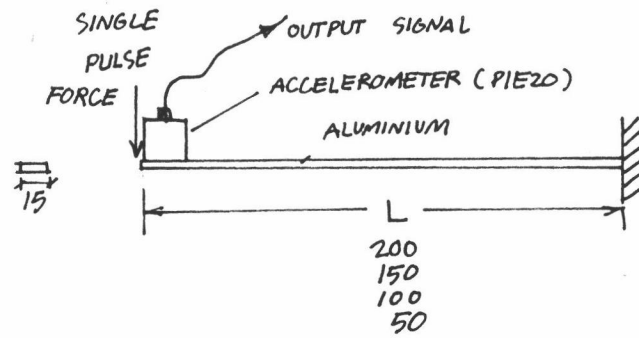


ตัวอย่างการทดลองใช้วิธีการกับระบบจริง

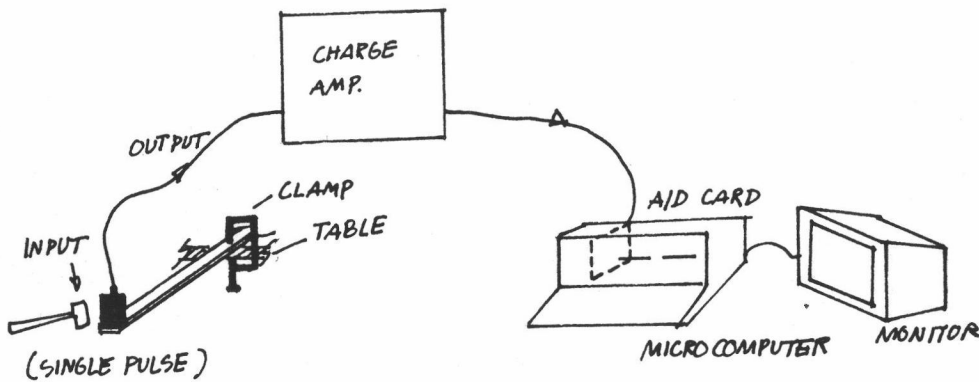
การทดลองใช้วิธีการกับระบบจริงประกอบด้วย การทดลอง 2 ตอน คือ ตอนแรกจะทำการทดลองประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบซึ่งเป็นชุดทดลอง ประกอบด้วย การประมาณความถี่ธรรมชาติของคานแบบแคนทิลิเวอร์ (Cantilever Beam) และการประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของชุดทดลองมอเตอร์กระแสตรง ส่วนตอนที่สองจะทำการทดลองกับระบบไต่ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟ ประกอบด้วย การหาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง และการประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบขับเคลื่อน

ในการทดลองกับระบบจริงนี้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับสุ่มเก็บข้อมูล อินพุตและเอาพุตเข้ามาเก็บในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ทรานสดิวเซอร์สำหรับเปลี่ยนอินพุตหรือเอาพุตให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แอมพลิไฟเออร์สำหรับขยายสัญญาณ และอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกให้เป็นดิจิตอล (A/D) ดังแสดงในรูป (1-2) รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

6.1 ตัวอย่างการทดลองหาความถี่ธรรมชาติของคานแบบแคนทิลิเวอร์ (Cantilever Beam) ตัวคานทำด้วยอลูมิเนียม ยึดปลายข้างหนึ่งเข้ากับโต๊ะ การหาความถี่ธรรมชาติเลือกใช้การทดสอบด้วยอินพุตแบบพัลส์เนื่องจากง่ายต่อการทดลอง เอาพุตที่ทำการวัดเป็นความเร่งที่ตำแหน่งเดียวกับอินพุต การที่เลือกวัดความเร่งเนื่องจากตัววัดความเร่ง (Accelerometer) สามารถติดตั้งเข้ากับระบบได้โดยง่าย และเนื่องจากการทดลองนี้เป็นเพียงการทดลองเพื่อตรวจดูวิธีการเท่านั้น จึงไม่คำนึงถึงผลของอุปกรณ์วัดที่มีต่อคาน โดยจะถือว่าตัววัดความเร่งที่ติดเข้ากับคานเป็นส่วนหนึ่งของระบบด้วย ดังนั้นความถี่ธรรมชาติที่ได้จึงเป็น



(a) แสดงตัวระบบอันประกอบด้วยคานแบบแคนทิลิเวอร์ และตัววัดความเร่ง



(b) แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลอง

รูป 6-1 แสดงการทดลองหาความถี่ธรรมชาติของคานแบบแคนทิลิเวอร์

ความถี่ธรรมชาติรวมของทั้งระบบอันประกอบด้วยคานและมวลติดที่ปลาย (ตัววัดความเร่ง) ดังแสดงในรูป (6-1-a) การทดลองได้เปลี่ยนค่าความยาว L ของคานไป 4 ค่า คือ 200 150 100 และ 50 mm ตามลำดับ อุปกรณ์การทดลองทั้งหมดแสดงในรูป (6-1-b) ประกอบด้วยตัวระบบ (คานและตัววัดความเร่ง) ตัววัดความเร่งที่ใช้เป็นแบบ Piezoelectric ซึ่งขยายสัญญาณและเปลี่ยนเป็นค่าโวลต์เตจโดยชาร์ทแอมพลิไฟเออร์ (Charge Amplifier) แล้วจึงผ่านบอร์ด A/D ที่ต่ออยู่กับสลอต (slot) ในไมโครคอมพิวเตอร์ ใช้เปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลแล้วเก็บเข้าสู่หน่วยความจำเพื่อวิเคราะห์หาเฟาเวอร์เสปคตรัลเด้นซิตีโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสปคตรัมต่อไป

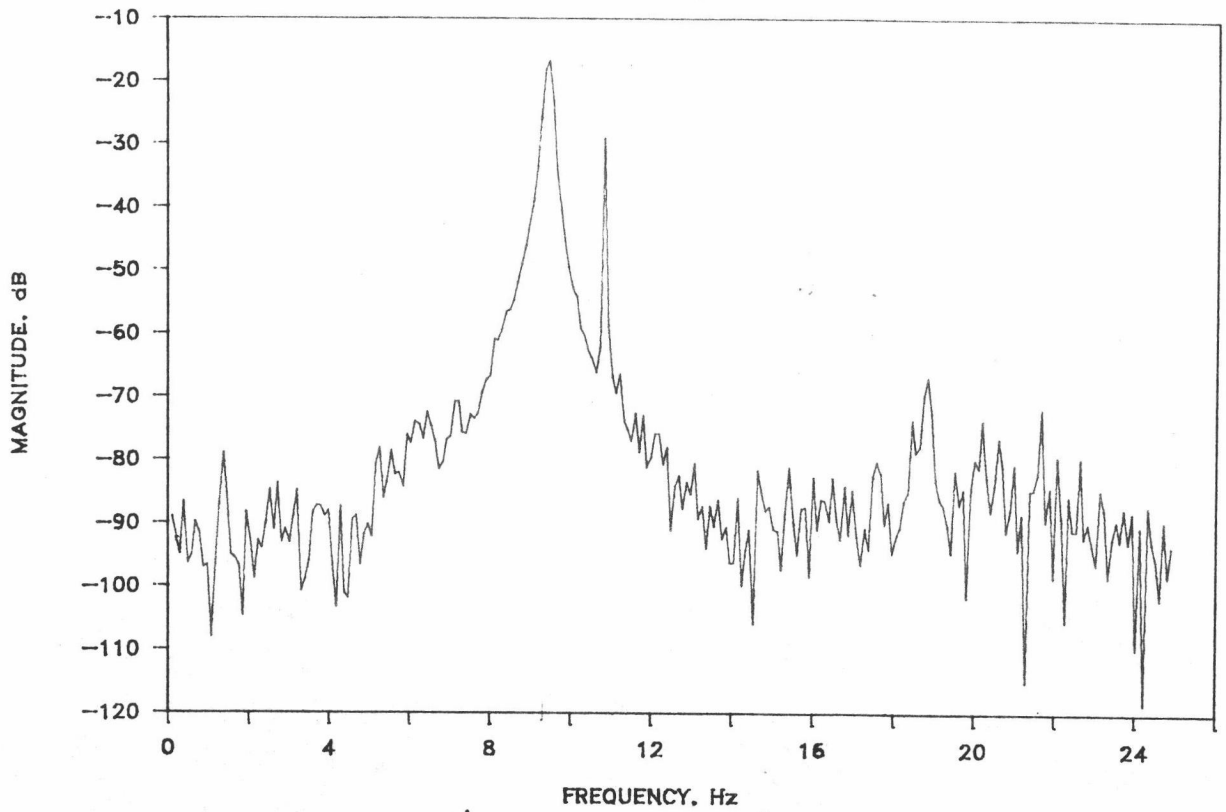
อินพุทแบบพัลส์ที่ใช้ทำโดยการติดตัวคานด้วยนิ้วมือด้วยความเร็ว
 พร้อมๆ กับการสั่งให้คอมพิวเตอร์รับข้อมูลเข้าพุท การทดลองได้วัดข้อมูลเข้าพุท
 เพียงอย่างเดียวเนื่องจากการหาค่าความถี่ธรรมชาติมิได้สนใจถึงขนาดแต่สนใจ
 เพียงตำแหน่งจึงไม่จำเป็นต้องวัดอินพุทเข้ามาด้วย (ดูบทที่ 3) ตำแหน่งความถี่
 ธรรมชาติ หาได้โดยดูจากตำแหน่งของยอดสูง (Peak) ในรูปแมกนิจูดของ
 เสปคตรัมของเข้าพุท

