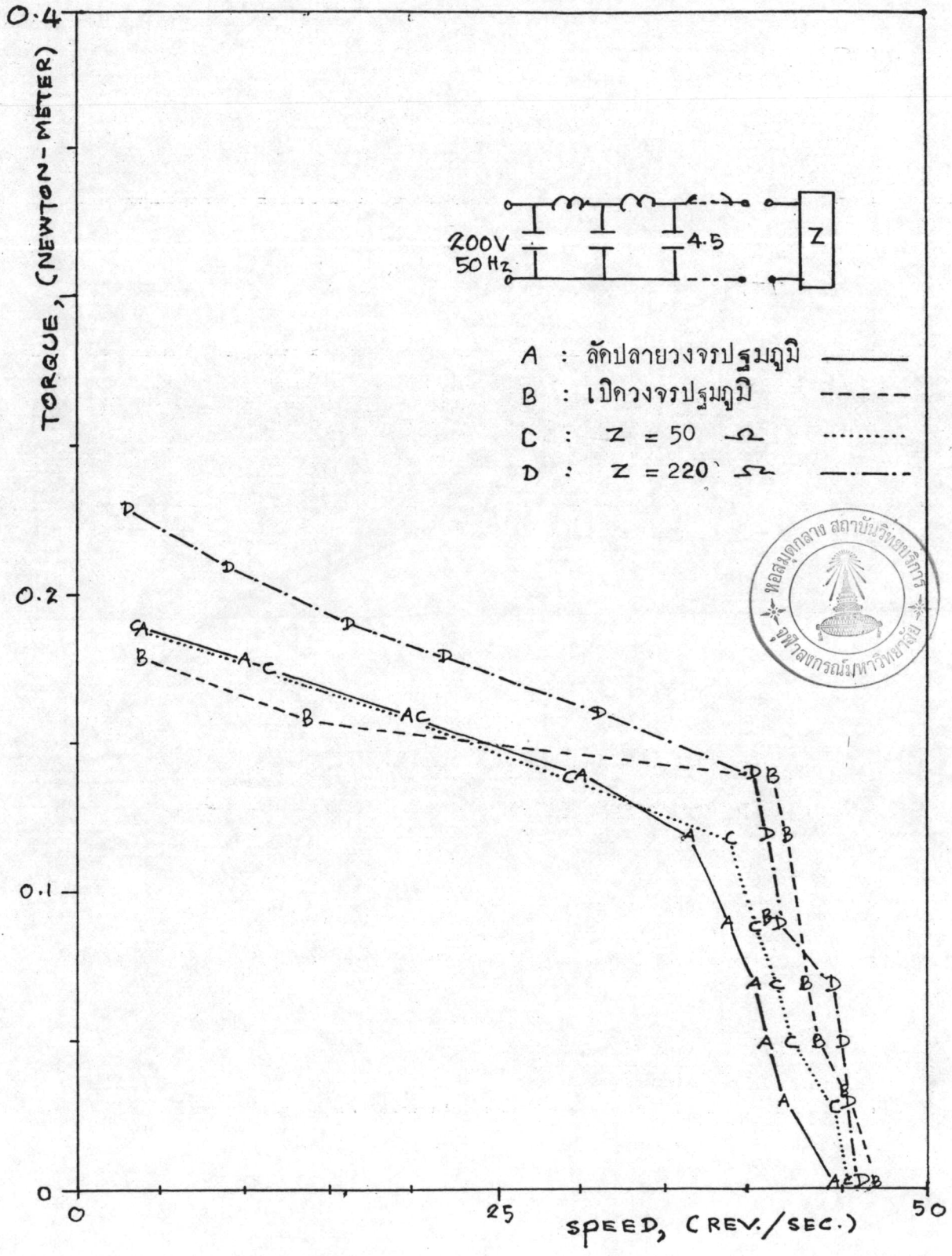
รูปที่ ข-1 ถึง รูปที่ ข-9

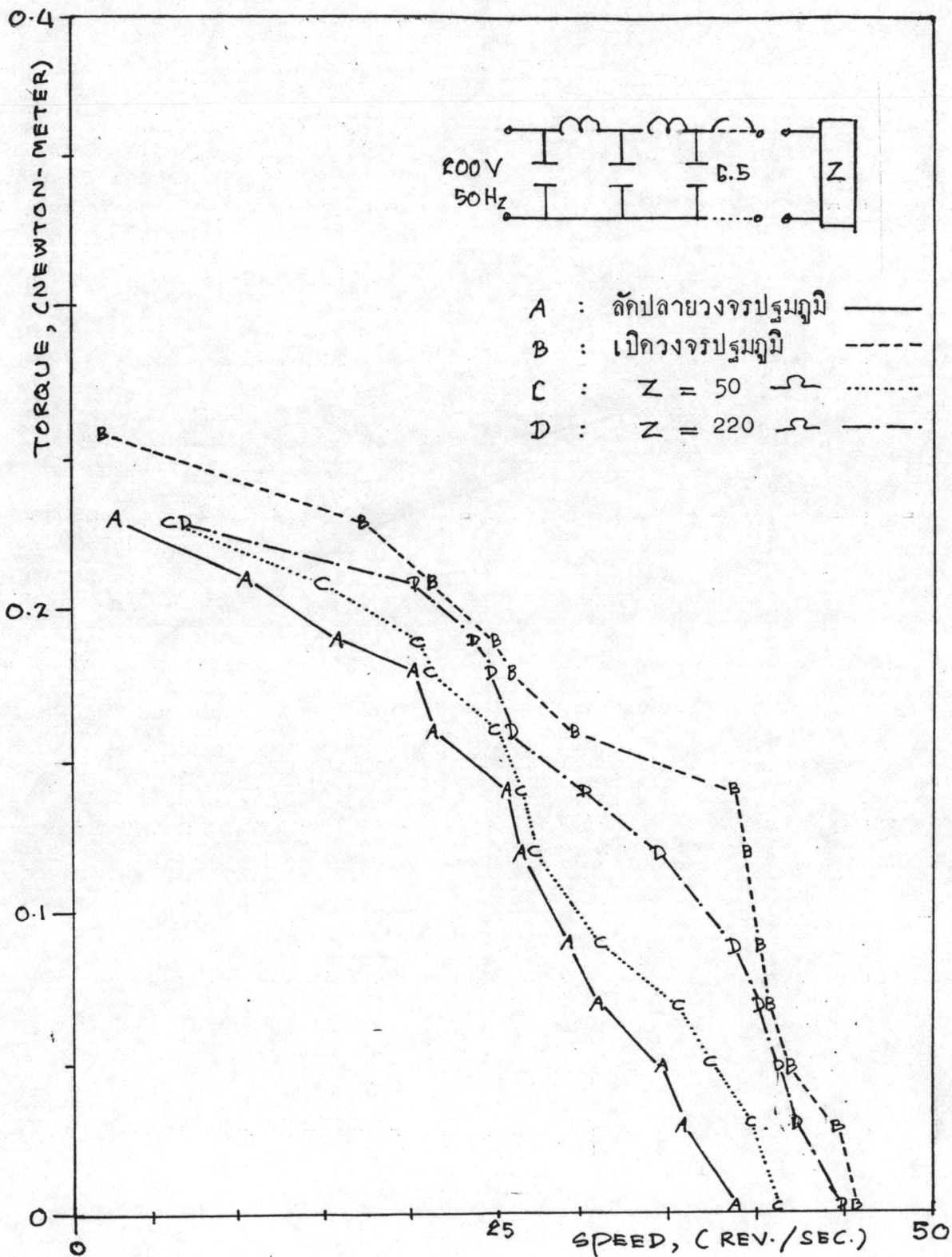
สัญลักษณ์ที่ใช้

○	:	2.0	μF	_____
+	:	4.5	μF	_____
Δ	:	6.5	μF	_____
□	:	12.5	μF	_____
X	:	14.5	μF	_____

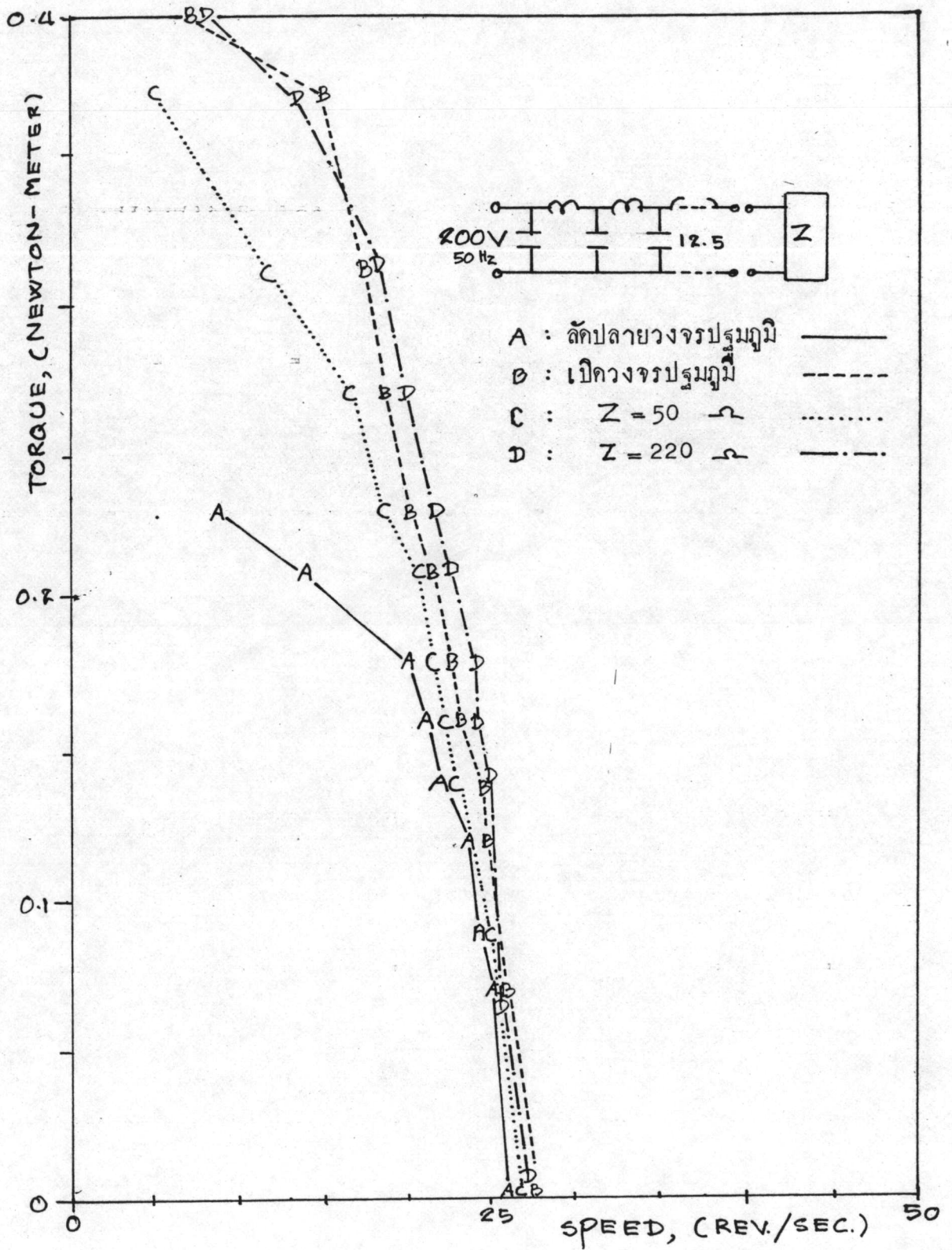


รูปที่ ๑-๑)