รูป (6-2) (6-3) (6-4) และ (6-5) แสดงแมกนิจูดของ
 เสปคตรัมของสัญญาณความถี่ที่ได้จากการทดลอง เมื่อเปลี่ยนค่าความยาว L
 เป็น 200 150 100 และ 50 มิลลิเมตร และความถี่ในการสุ่มข้อมูล
 แต่ละกรณีเป็น 50 100 100 และ 200 Hz ตามลำดับ ค่าความถี่ธรรมชาติ
 ซึ่งเป็นโหมดแรก แสดงในตาราง (6-1) แปรผันตรงกับส่วนกลับของ $(L^3)^{1/2}$ *

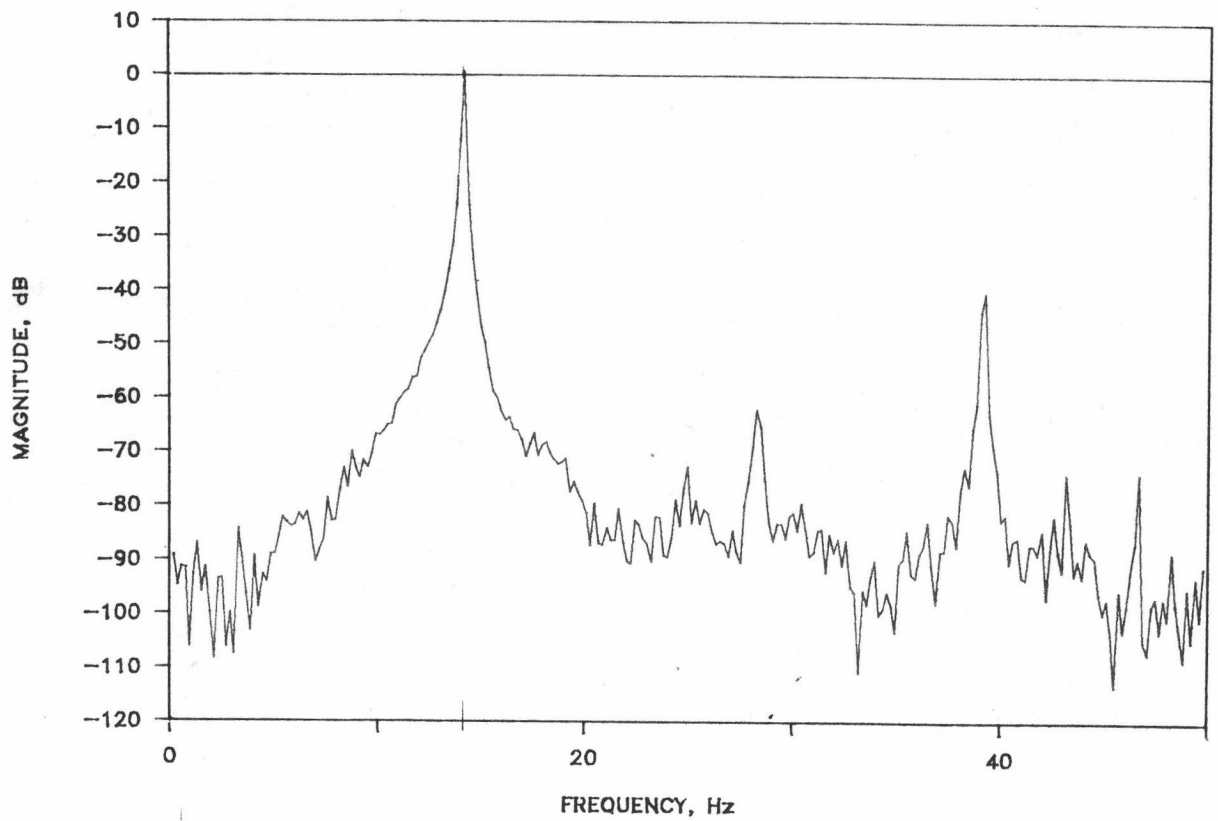
L mm	First Mode Natural Freq w_n Hz	$1/(L^3)^{1/2}$	$w_n(L^3)^{1/2}$
200	9.3	3.536×10^{-4}	2.6×10^4
150	13.8	5.443×10^{-4}	2.5×10^4
100	25.0	10.00×10^{-4}	2.5×10^4
50	61.0	28.28×10^{-4}	2.2×10^4

ตาราง 6-1 แสดงความถี่ธรรมชาติโหมดแรกที่วัดได้
 สัมพันธ์กับความยาวของคาน

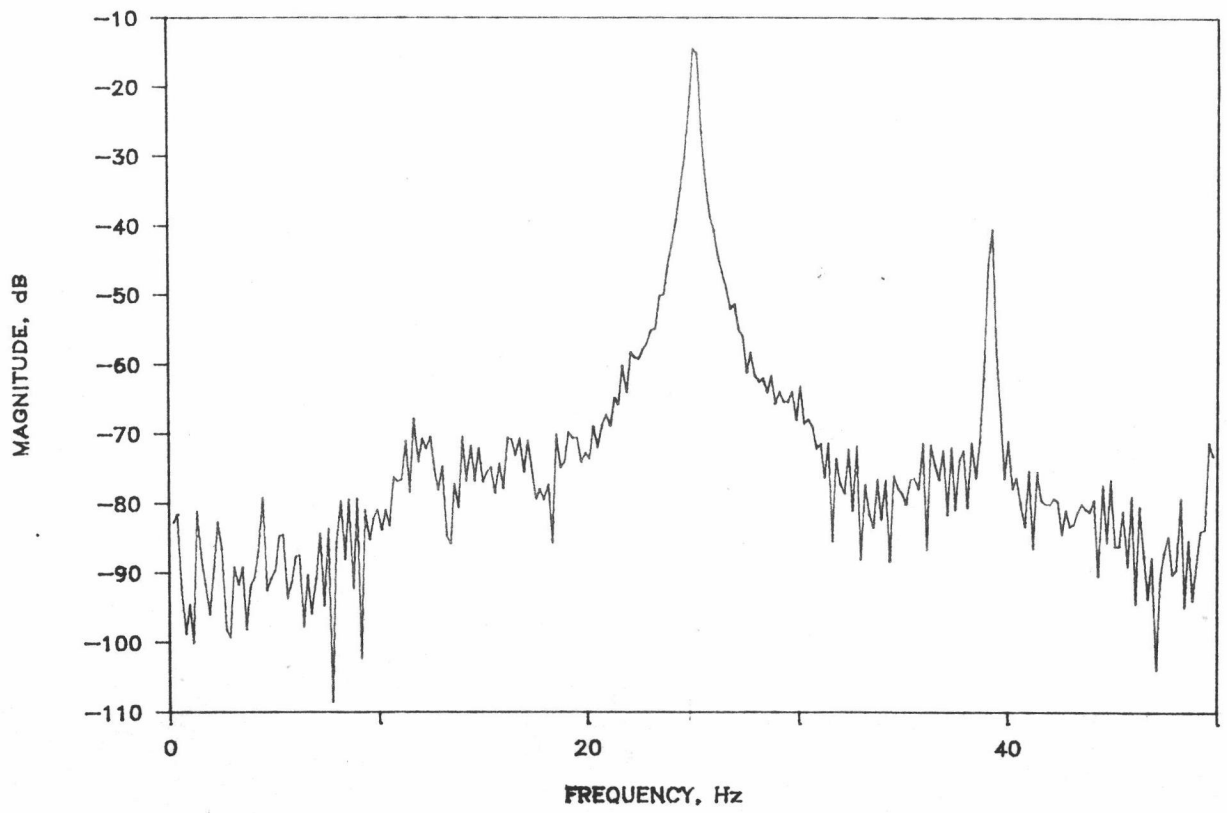
* Thomson, W T., Theory of Vibration with Appliaction, Prentice-Hall, NJ, 1981.