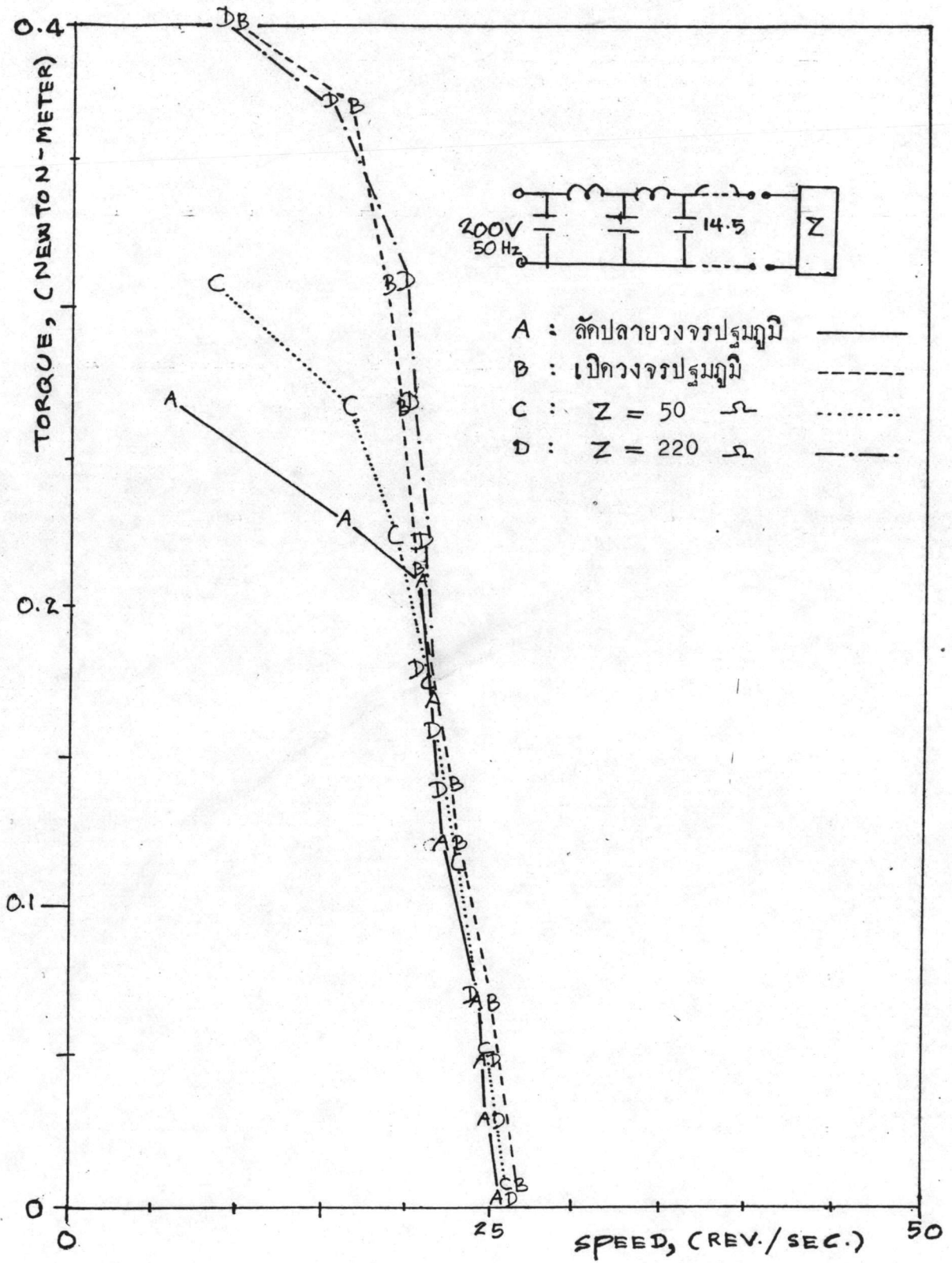




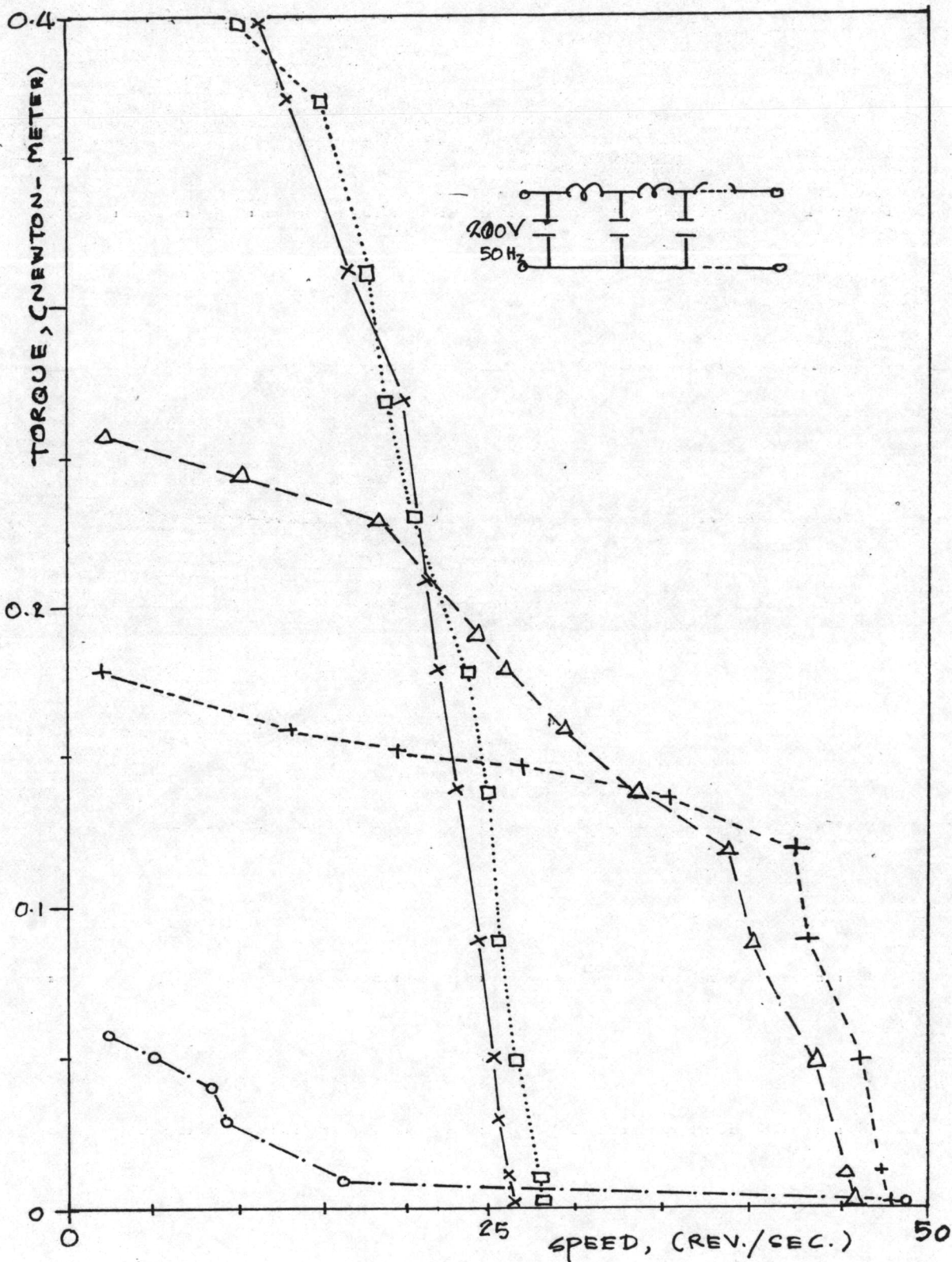
รูปที่ ๓-๓



รูปที่ ๓-4



รูปที่ ๓-5



รูปที่ 8-6

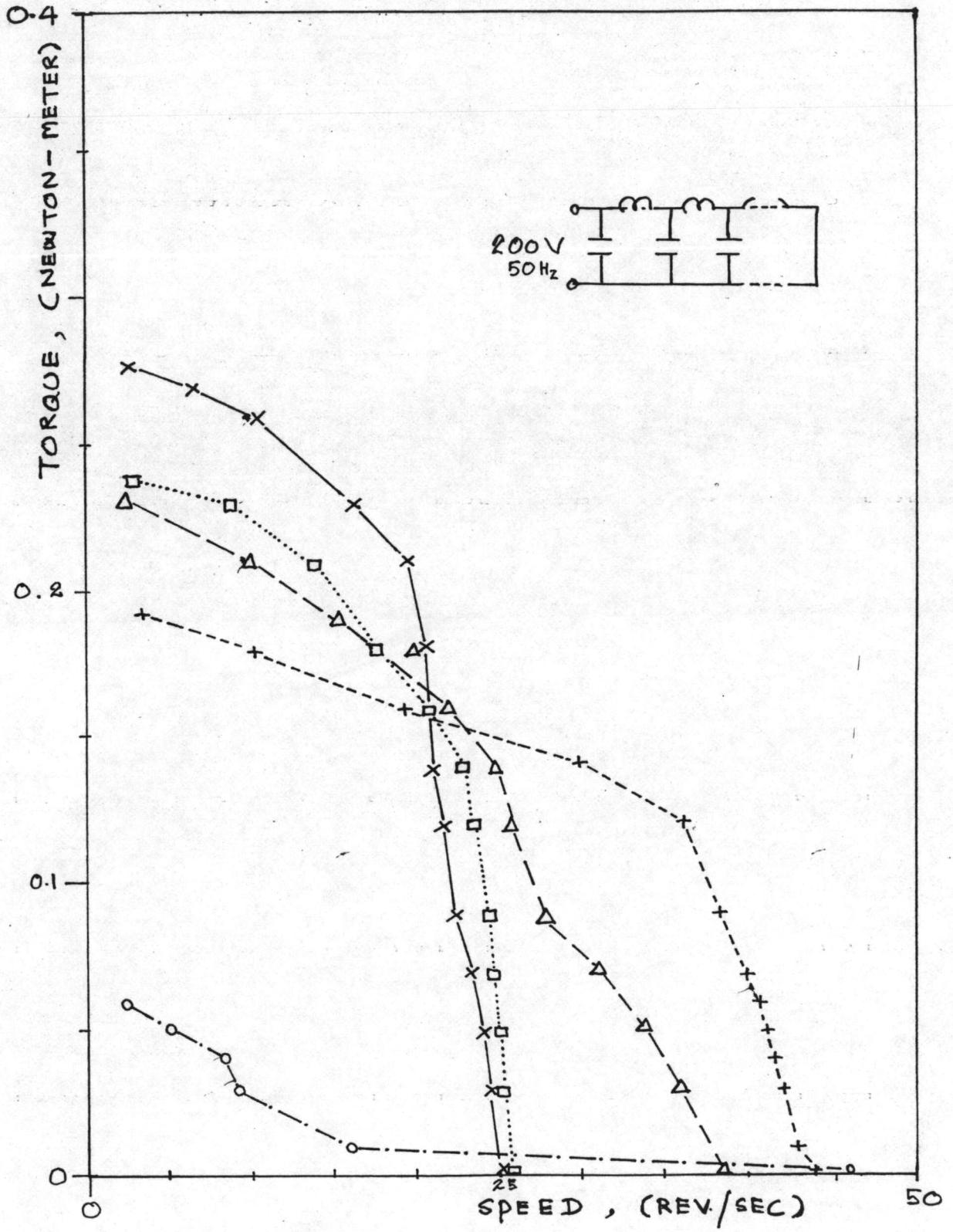


Figure 9-7



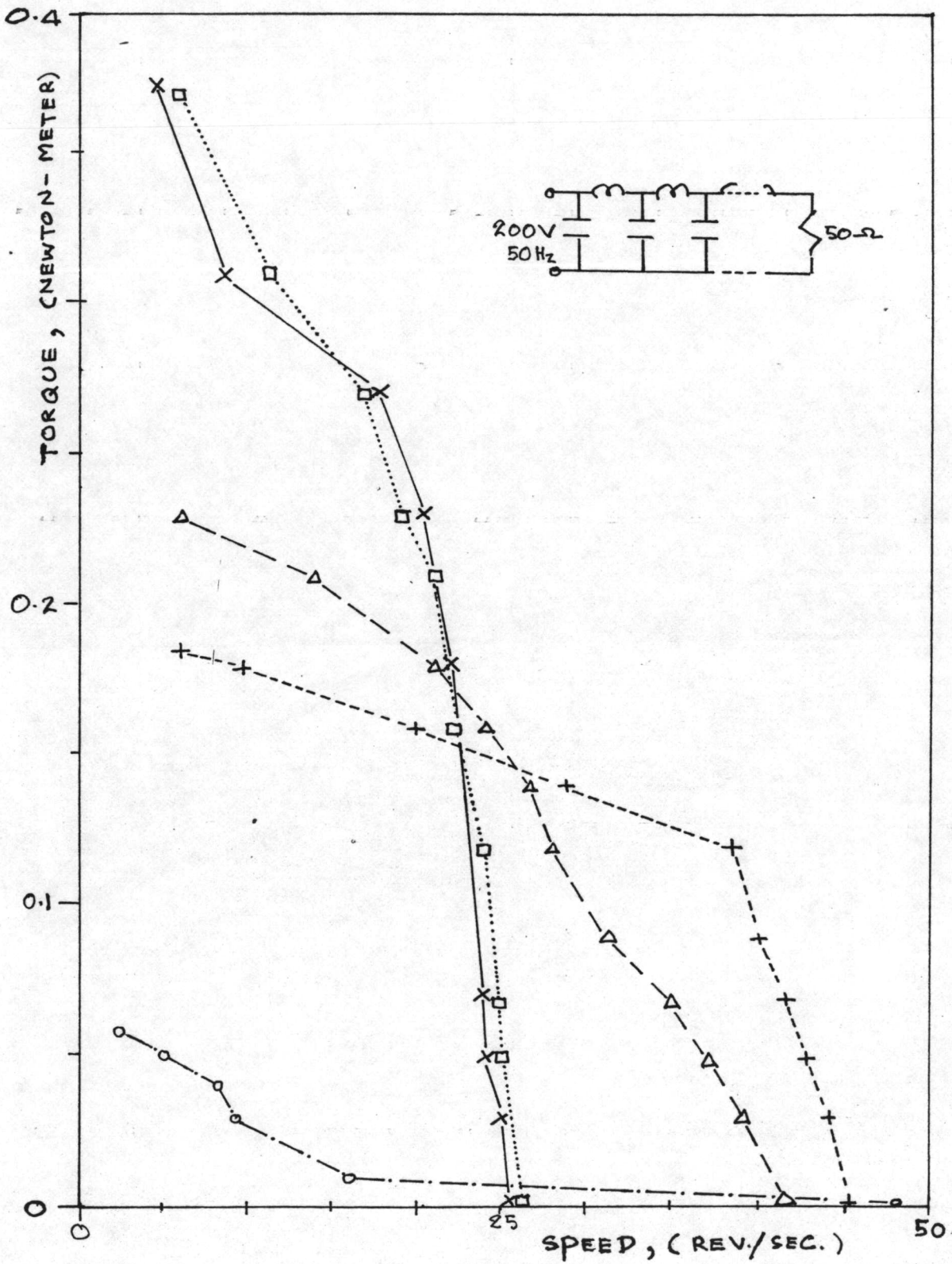


圖 1-8

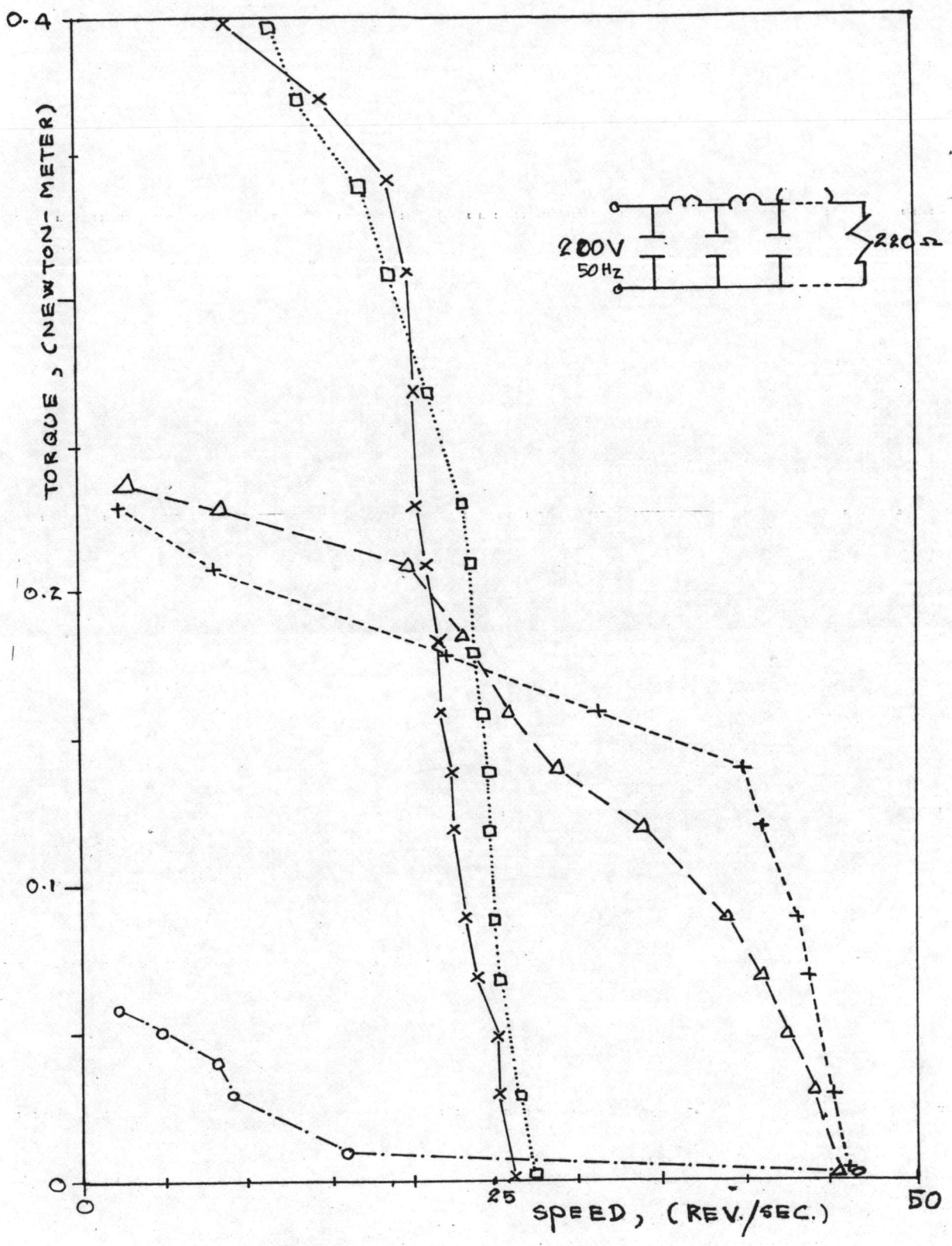


圖 1-9

แสดงผลทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่าง, แรงบิด-กระแสป้อนเข้า-  
-พลังงานไฟฟ้าป้อนเข้า-พลังงานกล ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
เฟสเดียวชนิดคั่นพา เครื่องต้นแบบ

(ใน 4-เงื่อนไข, โดยใช้ค่าความจุไฟฟ้า 5-ค่า)

รูปที่ ข-10 ถึง รูปที่ ข-13

สัญลักษณ์ที่ใช้

○	:	2.0	UF	_____
+	:	4.5	UF	_____
Δ	:	6.5	UF	_____
□	:	12.5	UF	_____
X	:	14.5	UF	_____

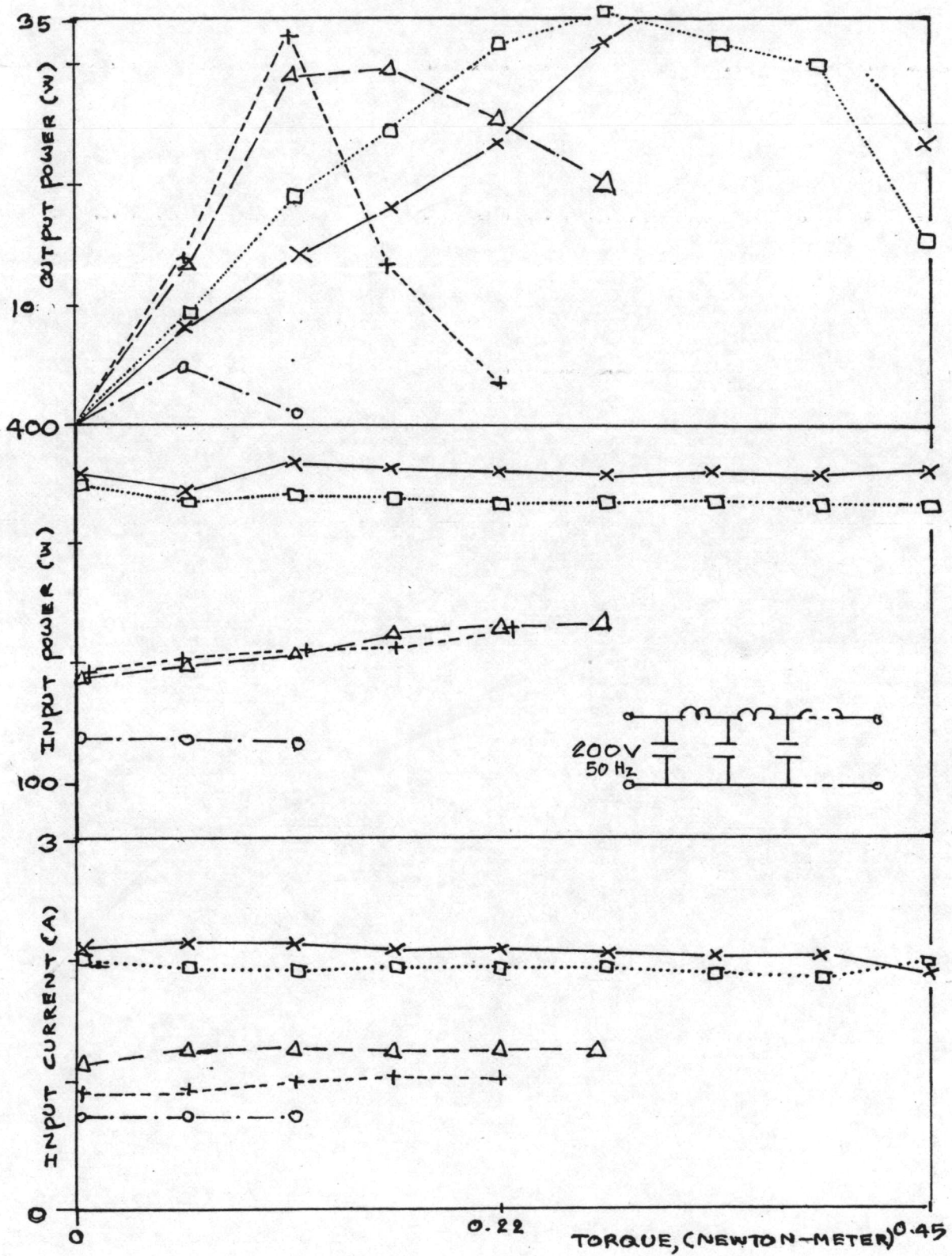


Fig 10

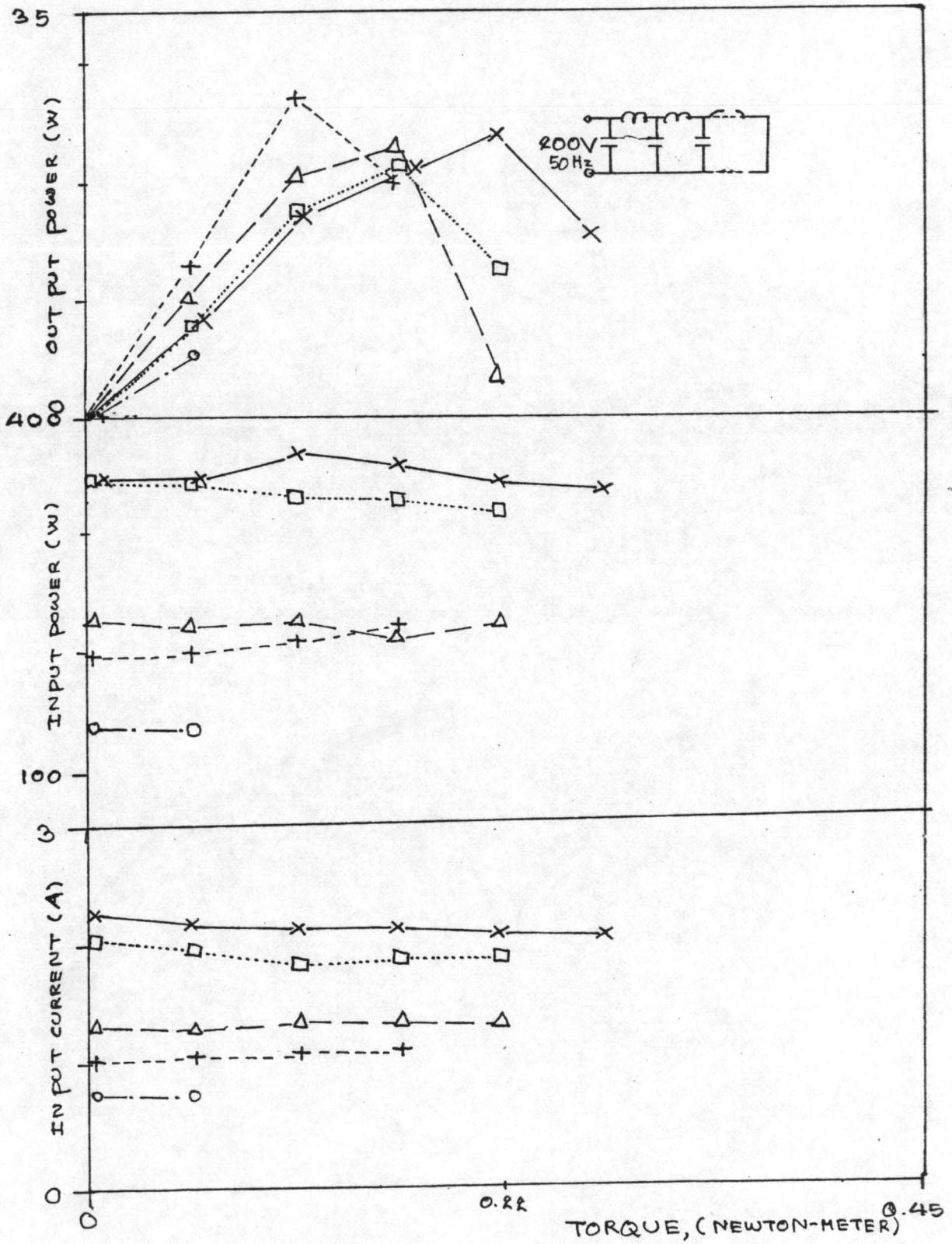


Fig 9-11

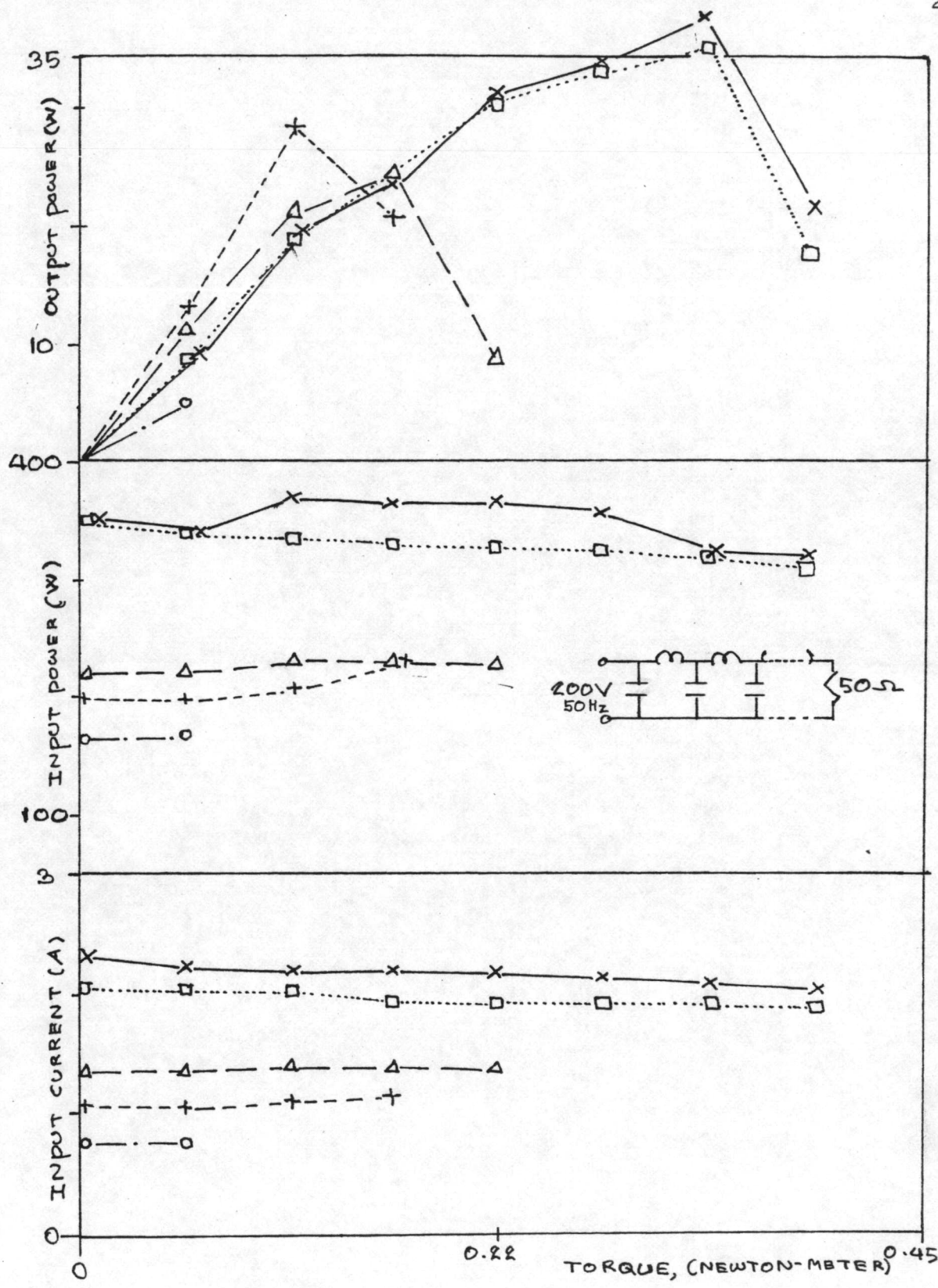


Figure 9-12

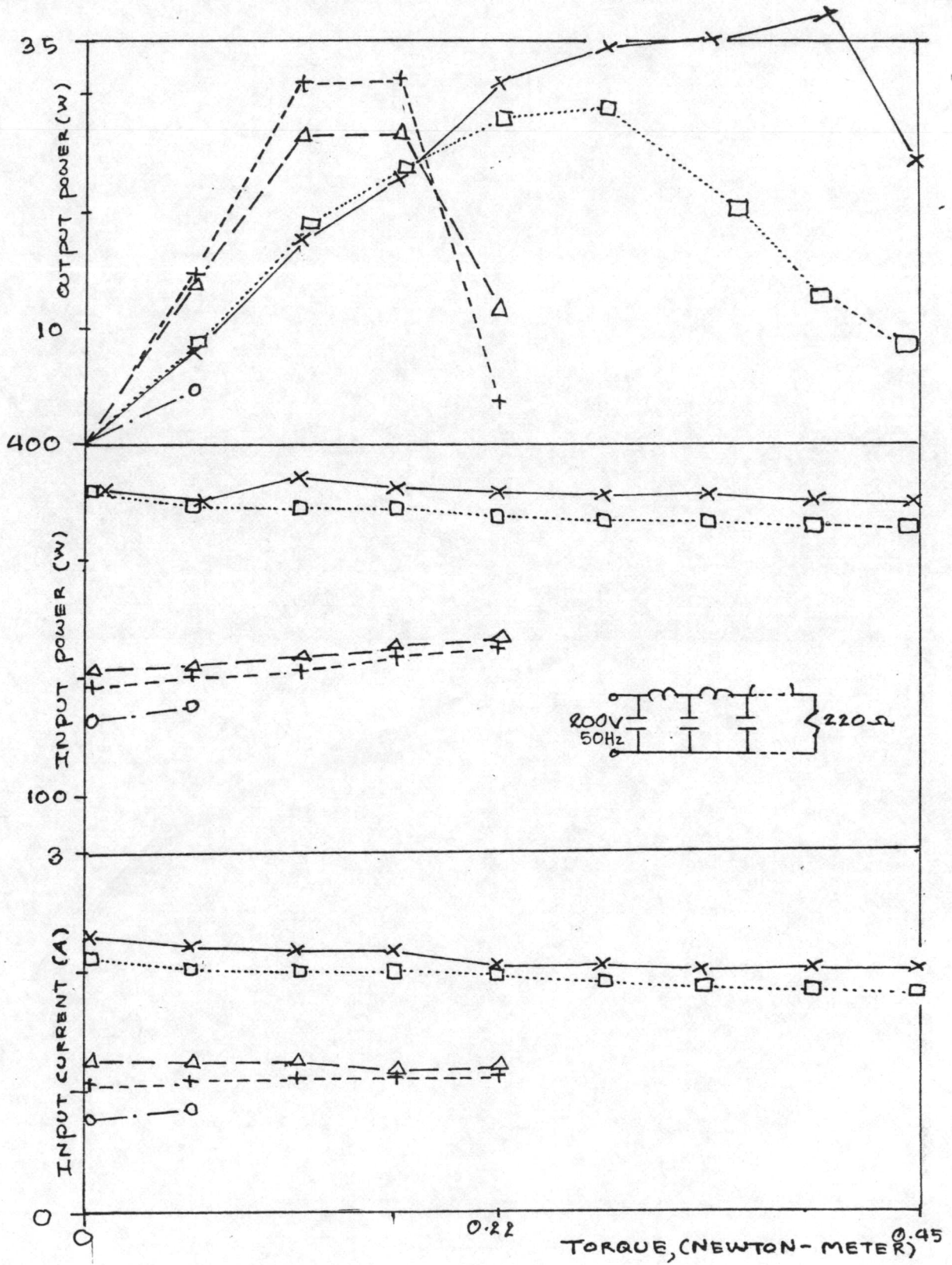


Figure 8-13

แสดงผลทดสอบ คุณสมบัติ ความเร็วรอบ-แรงบิด-ประสิทธิภาพ  
ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคั่นพาเครื่องต้นแบบ  
(ใน 4-เงื่อนไข, โดยใช้เวลาความจุไฟฟ้า 5-ค่า)