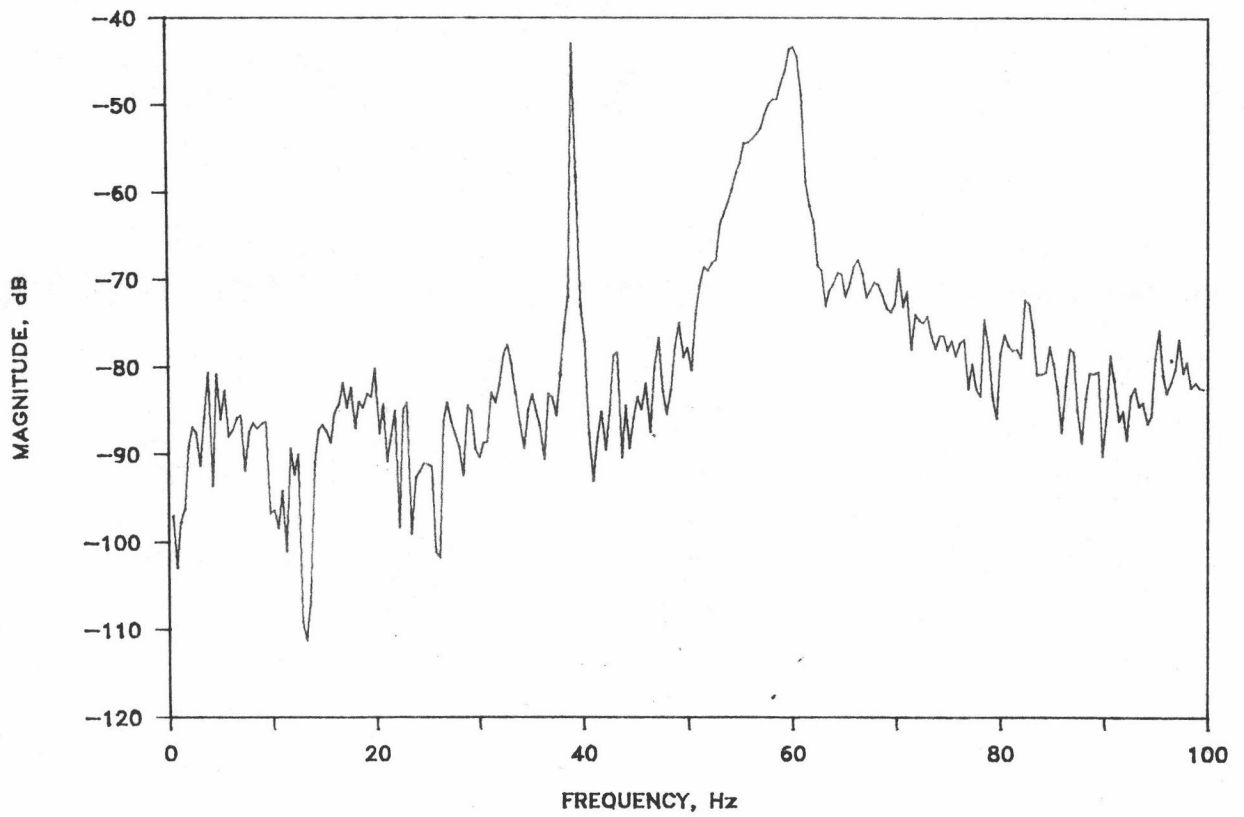
รูป 6-2 ความถี่ธรรมชาติของคานเมื่อให้คานยาว 200 mm



รูป 6-3 ความถี่ธรรมชาติของคานเมื่อให้คานยาว 150 mm



รูป 6-4 ความถี่ธรรมชาติของคานเมื่อให้คานยาว 100 mm

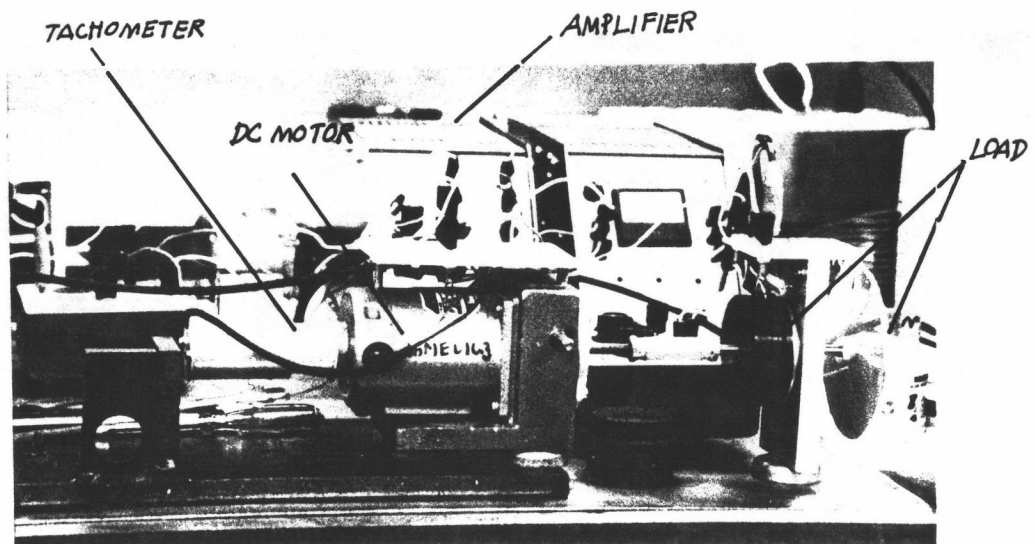


รูป 6-5 ความถี่ธรรมชาติของคานเมื่อให้คานยาว 50 mm

จากตาราง 6-1 ช่องสุดท้าย อัตราส่วนที่ได้มีค่าเท่าๆกัน ยกเว้นระยะ L
สุดท้ายที่แตกออกจากกลุ่มไปบ้าง แต่ก็ทำให้มั่นใจได้ว่าวิธีการสามารถประมาณ
ความถี่ธรรมชาติได้

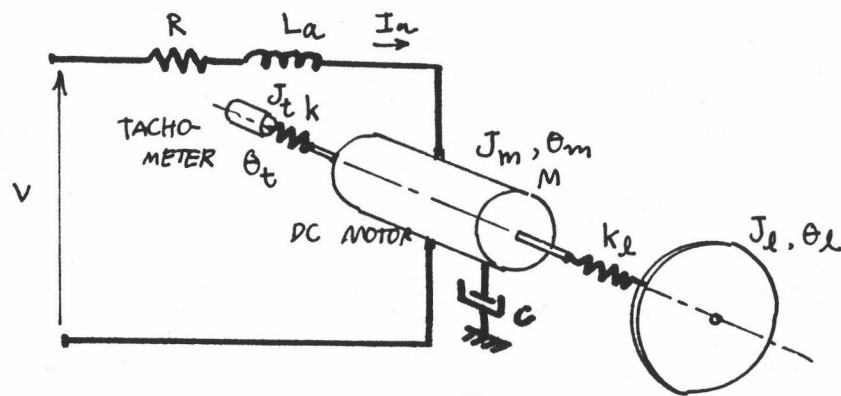
รูป 6-3 6-4 6-5 ทั้งสามรูปมียอดแหลม (Peak) เกิดขึ้นที่
ความถี่ประมาณ 40 Hz เนื่องจากการสั่นแบบเพริโอดิก (Periodic) ของ
ห้องทดลอง ซึ่งอาจจะเกิดจากการสั่นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ การที่
สามารถเห็นการสั่นของห้องทดลองได้ เนื่องจากการเลือกใช้ตัววัดความเร่ง
(Accelerometer) เพราะเหตุว่าการวัดความเร่งเป็นการวัดแบบสมบูรณ์
(Absolute) ของความเร่งของระบบเทียบกับแกนเฉื่อย (Inertia Axis)

6.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบ
ชุดทดลองมอเตอร์กระแสตรง ชุดทดลองมอเตอร์กระแสตรง แสดงในรูป (6-6)
ประกอบด้วย มอเตอร์กระแสตรง แอมป์ลิไฟเออร์ แทคโคมิเตอร์ (Tachometer)
และโหลด การควบคุมมอเตอร์เป็นแบบอเมเจอร์คอนโทรล (Armature Control)
การวิจัยจะทำการทดลองหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน $H_T(s)$ ระหว่างเอาพุทคือความ
เร็วเชิงมุม (ในรูปของโวลเตจ) ของแทคโคมิเตอร์ กับอินพุทคือโวลเตจ
(Voltage) ที่ป้อนให้กับแอมป์ลิไฟเออร์



รูป 6-6 ชุดทดลองมอเตอร์กระแสตรง

การประมาณค่าพารามิเตอร์เริ่มด้วยการประมาณโครงสร้างของทรานสเฟอ์ฟังก์ชันโดยการวิเคราะห์แบบอนาลิติก ระบบที่ใช้วิเคราะห์แสดงในรูป (6-7) วิธีการวิเคราะห์ระบบมอเตอร์กระแสตรง แบบอเมเจอร์คอนโทรลมีแสดงในหนังสือระบบควบคุมทั่วไป เช่น Okata [9] และโดยอาศัยกฎของนิวตันรวมทั้งวิธีการในบทที่ 2 ได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน



รูป 6-7 แสดงระบบที่ใช้วิเคราะห์หาโครงสร้างทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบชุดทดลองมอเตอร์ในรูป 6-6