รูปที่ ข-14 ถึง รูปที่ ข-33

สัญลักษณ์ที่ใช้

○ : 2.0    /UF  
+ : 4.5    /UF  
△ : 6.5    /UF  
□ : 12.5   /UF  
× : 14.5   /UF

————— แสดงคุณสมบัติ ความเร็วรอบ-แรงบิด

----- แสดงคุณสมบัติ ความเร็วรอบ-ประสิทธิภาพ



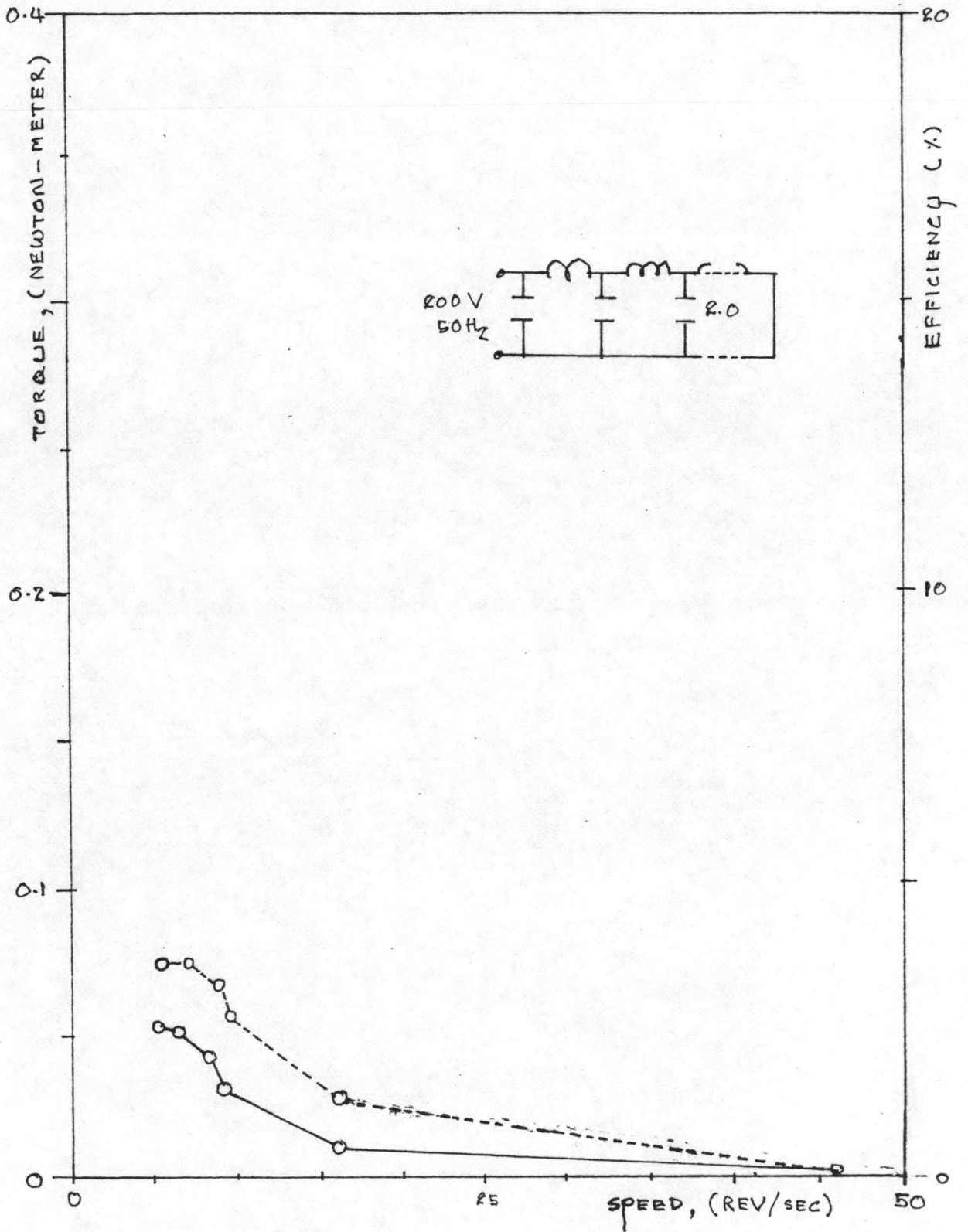
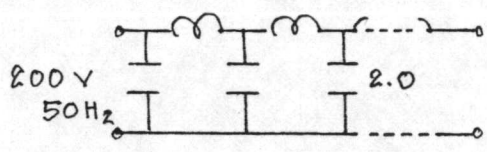
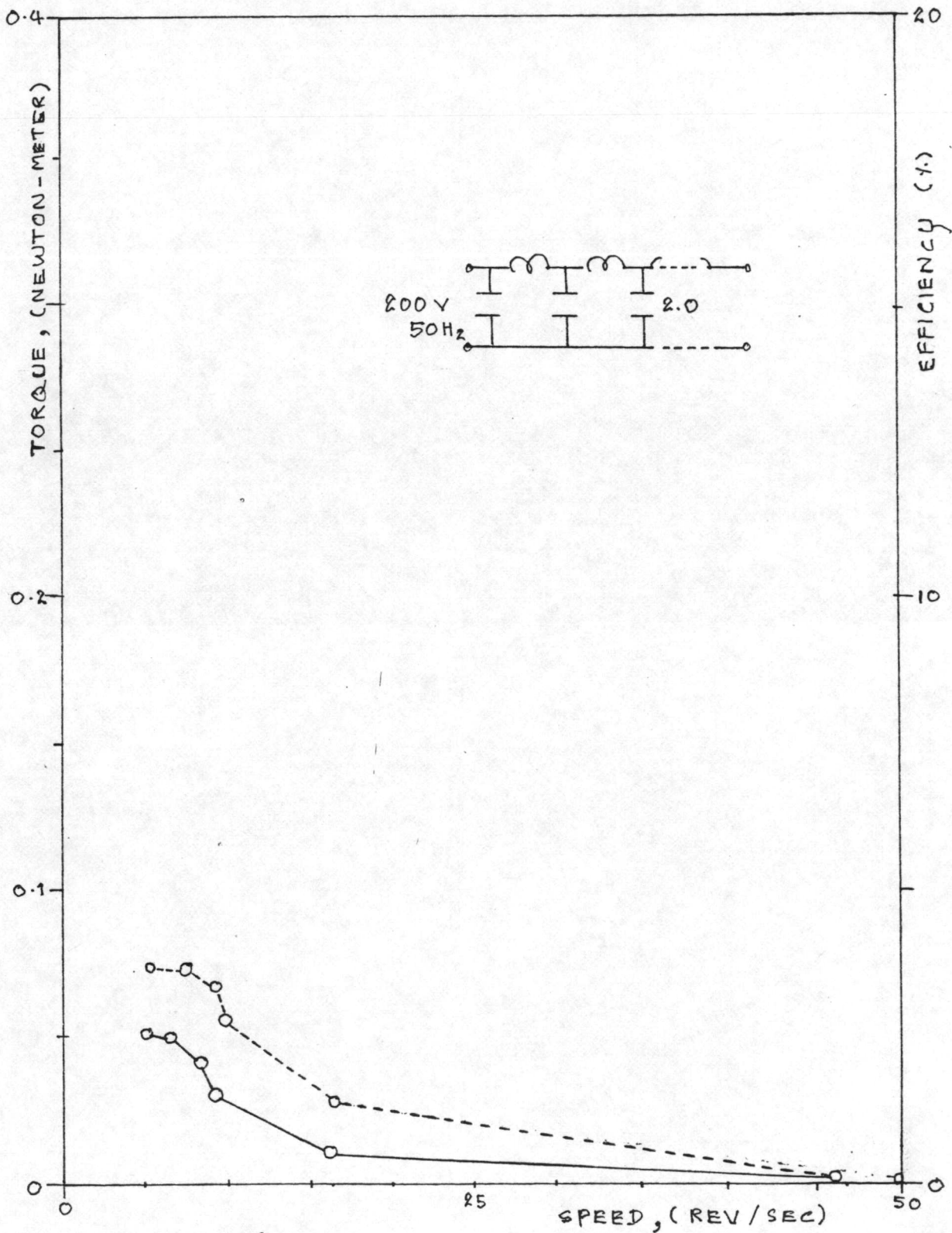
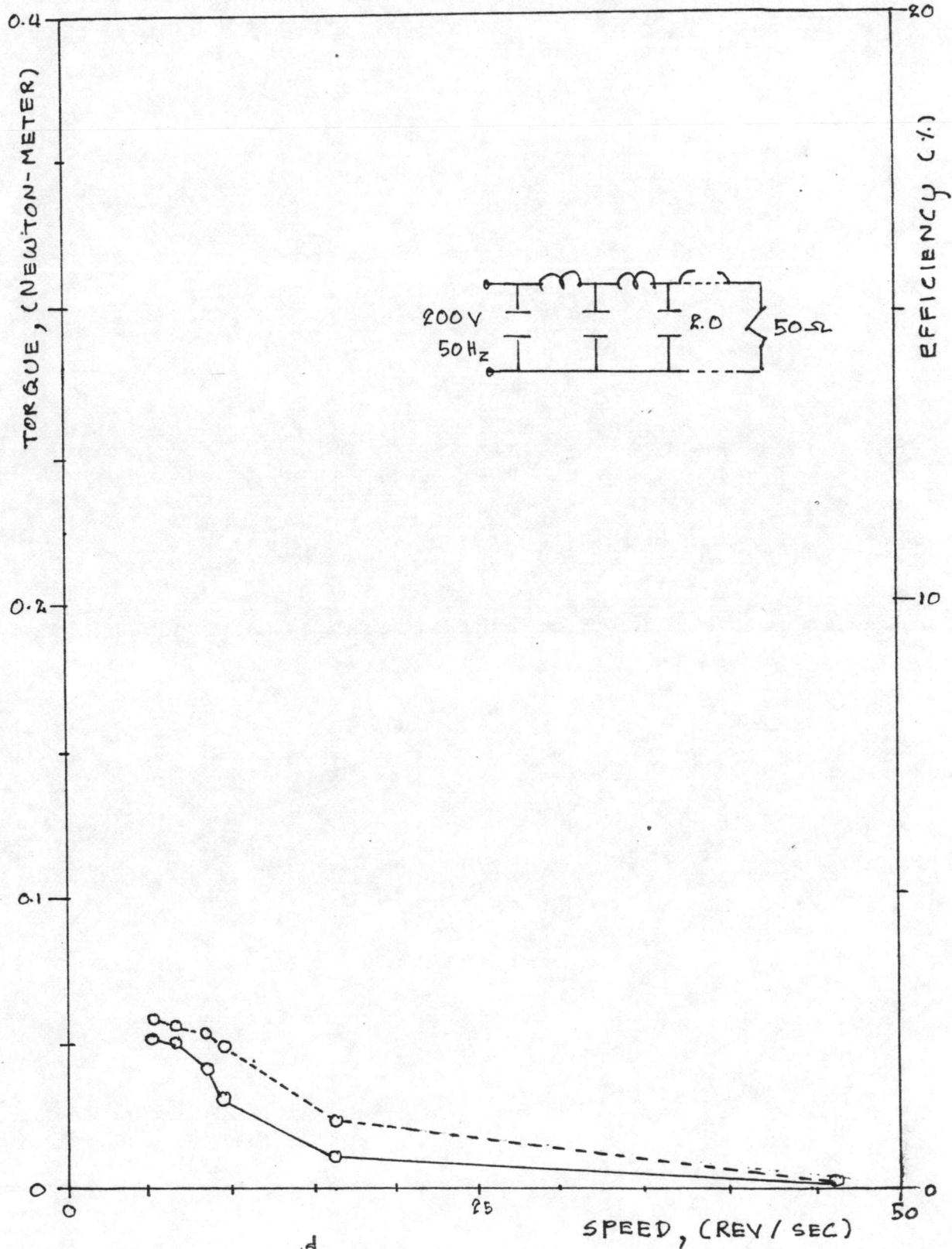