$$H_T(s) = s\theta_t(s) / V(s) = [k_t K_T (s^2 J_1 + k_1)] / \Delta$$

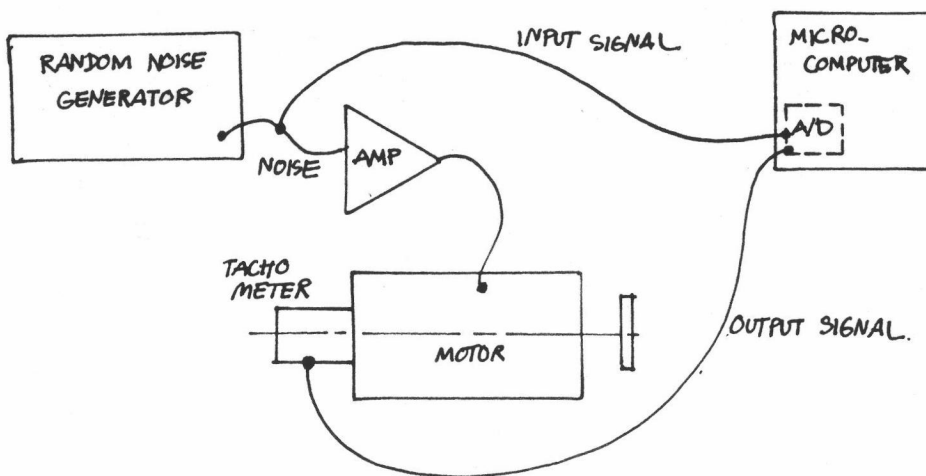
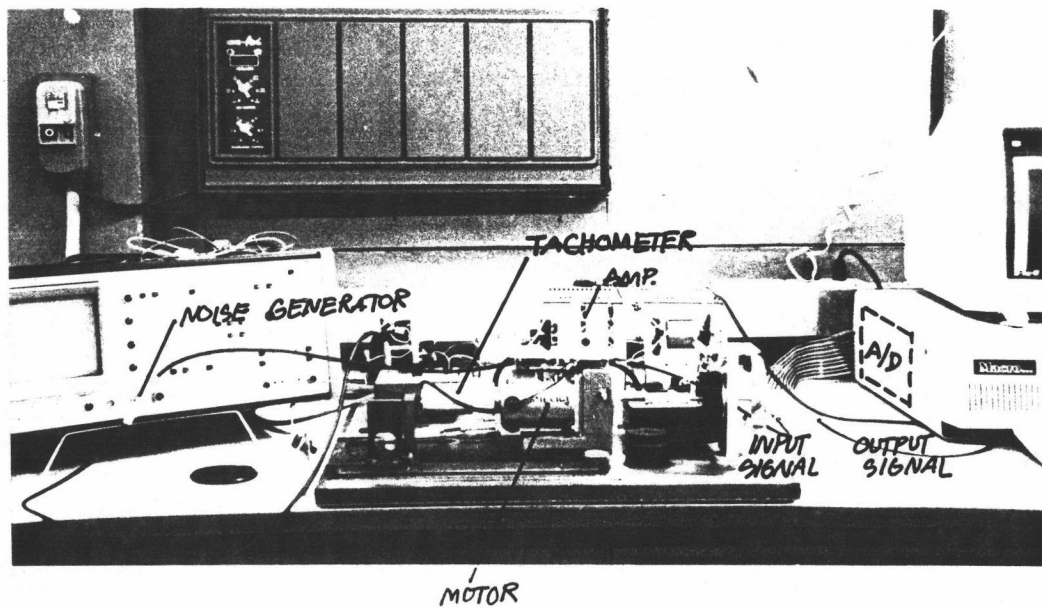
$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \Delta = & (sL_m + R_m) [(sJ_m + c)(s^2 J_1 + k_1)(s^2 J_m + k_c) \\ & + sJ_m k_c (s^2 J_1 + k_1) + sJ_1 k_1 (s^2 J_m + k_c)] \\ & + K_E K_T (s^2 J_1 + k_1)(s^2 J_m + k_c) \end{aligned}$$

เมื่อ L_a = Armature Inductance
 K_e = Motor Voltage Constant
 K_T = Motor Torque Constant

หรือได้โครงสร้างทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

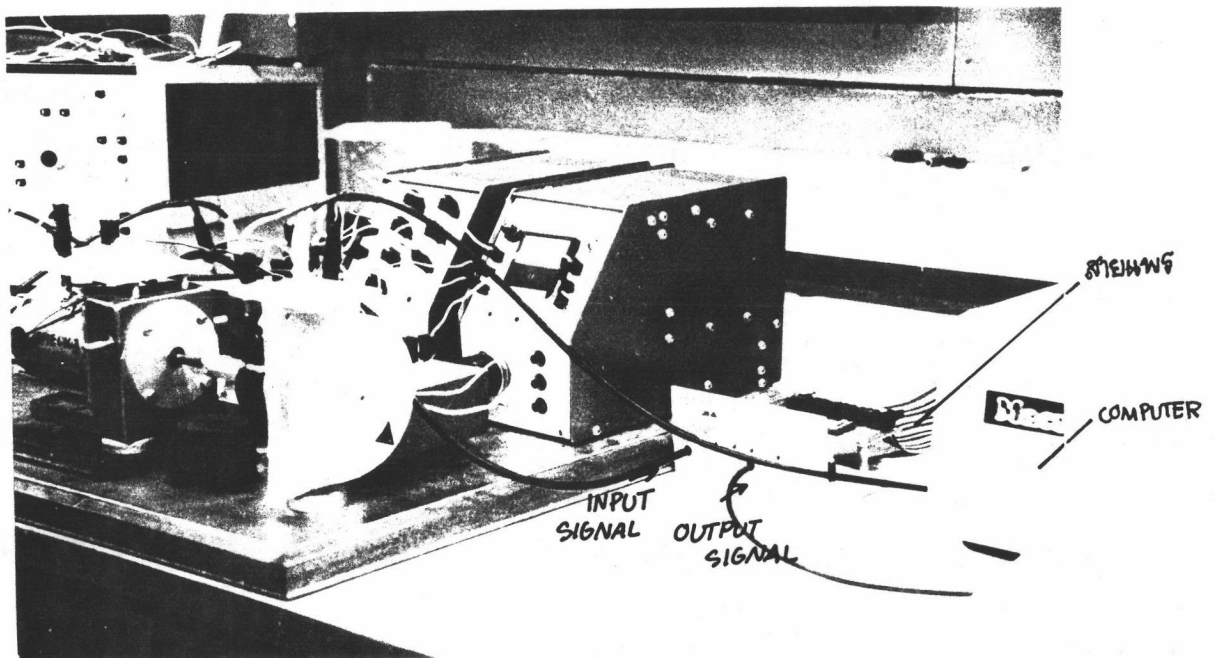
$$H_T(s) = (b_2s^2 + b_1s + b_0) / (s^6 + a_5s^5 + a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0)$$

(6-2)



รูป 6-8 รูปการทดสอบระบบชุดทดลองมอเตอร์กระแสตรงด้วยอินพุตแบบแรนดอม

การทดลองเพื่อหาผลตอบความถี่หรือทรานสเฟอ์ฟังก์ชันใช้การทดสอบด้วยอินพุทแบบแรนดอม การทดลองแสดงในรูป 6-8 อินพุทแบบแรนดอมสร้างจากแรนดอมเจนเนอเรเตอร์ในเครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer) ป้อนให้กับแอมพลิไฟเออร์ เพื่อไปขับมอเตอร์ สัญญาณแรนดอม (Random Signal) มีค่าอยู่ในช่วง ± 5 โวลต์ ใ้้าพุทของระบบวัดจากแทคโคมิเตอร์ (Tachometer) และต่อไปยังบอร์ด A/D ที่เสียบอยู่ในสล็อต



รูป 6-9 แสดงการต่อสัญญาณอินพุทและใ้้าพุทเข้าบอร์ด A/D ผ่านทางสายแพร

(Slot) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยตรง เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากแทคโคมิเตอร์นั้นมีขนาดโวลเตจอยู่ในช่วงที่บอร์ด A/D สามารถรับได้พอดี

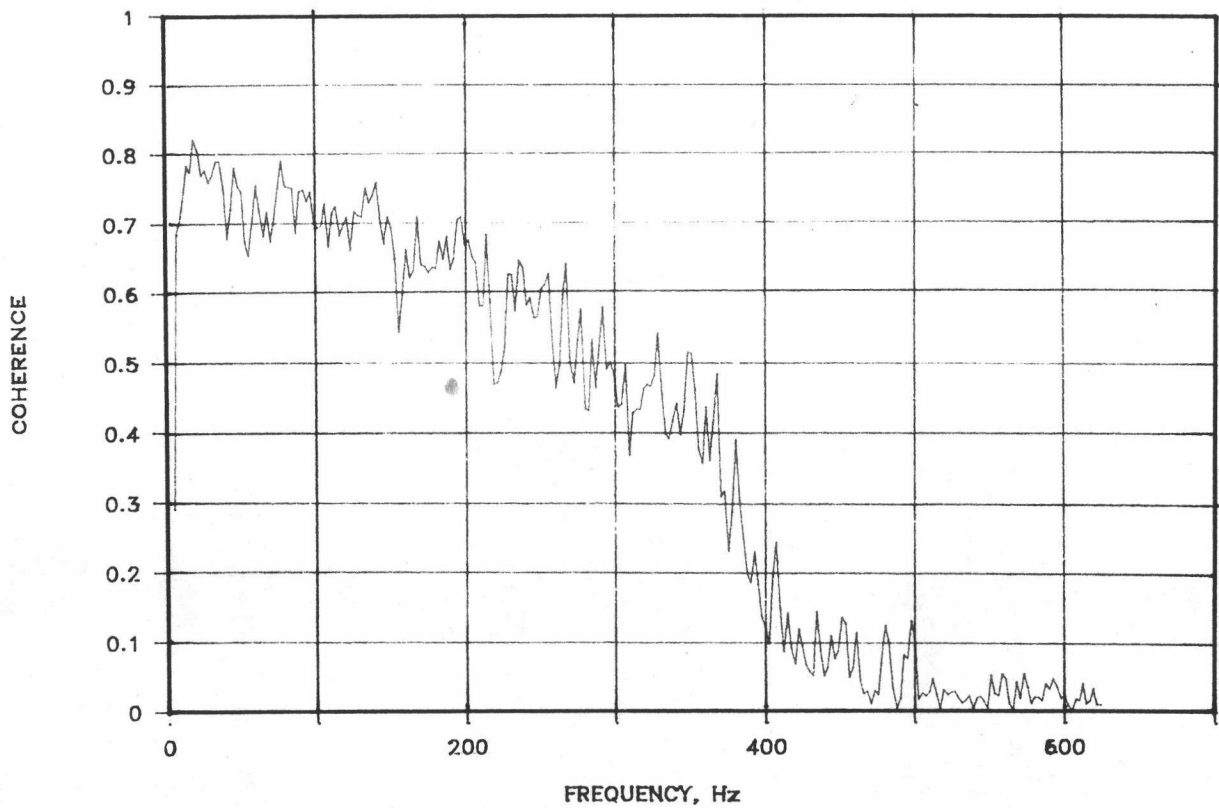
สัญญาณแรนดอมจากแรนดอมเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้มีช่วงกว้างความถี่ (Bandwidth) ของเลปคตรัมประมาณ 500 Hz การเลือกอัตราการสุ่มข้อมูล จึงต้องใช้ความถี่ที่สูงมากกว่า 2 เท่าของความถี่นี้เพื่อป้องกันการเกิดอะเลียสซิง (Aliasing) ในการวิจัยใช้อัตราการสุ่มข้อมูล 1250 Hz แบ่งเป็น 64 ชุด (64 Ensembles) แต่ละชุดมีจำนวนข้อมูล 512 ค่า ซึ่งจำกัดโดยหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้ได้ช่วงเวลาสำหรับสุ่มข้อมูลแต่ละชุดเป็น 0.4096 วินาทีโดยอัตโนมัติ