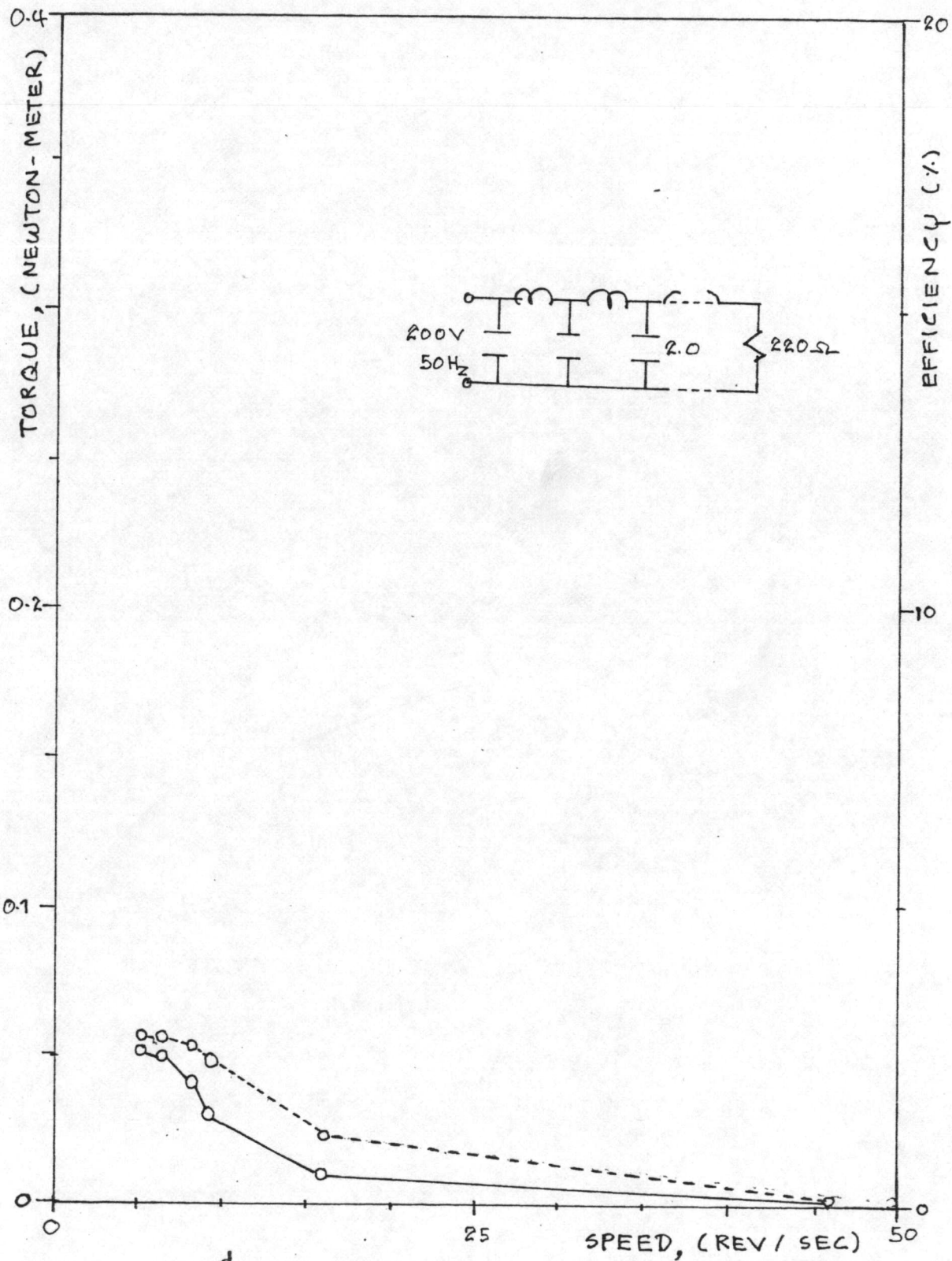
Figure 14



รูปที่ ๑-15



รูปที่ 1-16



รูปที่ ๓-17

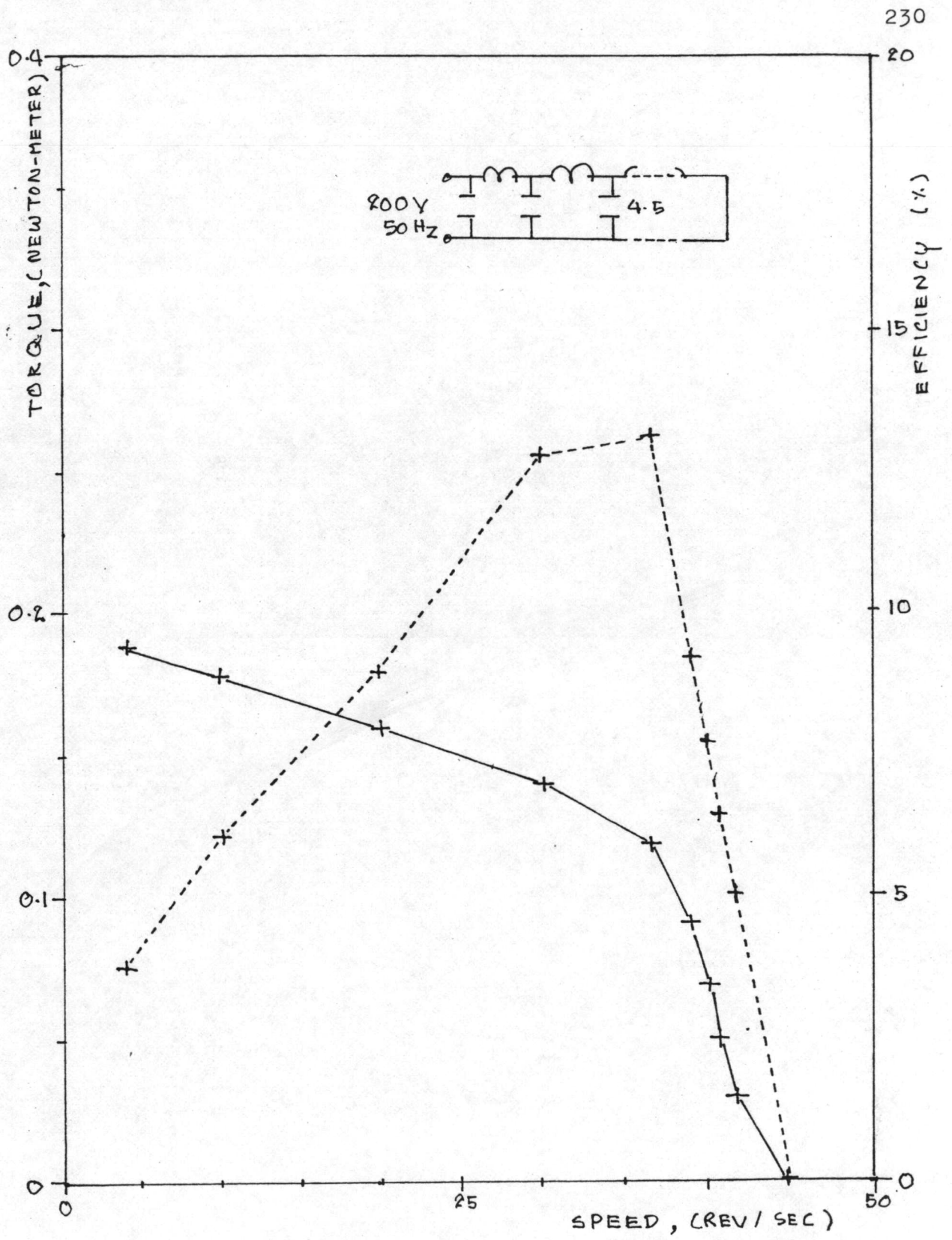
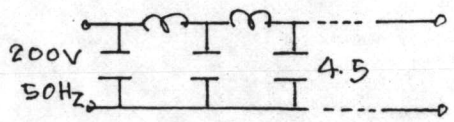
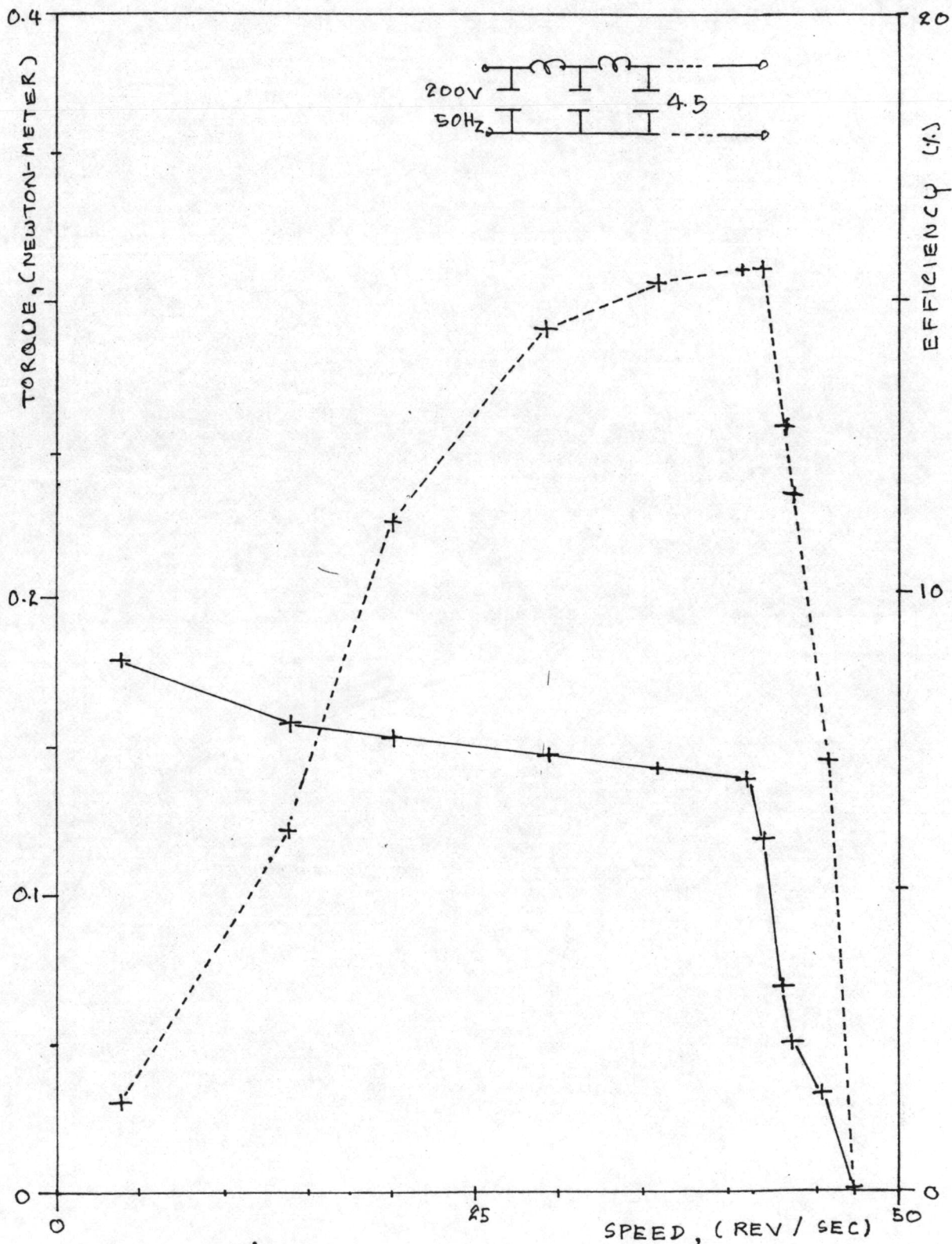
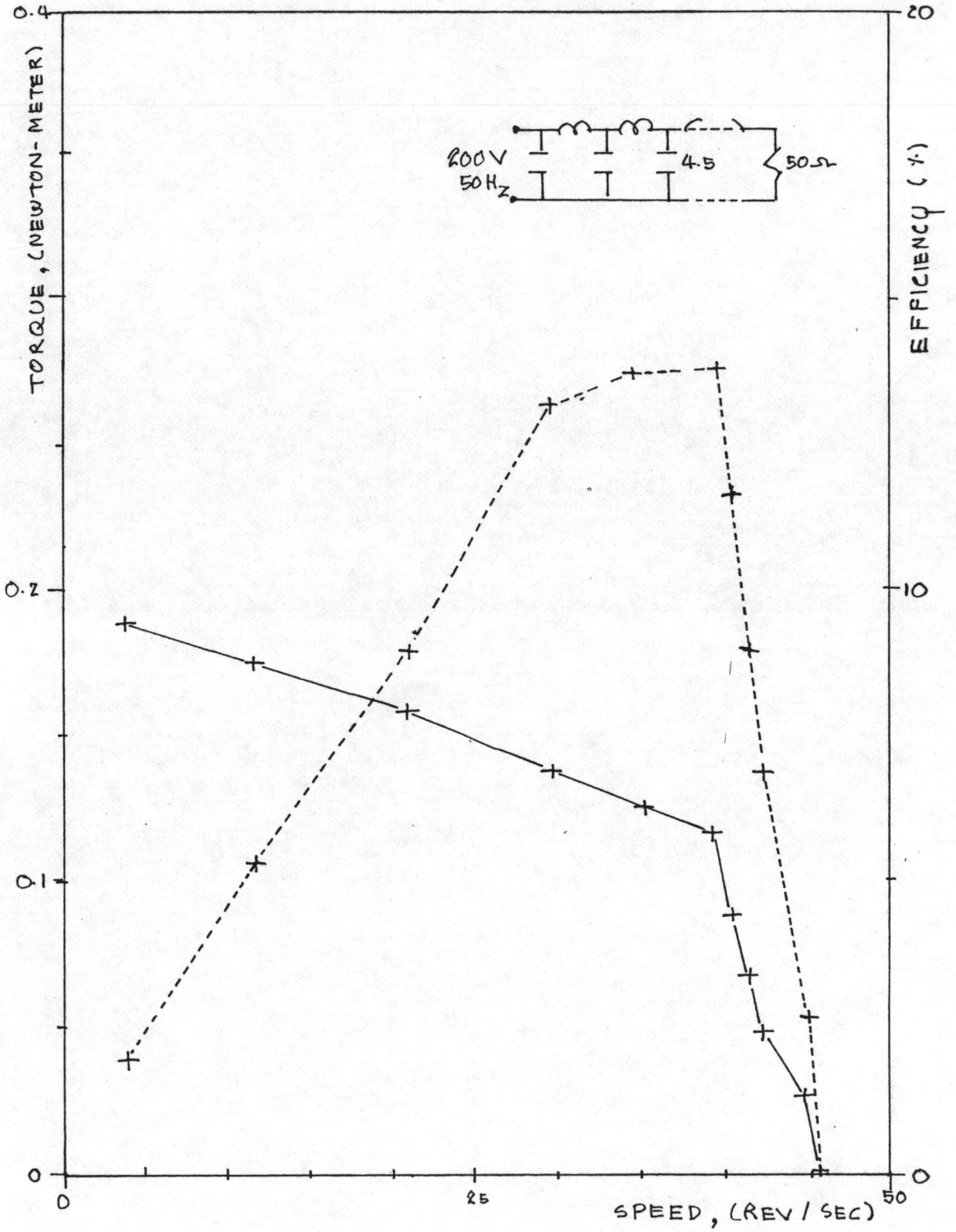


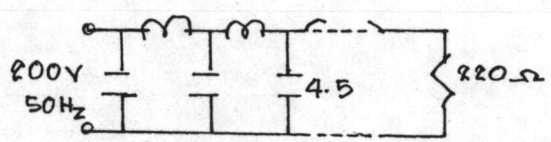
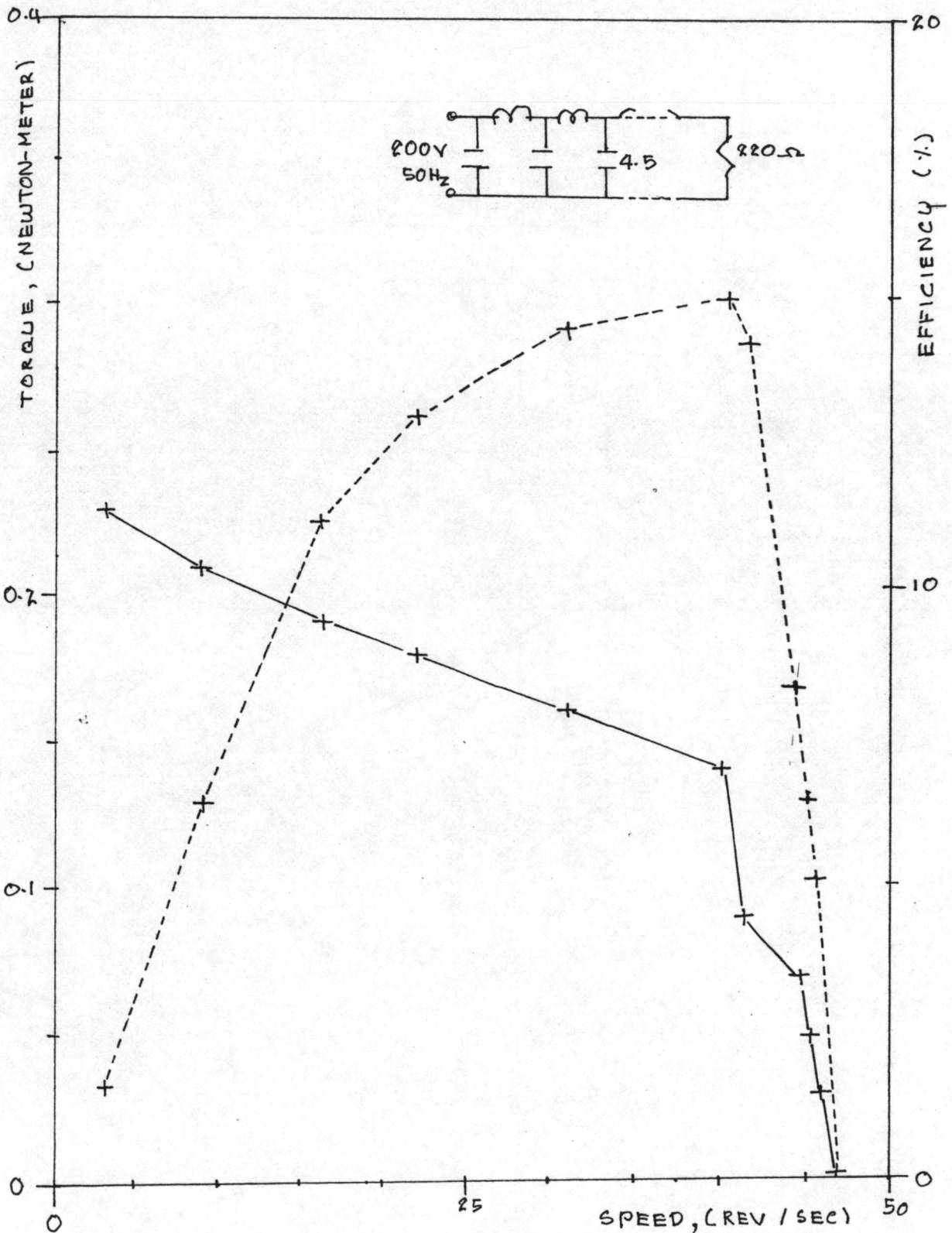
Figure 1-18