การหาผลตอบความถี่ใช้โปรแกรมวิเคราะห์เลปคตรัมที่เขียนขึ้น โดยกำหนดอินพุทของโปรแกรมดังนี้

- จำนวนชุดข้อมูล (Number of Ensembles) 64
- จำนวนข้อมูลในแต่ละชุด 512
- ความถี่การสุ่มข้อมูล 1 250 Hz
- วินโดว์ Hanning

ได้ข้อมูลผลตอบความถี่จำนวน 256 ค่าเริ่มตั้งแต่ความถี่ 0 ถึง 625 Hz มีความละเอียดเชิงความถี่ $\Delta w = 2.44$ Hz รูป 6-10 แสดงฟังก์ชันโคฮีเรน (Coherence Function) ซึ่งพอจะบอกได้ว่าผลตอบความถี่ที่ได้มั่นใจได้ในช่วงประมาณความถี่ 0 ถึง 350 Hz ถัดจากนั้นไปฟังก์ชันโคฮีเรนมีค่าลดต่ำลงมาก สาเหตุน่าจะเกิดจากการตอบสนองของมอเตอร์หรือแทคโคมิเตอร์ต่ออินพุทจำกัดอยู่ในช่วงความถี่หนึ่ง เมื่อเกินจากความถี่นี้ไปแล้วพหุจึงไม่เปลี่ยนแปลงตามอินพุท และเนื่องจากอินพุทที่ใช้เป็นแบบแรนดอมจึงเหมือนกับมีการรบกวนเกิดขึ้นนั่นเอง

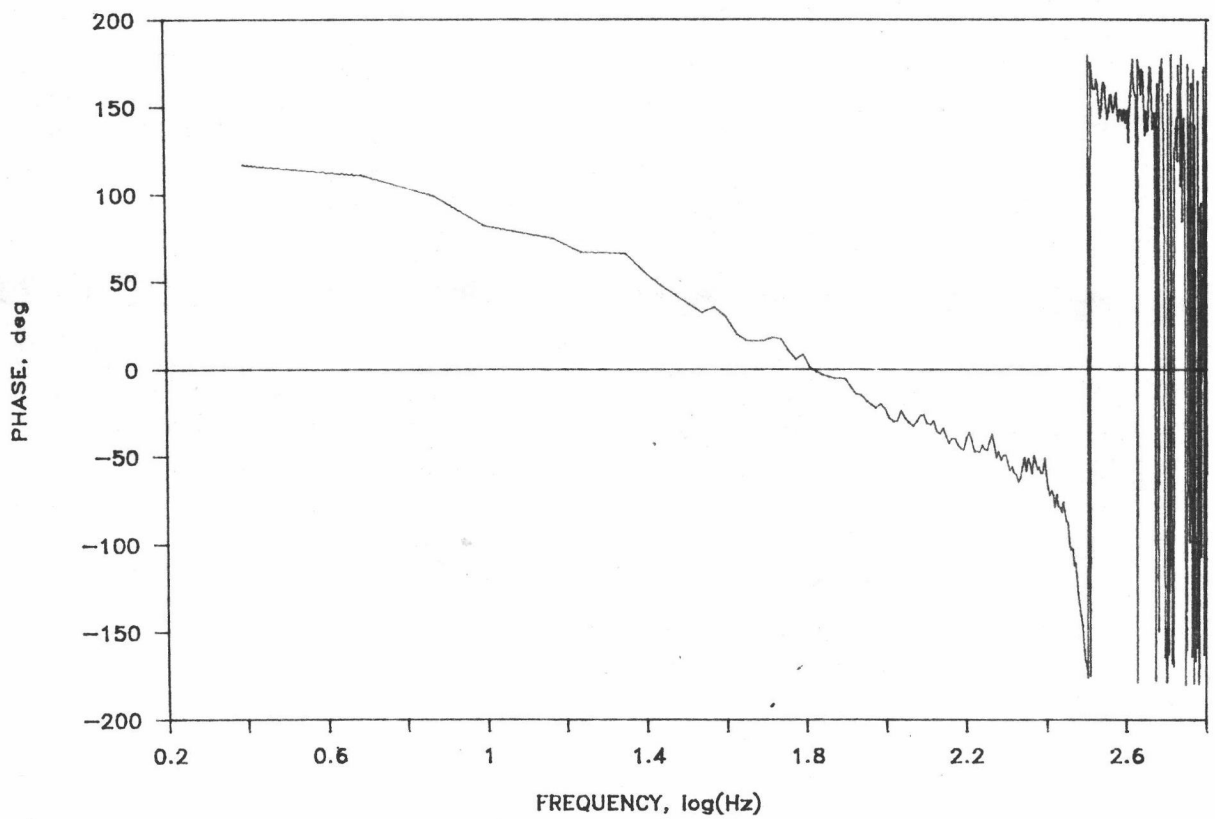
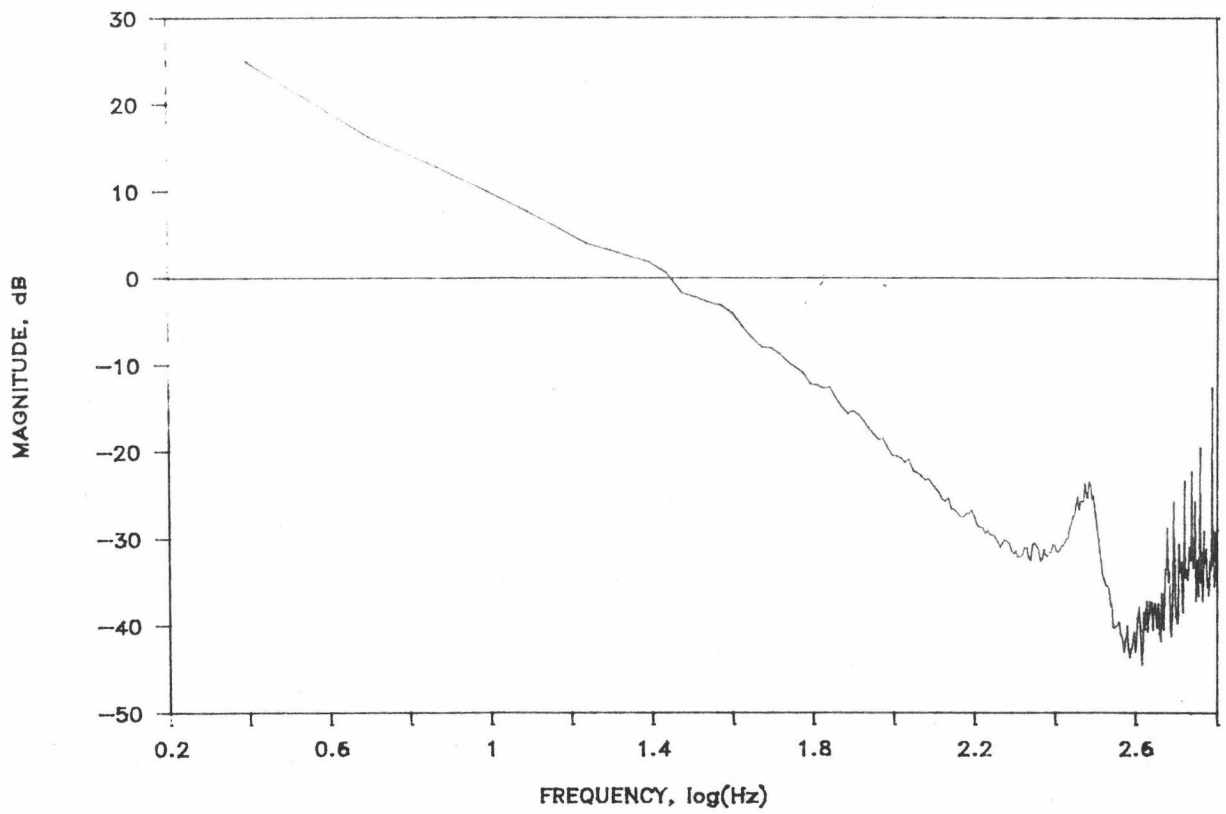
รูปที่ 6-11 แสดงรูปแมกนิจูดและเฟสที่ได้ซึ่งมีเรโซแนนซ์ความถี่ประมาณ 300 Hz รูปที่ 6-12 แสดงรูปแมกนิจูดและเฟสเมื่อได้ทดลองใช้จำนวนชุดข้อมูลเพียง 1 ชุด จะเห็นว่ามีความแปรปรวนเกิดขึ้นอย่างมากเนื่องจากการทดลองระบบที่ใช้ เป็นกระบวนการความน่าจะเป็น (Stochastic Process) แต่ก็ยังพอจะมองเห็นตำแหน่งความถี่เรโซแนนซ์ได้



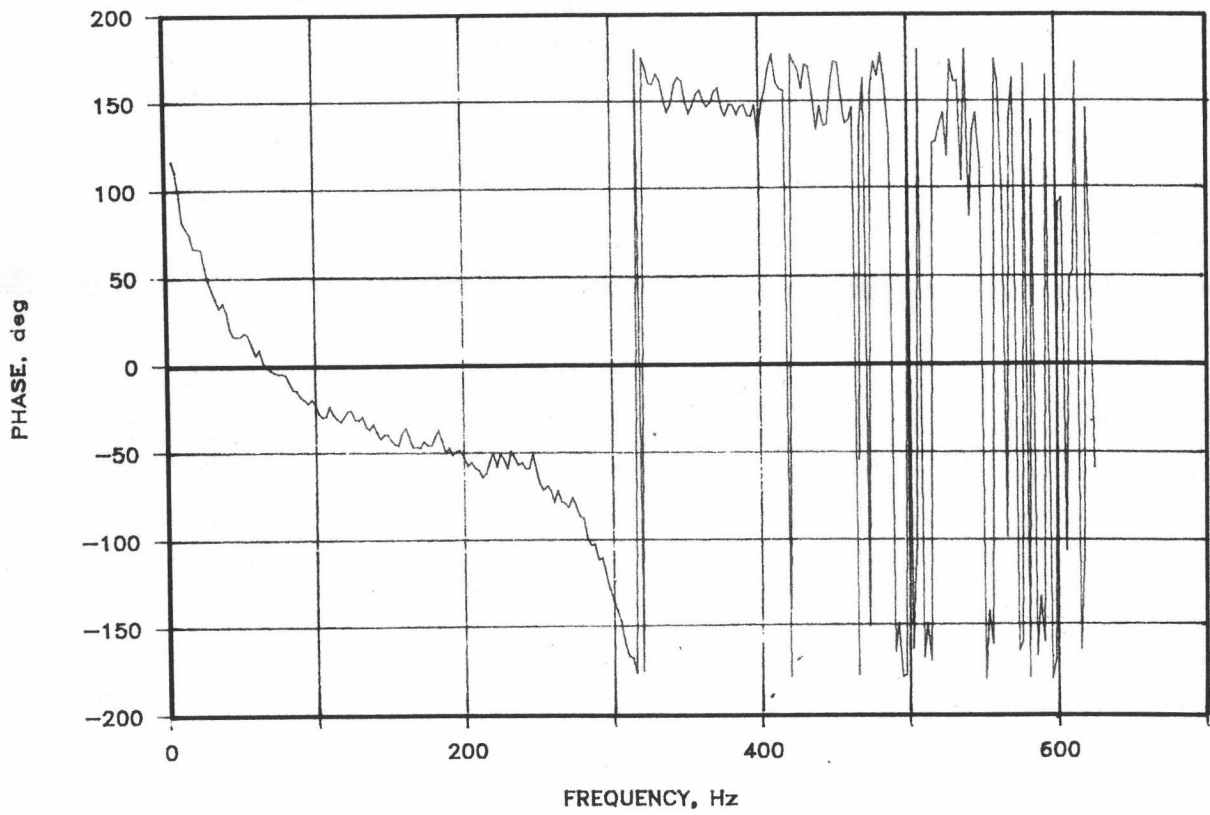
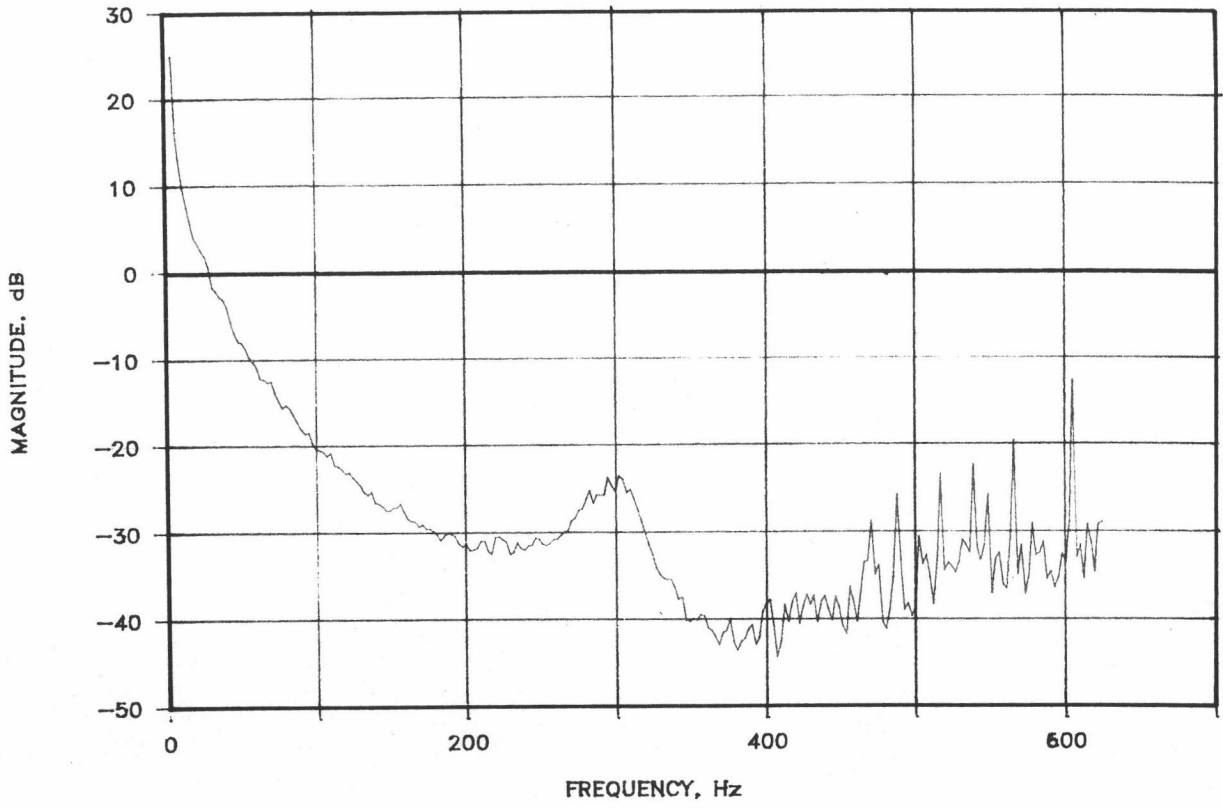
รูป 6-10 แสดงฟังก์ชันโคฮีเรนของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T
เมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 64 ชุด

รูป 6-13 6-14 และ 6-15 แสดงฟังก์ชันโคฮีเรนและทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน (เมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 64 และ 1 ชุดตามลำดับ) ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด* (ซึ่งมีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับวิธีที่ใช้ในการวิจัย) และเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับวิธีที่ใช้ในการวิจัย พบว่าโดยทั่วไปรูปทรานสเฟอ์ฟังก์ชันที่ได้ของทั้งสองวิธีใกล้เคียงกัน ได้ตำแหน่งความถี่