รูปที่ ๓-19

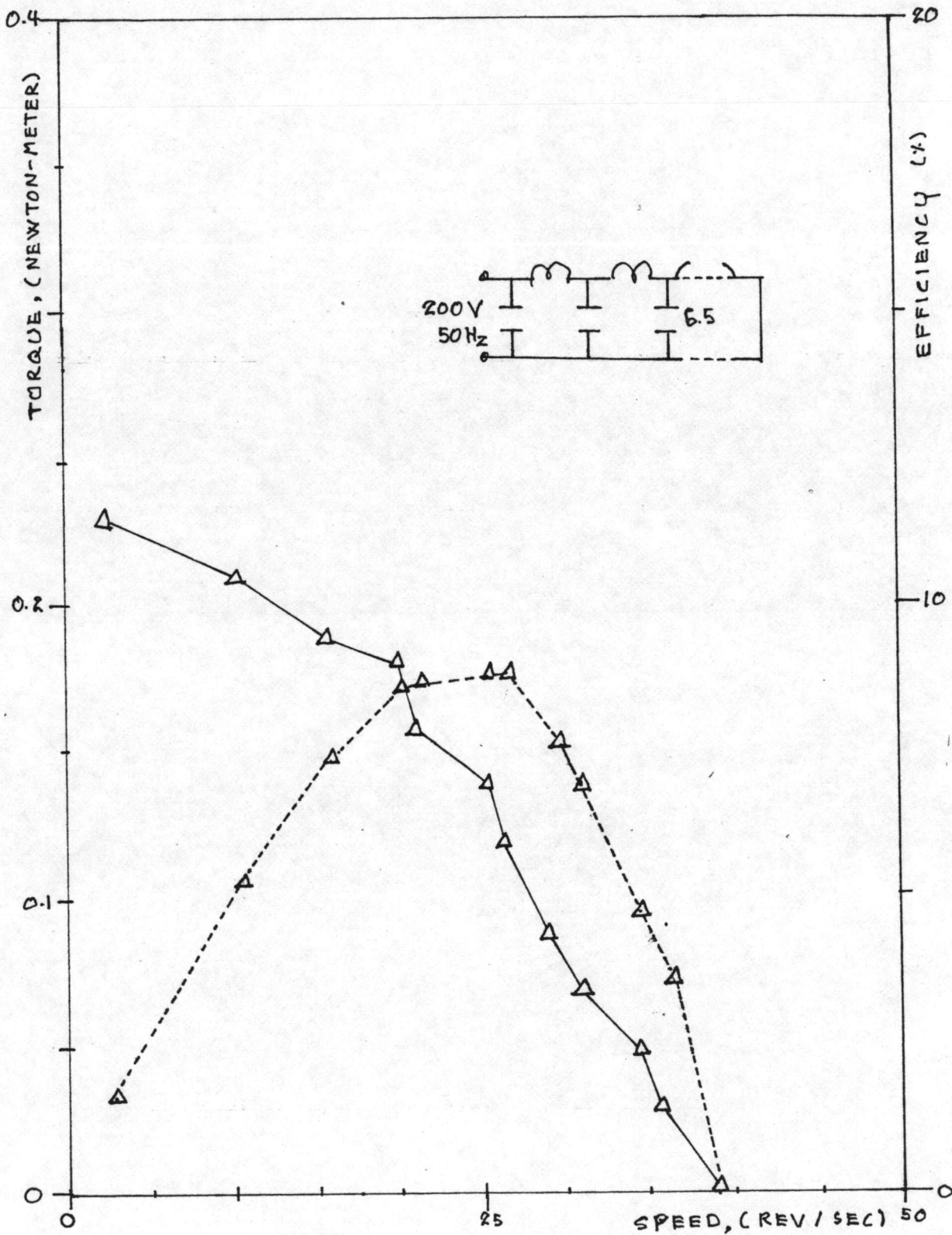


รูปที่ ๗-20

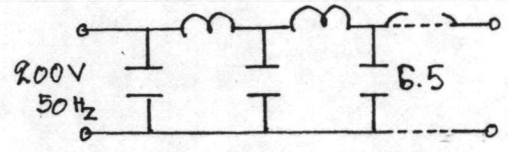
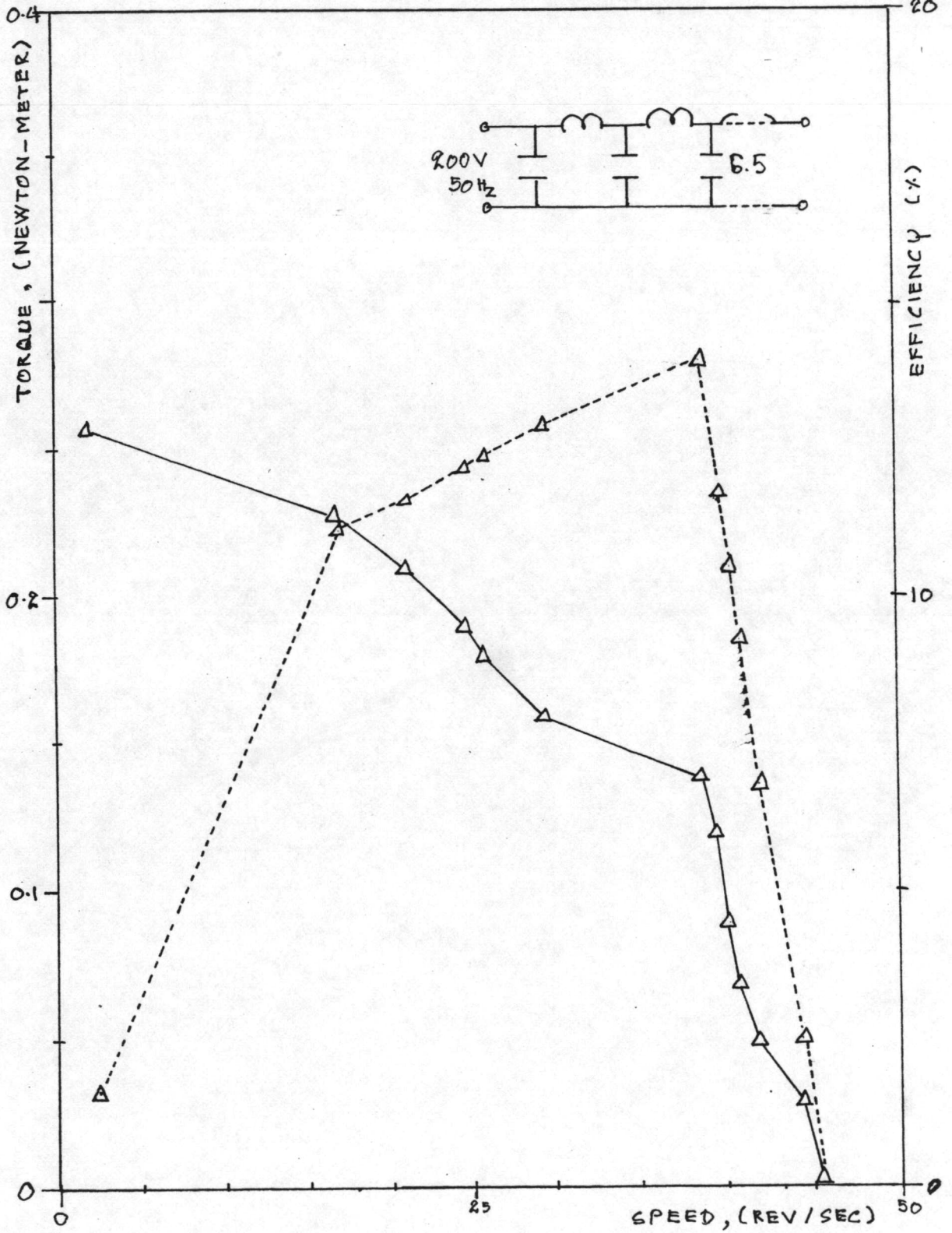


รูปที่ ๓-21

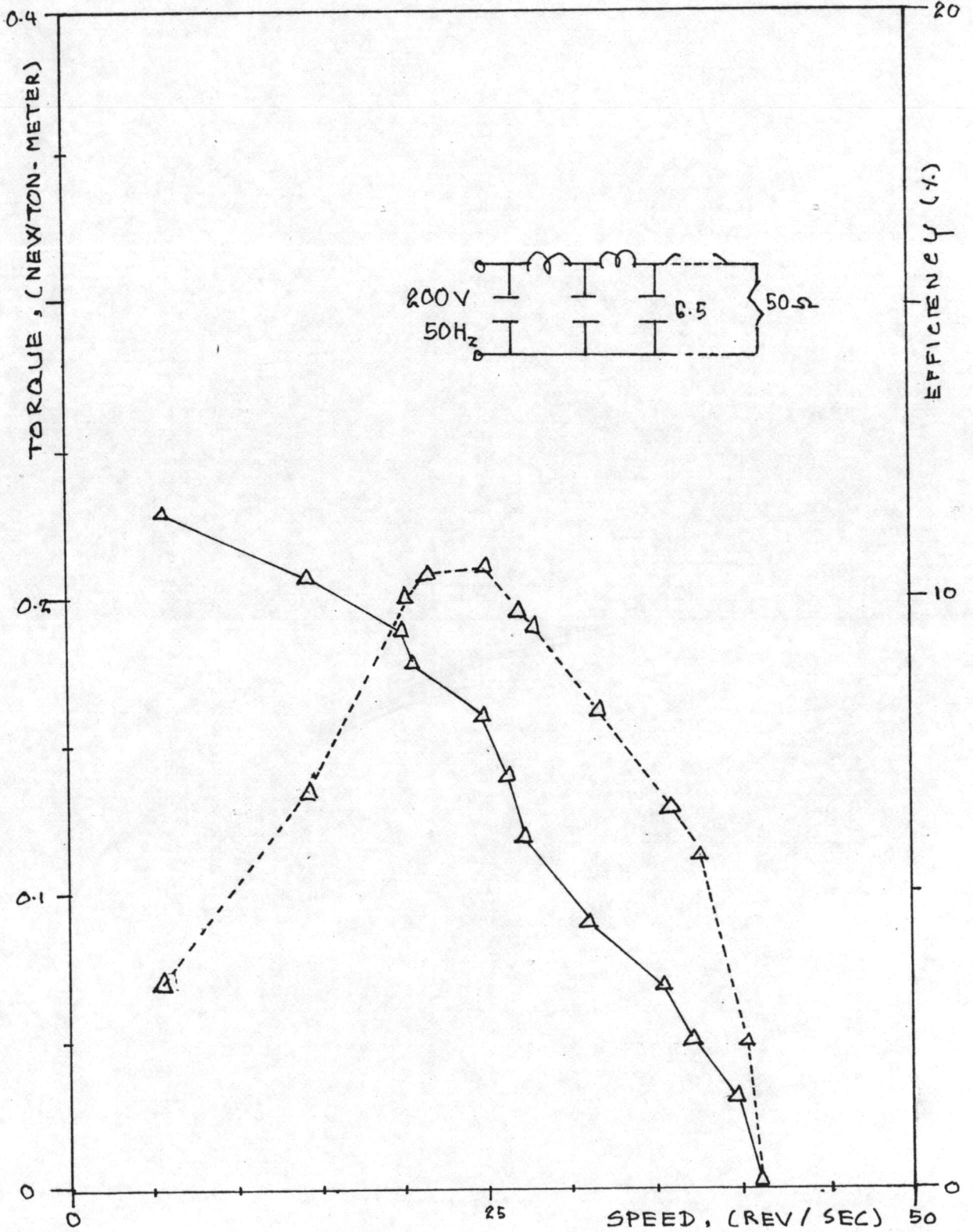




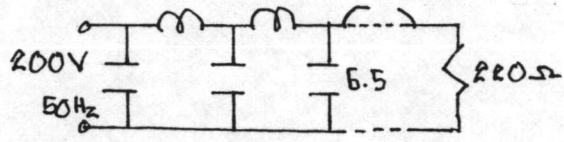
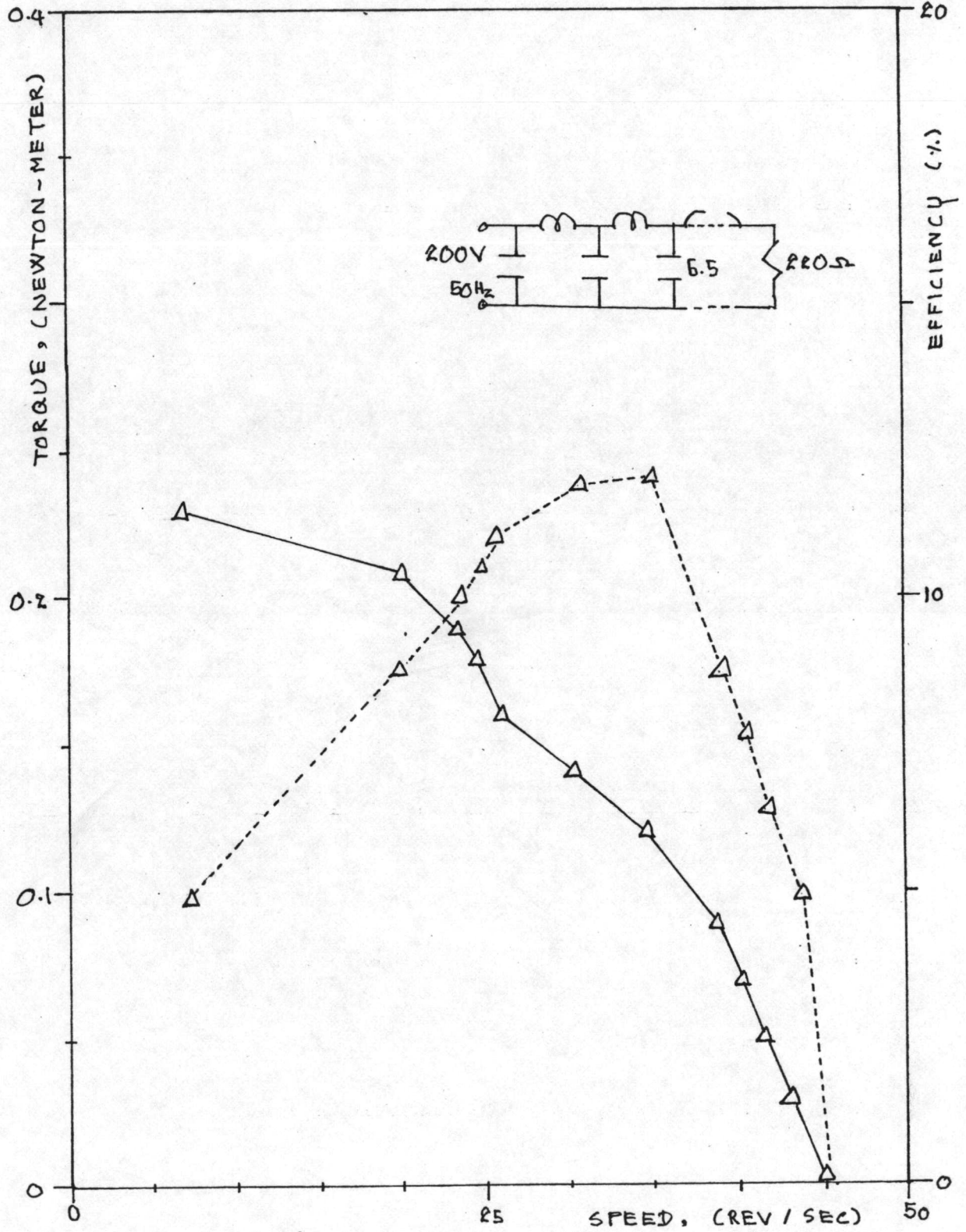
รูปที่ ๓-๒๒