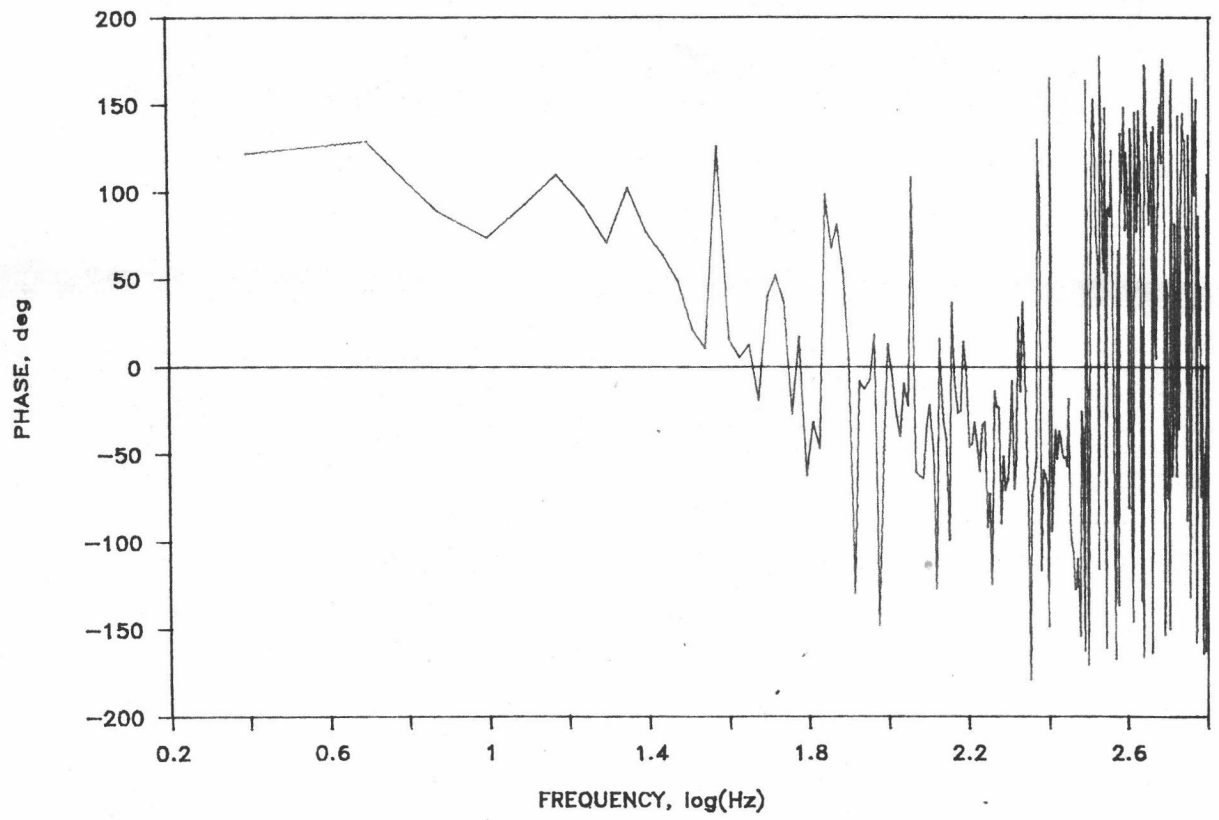
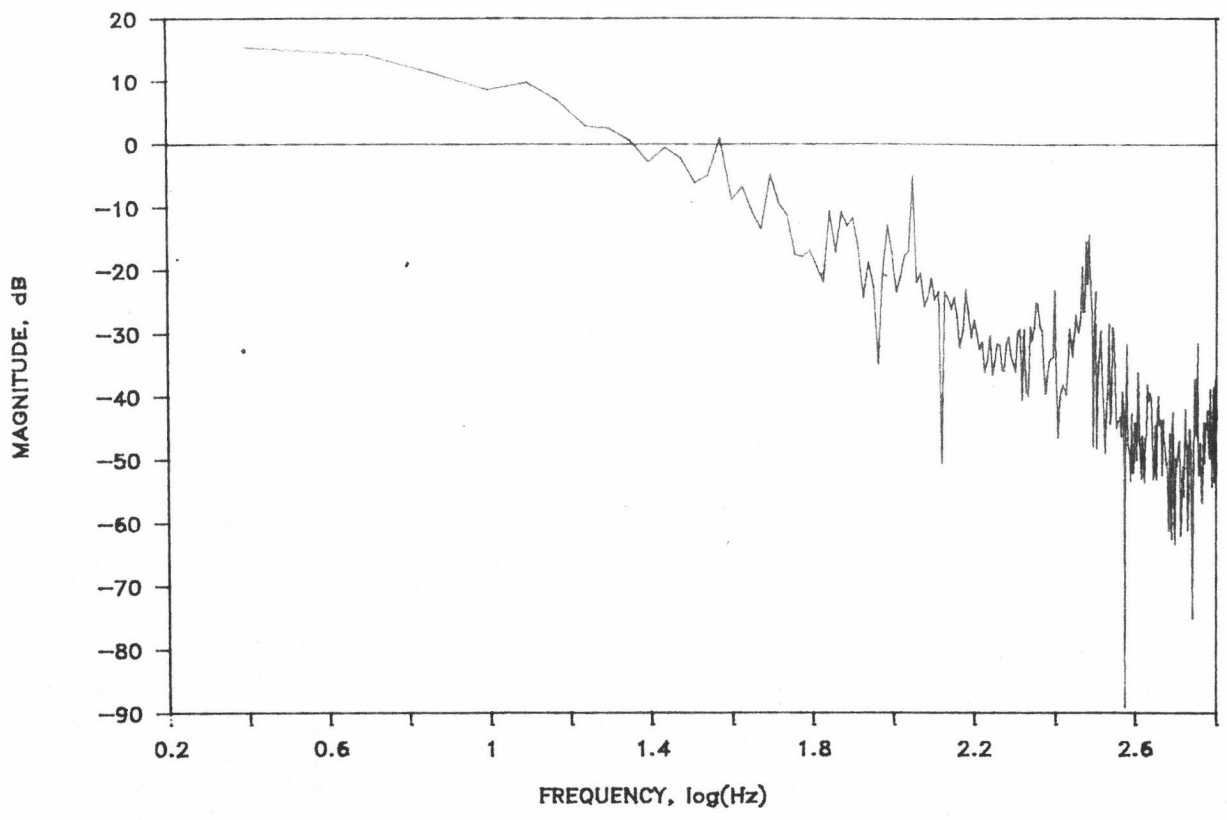
* ในการเปรียบเทียบได้ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัมรุ่น 5820 A ของบริษัท Wavetek Rockland ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดูภาคผนวก ง)



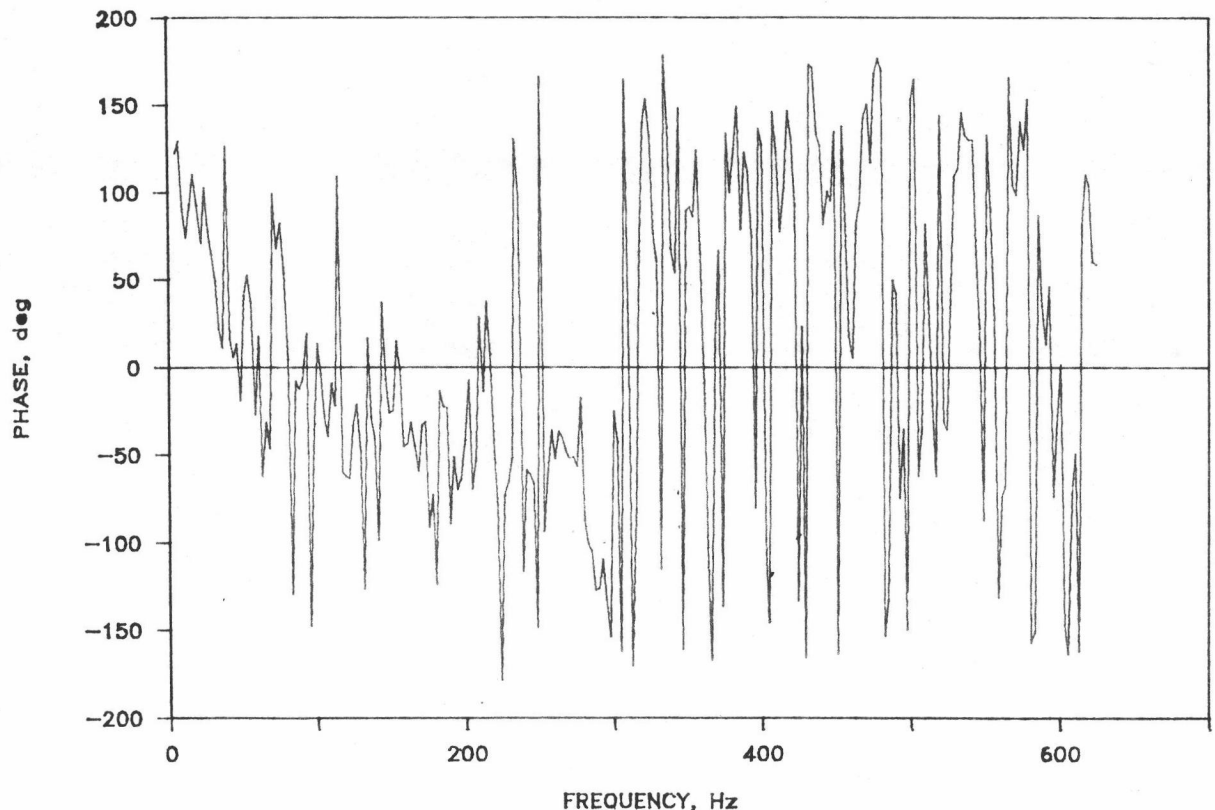
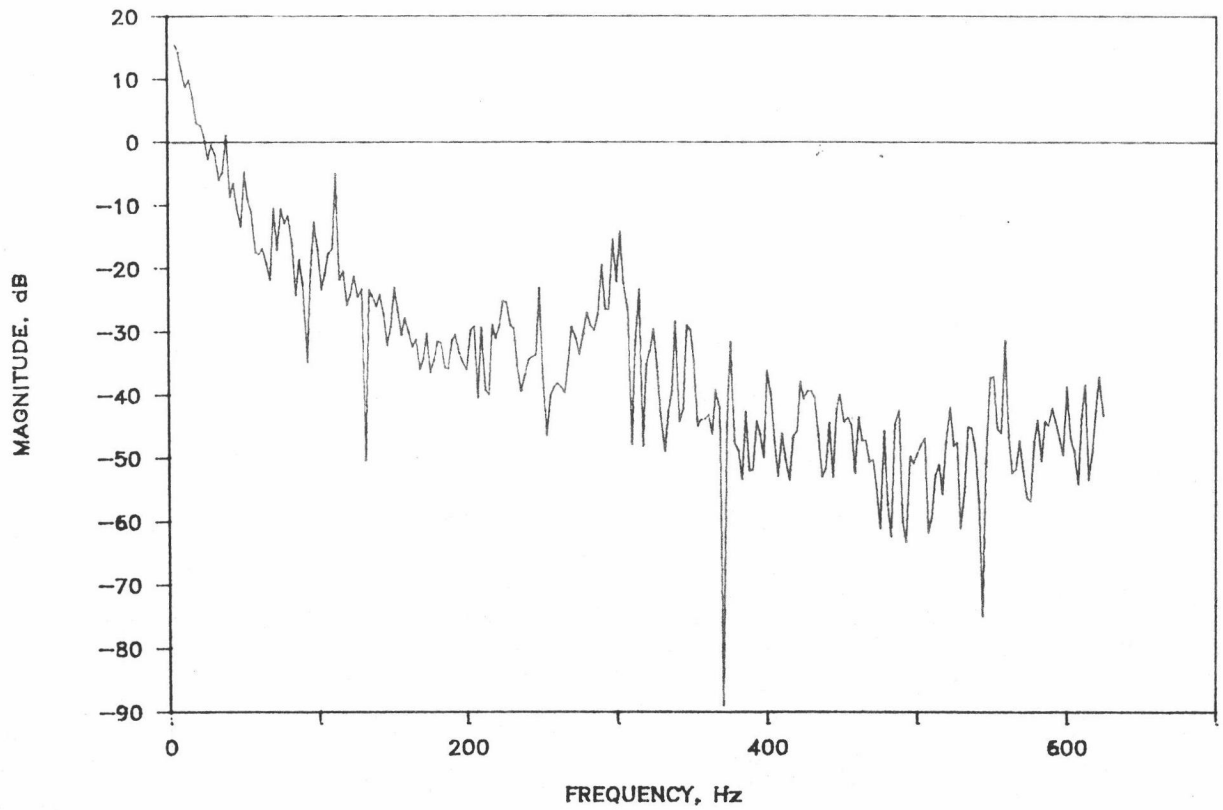
รูป 6-11 ทรานสเฟอว์ฟังก์ชัน H_T ที่ประมาณได้ เมื่อใช้จำนวน
ชุดข้อมูล 64 ชุด