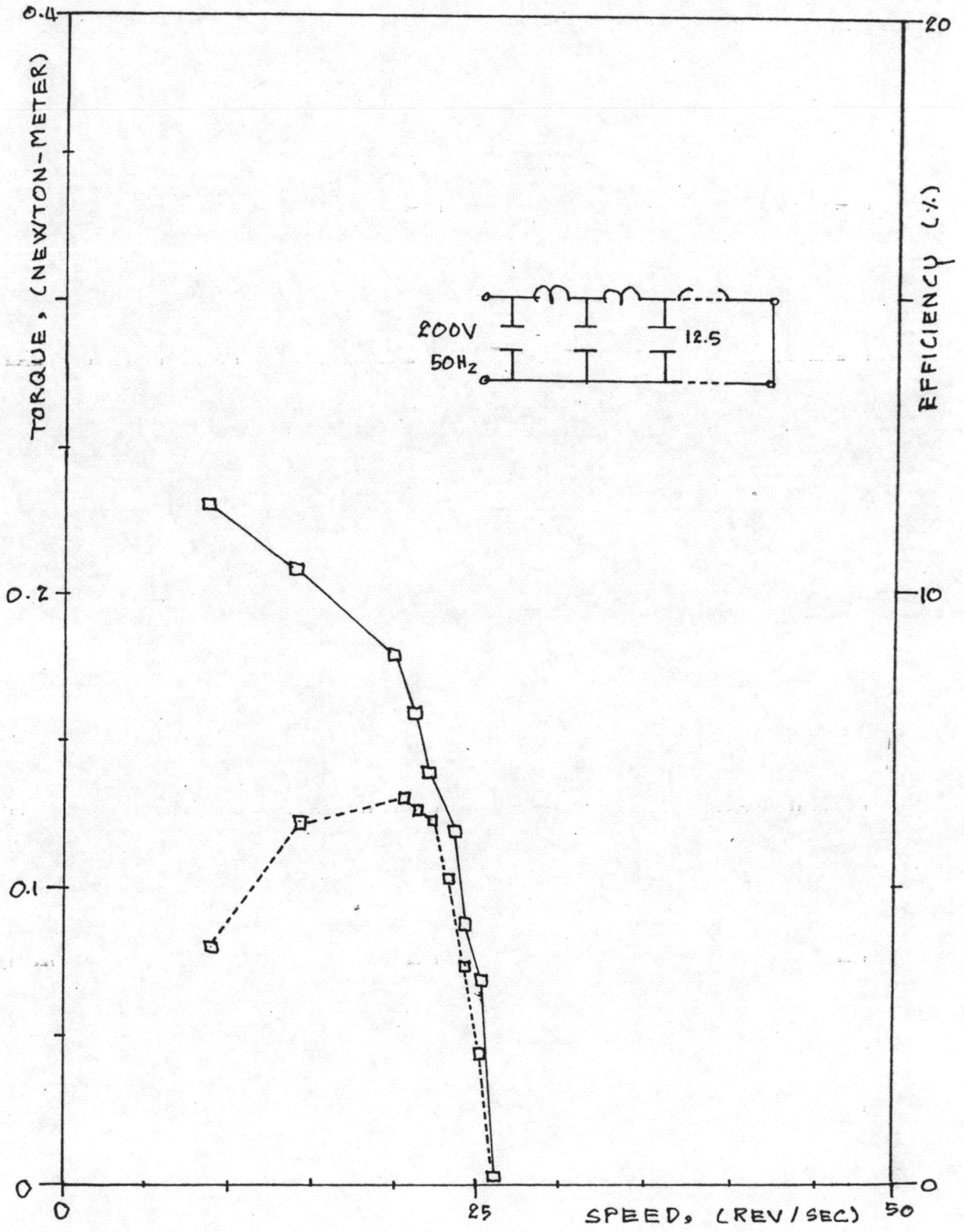
รูปที่ ๓-23



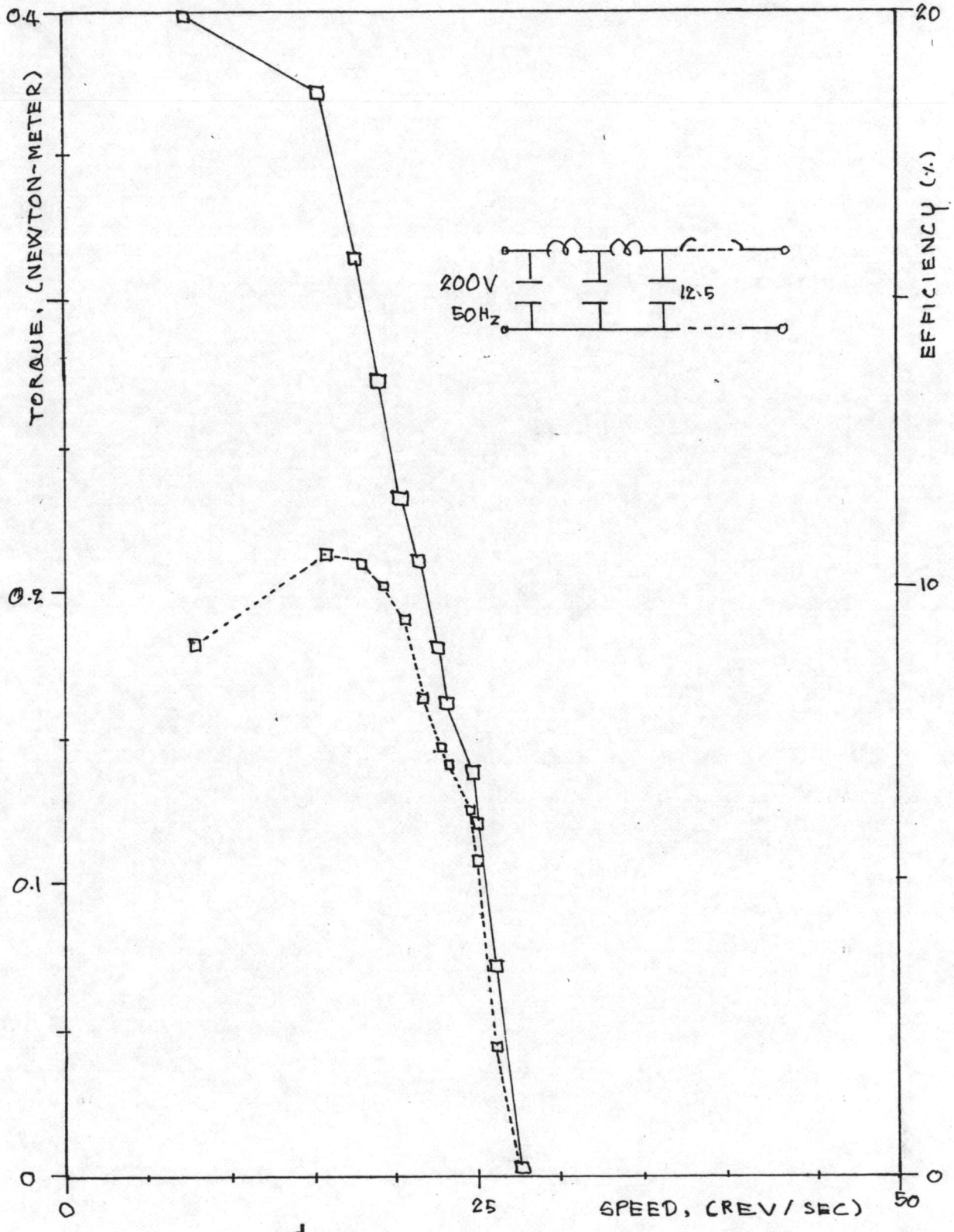
รูปที่ ๑-24



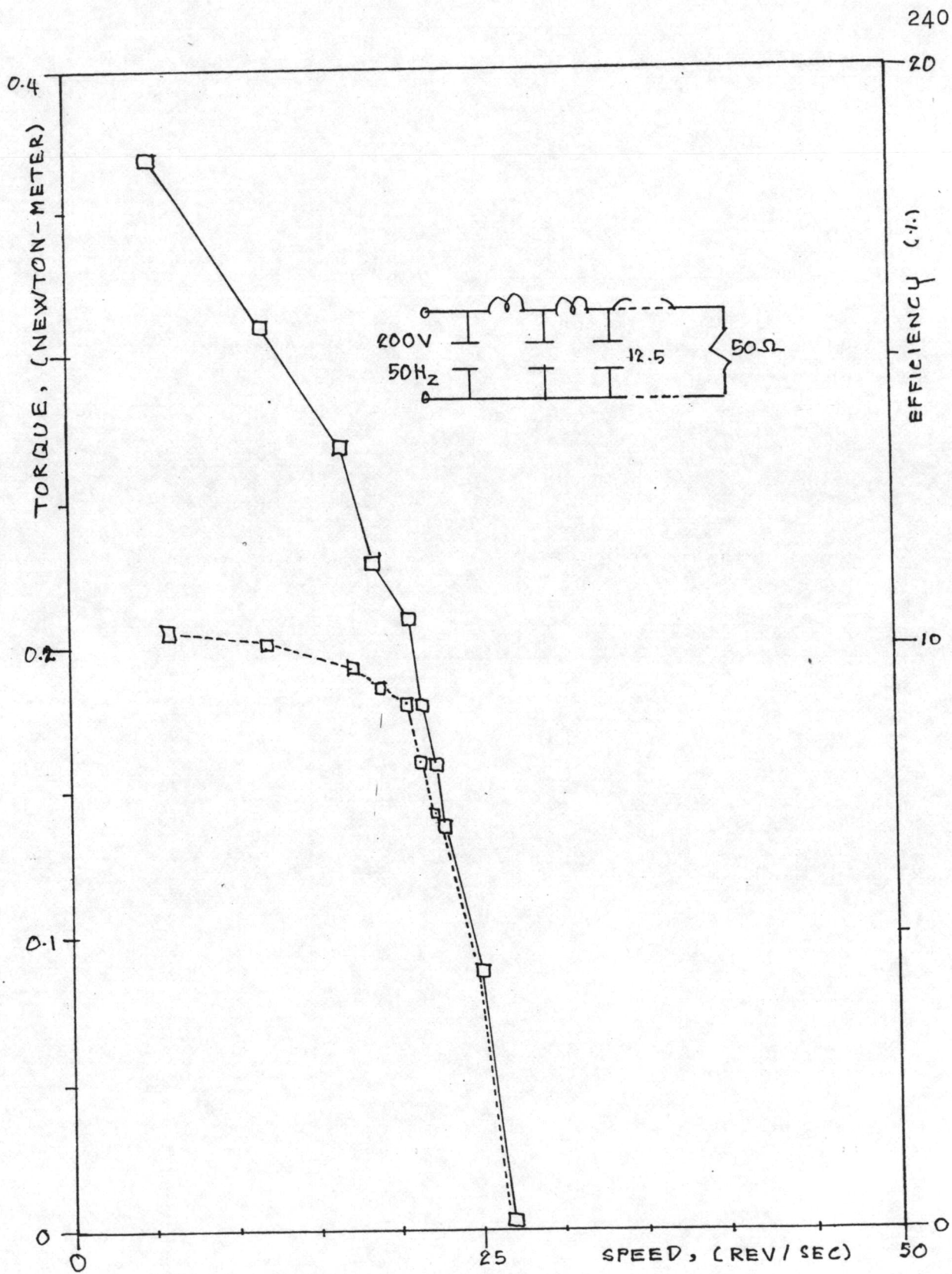
รูปที่ ๓-25



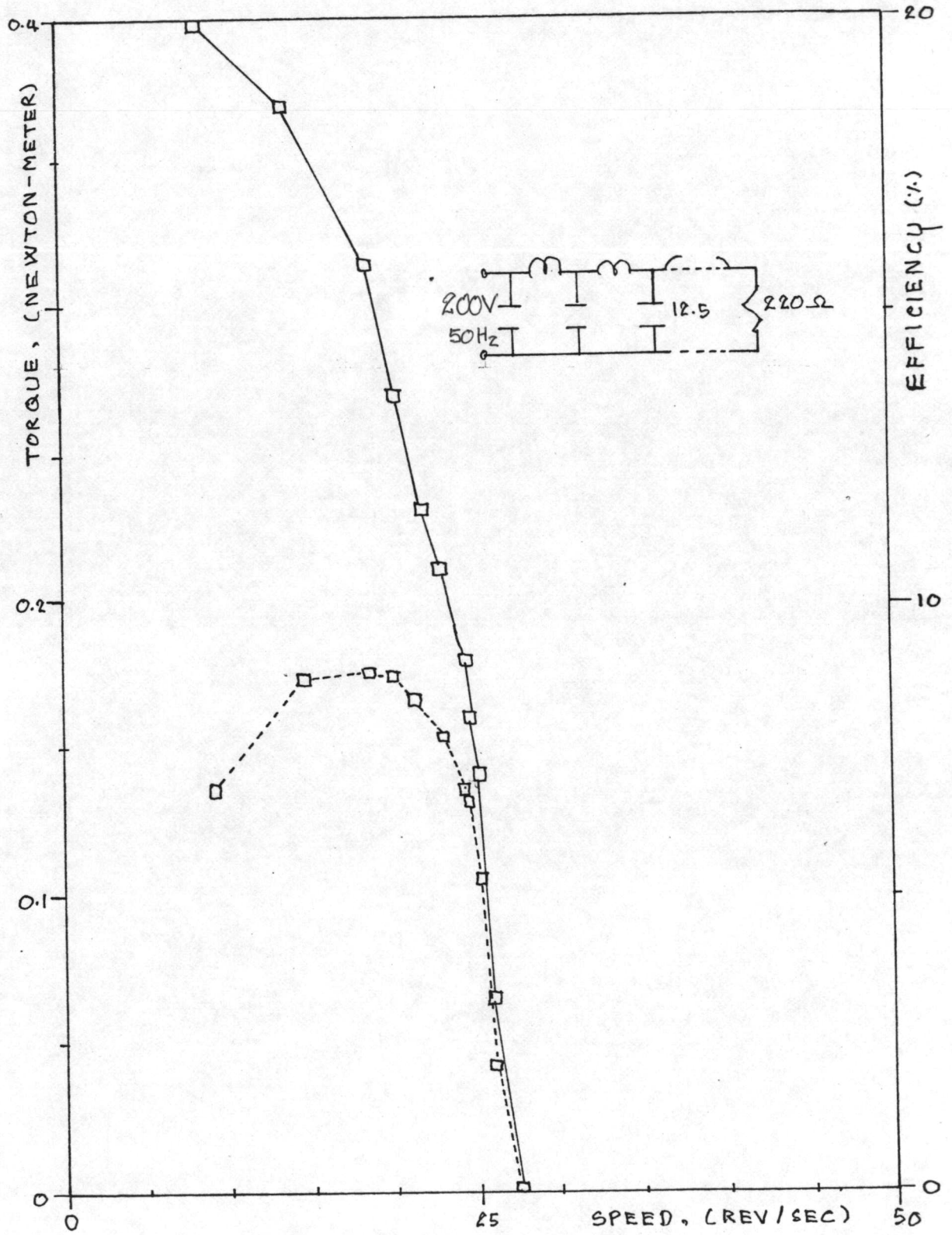
รูปที่ ๓-26



รูปที่ ๑-๒๗



รูปที่ ๕-๒๘



รูปที่ ๕-29



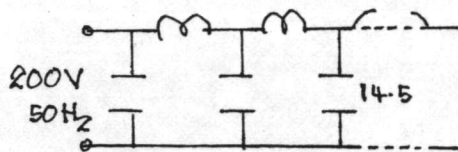
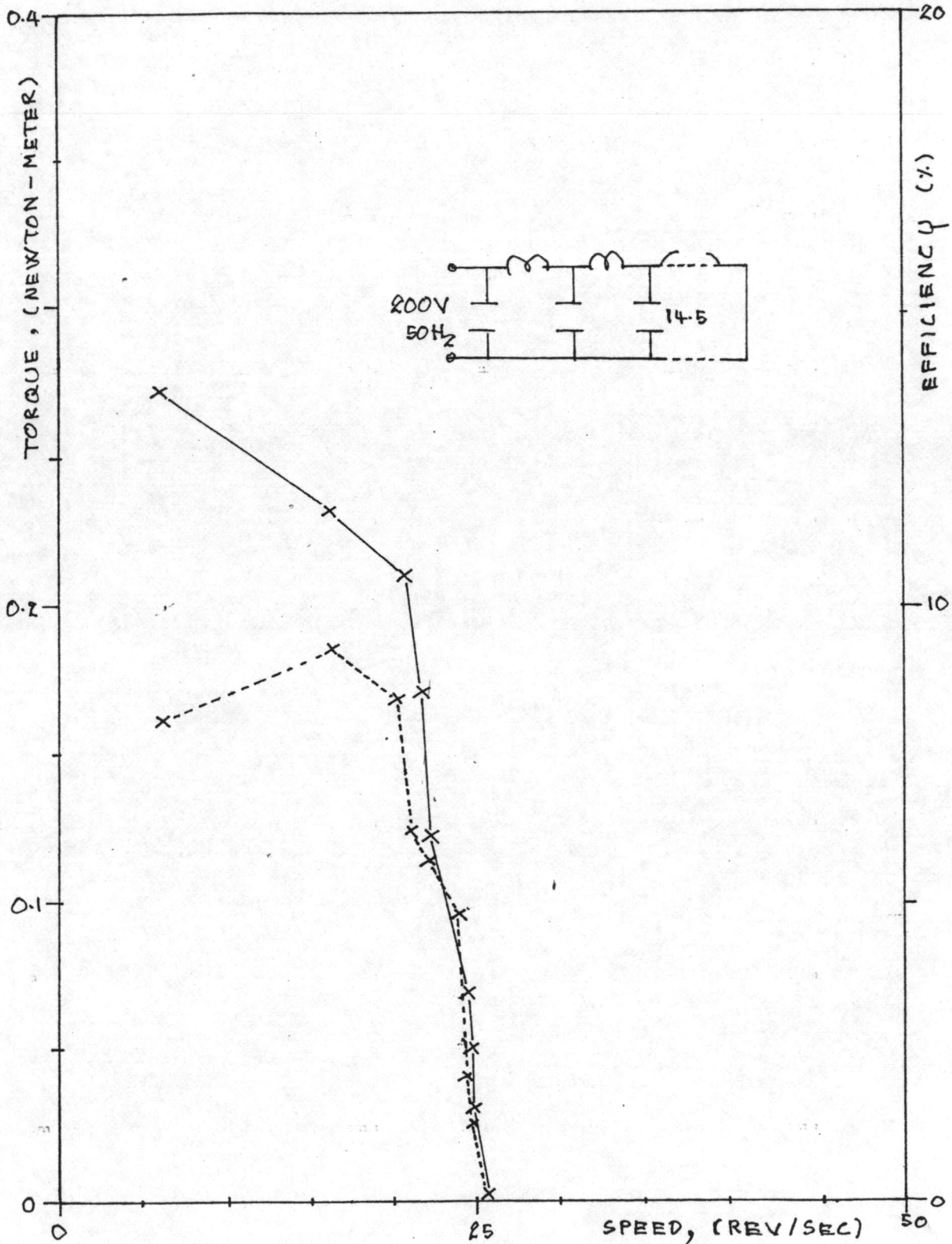


Figure 11-30

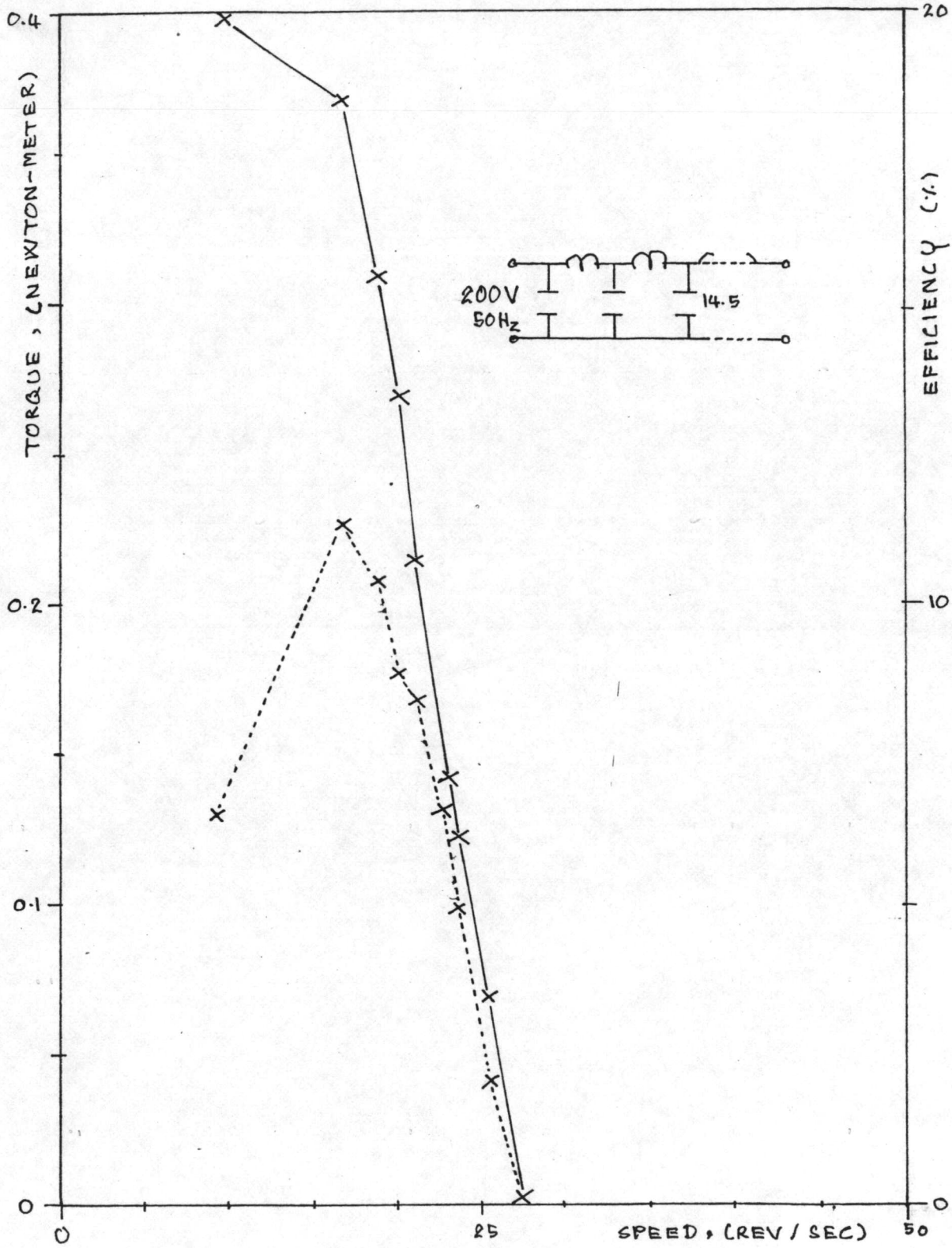
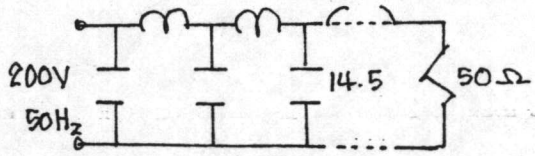
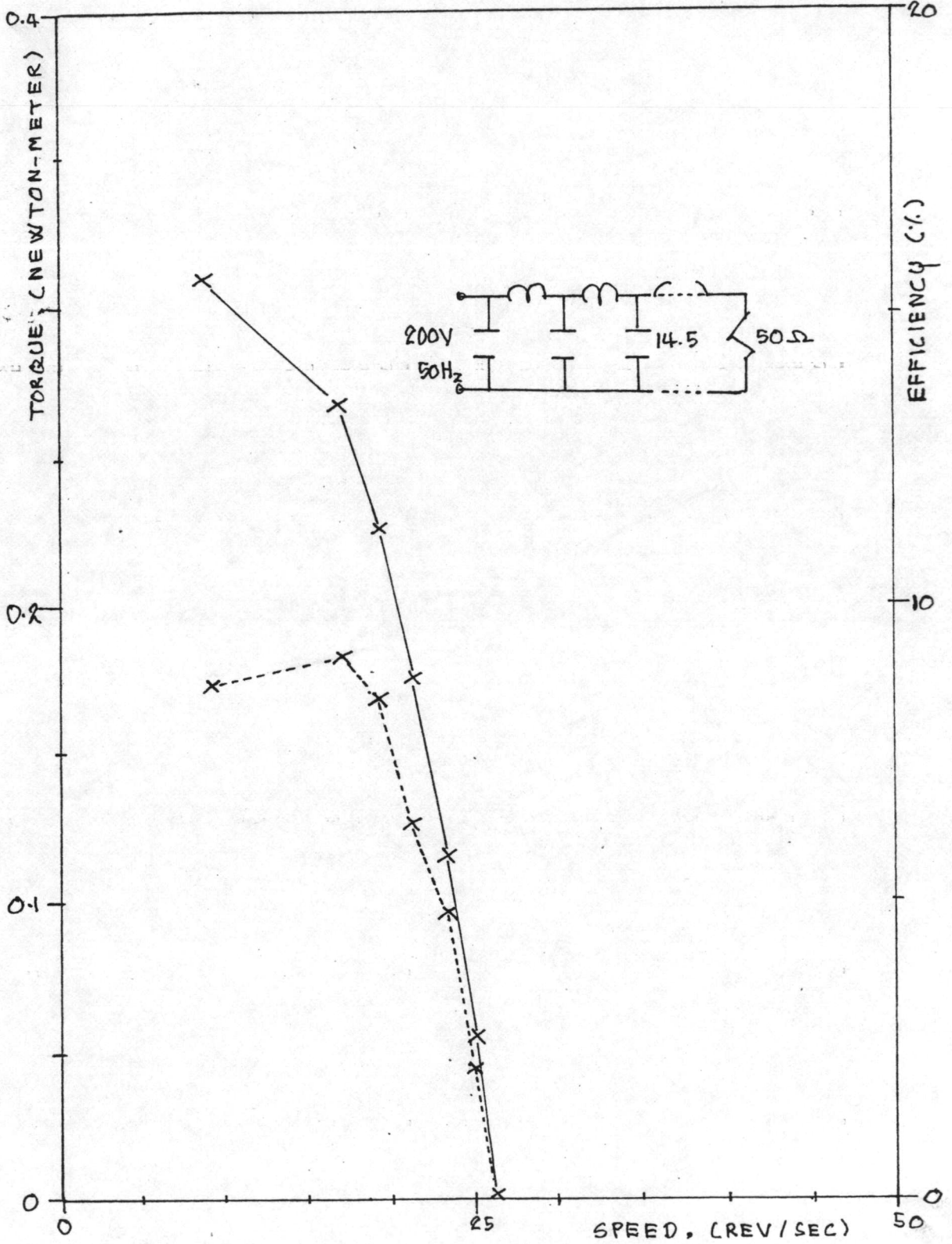
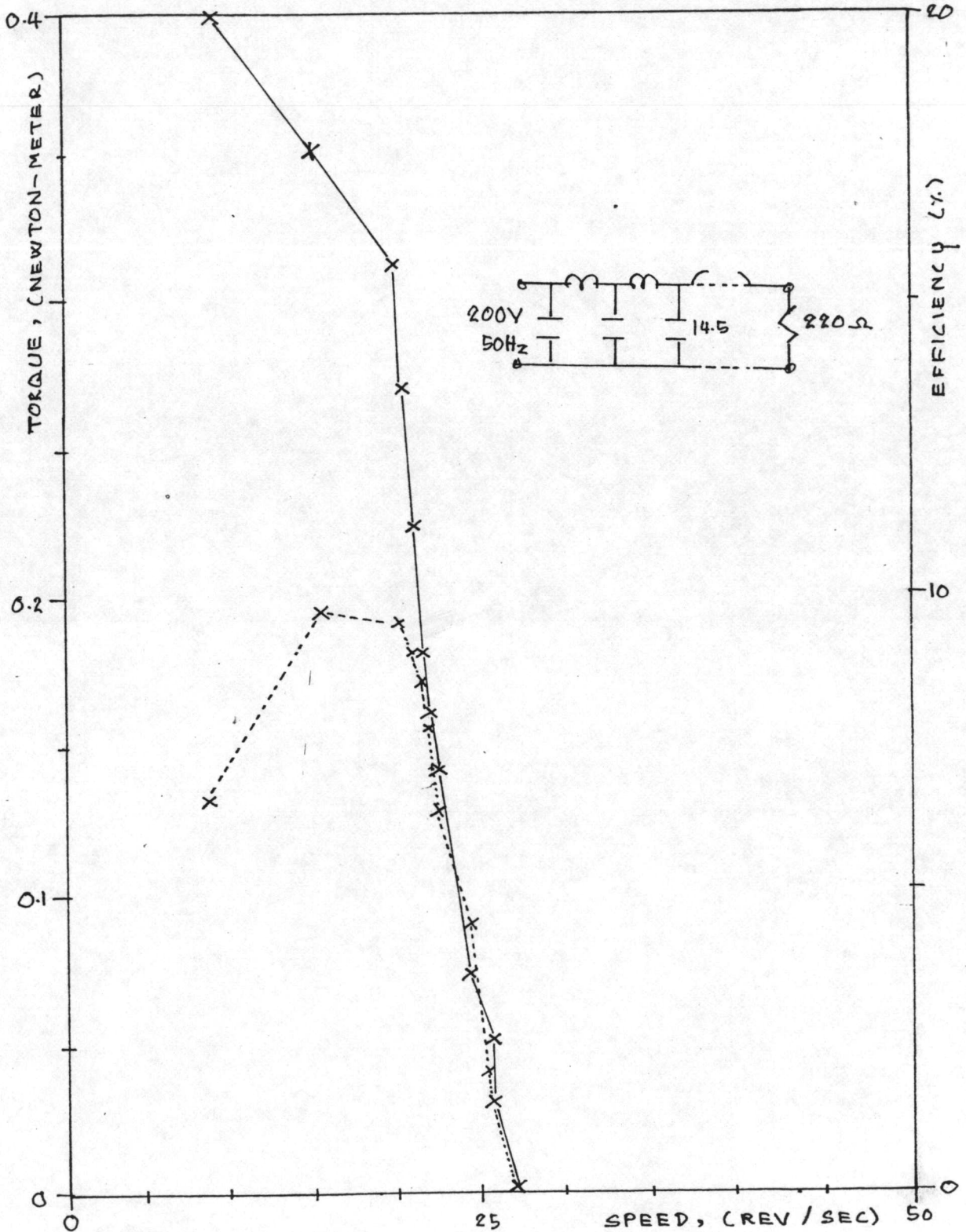


Figure 1-31



รูปที่ ๓-32



รูปที่ ๑-๓๓

ภาคผนวก ๕

นิยามศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

## นิยามศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์



1. มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา (มอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา) : ชื่อเฉพาะของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้หลักการสายส่งไฟฟ้า
2. คลื่นเดินทาง : คลื่นที่ประกอบด้วย คลื่นเคลื่อนหน้า และคลื่นถอยหลัง ซึ่งมีขนาด, และความเร็วเท่ากัน
3. คลื่นสะท้อนกลับ : คลื่นเคลื่อนหน้าที่สะท้อนกลับตามจุดต่อของวงจร เนื่องจากวงจรเป็นช่วงค่า, หรือสะท้อนกลับที่จุดปลายของวงจร
4. คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า : สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในลักษณะของคลื่นเดินทาง
5. วงจรปฐมภูมิ : วงจรแม่เหล็ก และวงจรไฟฟ้า, ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา, ประกอบด้วยค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า, (ส่วนอนุกรม) และค่าความจุไฟฟ้า (ส่วนต่อขนาน)
6. วงจรหุคิยภูมิ : หมายถึง โรเตอร์หุ้มแผ่นตัวนำของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา

ประวัติผู้เขียน



นาย โกวิท มาศรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2499 ที่  
จังหวัด เชียงใหม่ สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา จาก โรงเรียนปิ่นสร้อยแยลล์-  
วิทยาลัย เชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2517