รูป 6-11 (ต่อ) เมื่อใช้เสกกลแกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง



รูป 6-12 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T ที่ประมาณได้ เมื่อใช้จำนวน ชุดข้อมูล 1 ชุด



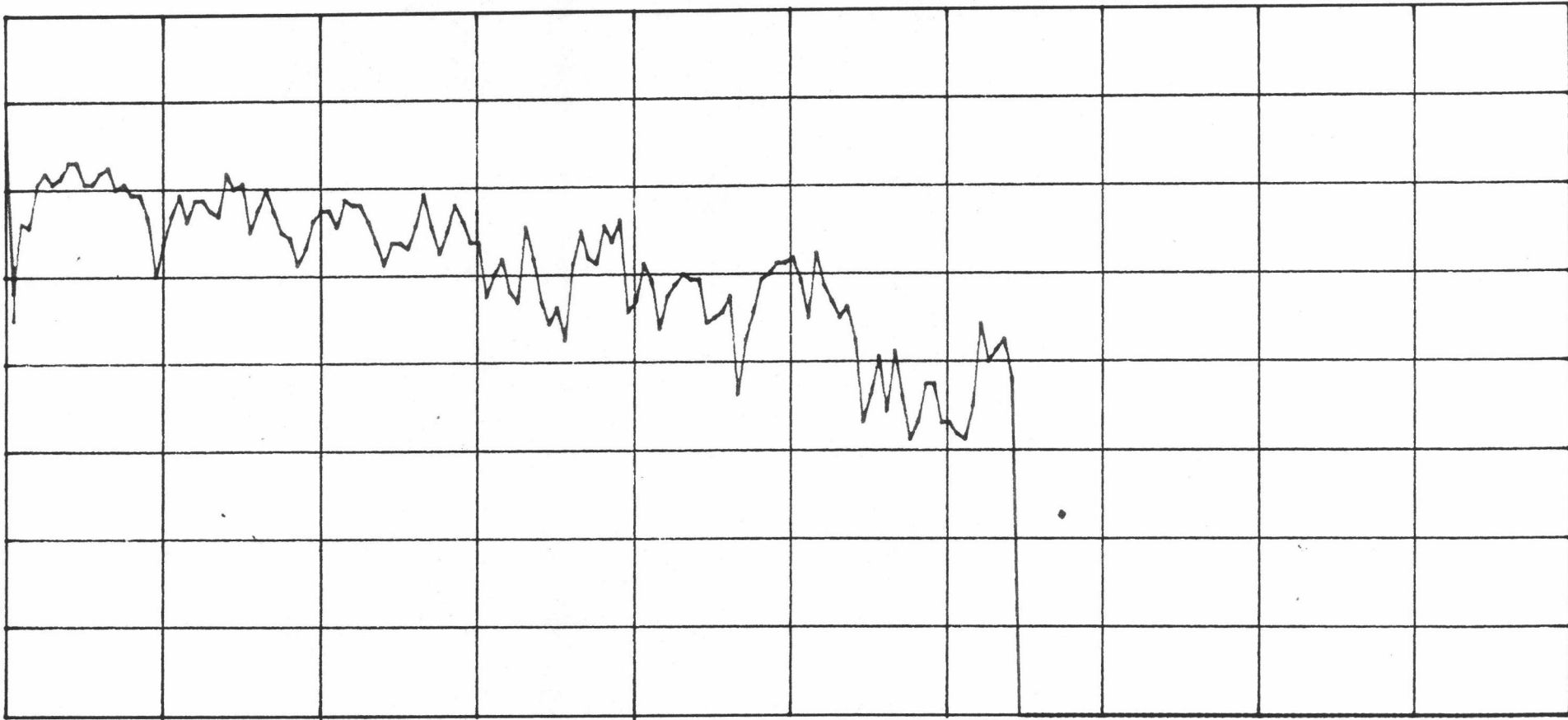
รูป 6-12 (ต่อ) เมื่อใช้เสกนแกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง

N: 64

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: 1.0

0.125/



รูป 6-13 ฟังก์ชันโคไซน์เรนของการประมาณทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน H_T
เมื่อวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม
(Spectrum Analyzer) และเมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 64 ชุด



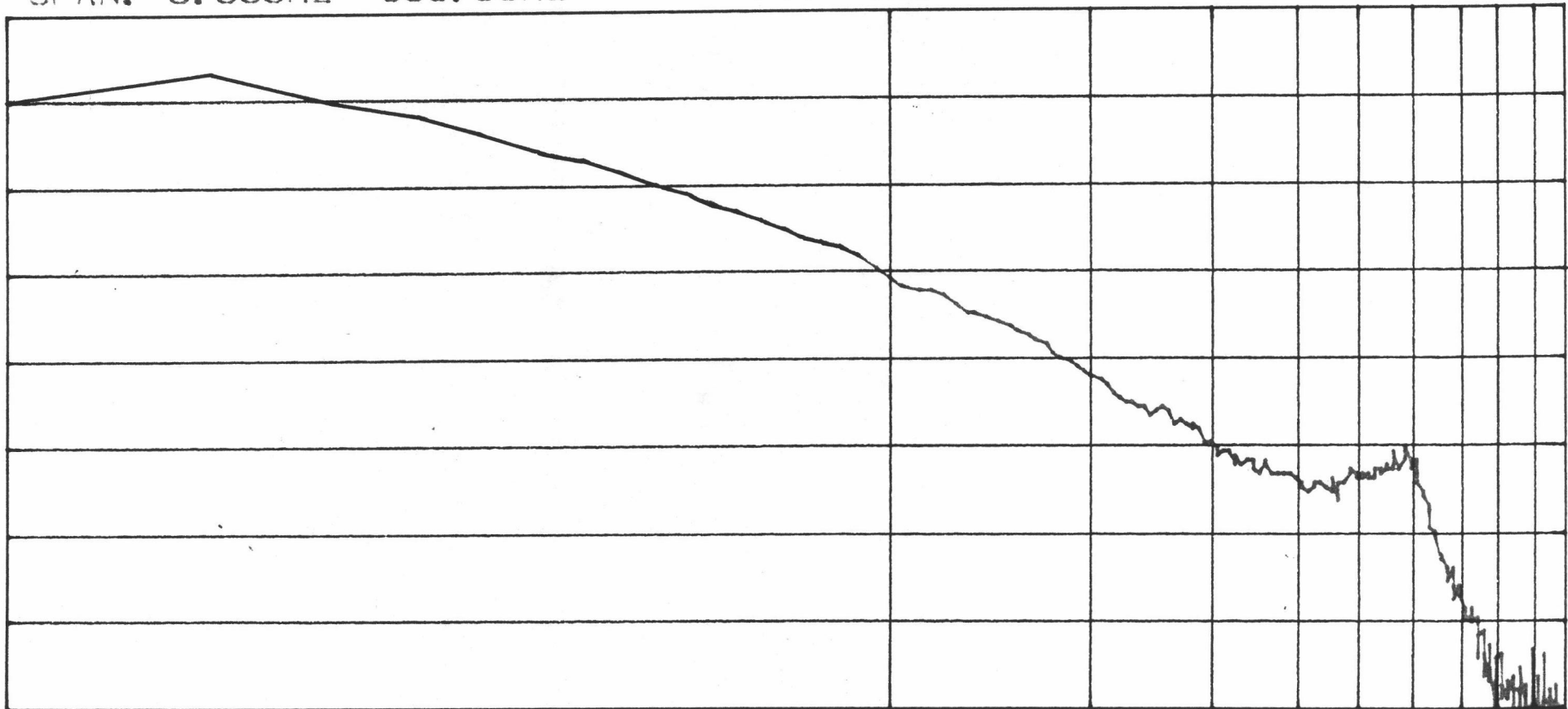
XFR FN MAG

N: 64 P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: 20.00dB

10dB/



รูป 6-14 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T (แมกนิจูด) เมื่อประมาณโดย
เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
และเมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 64 ชุด

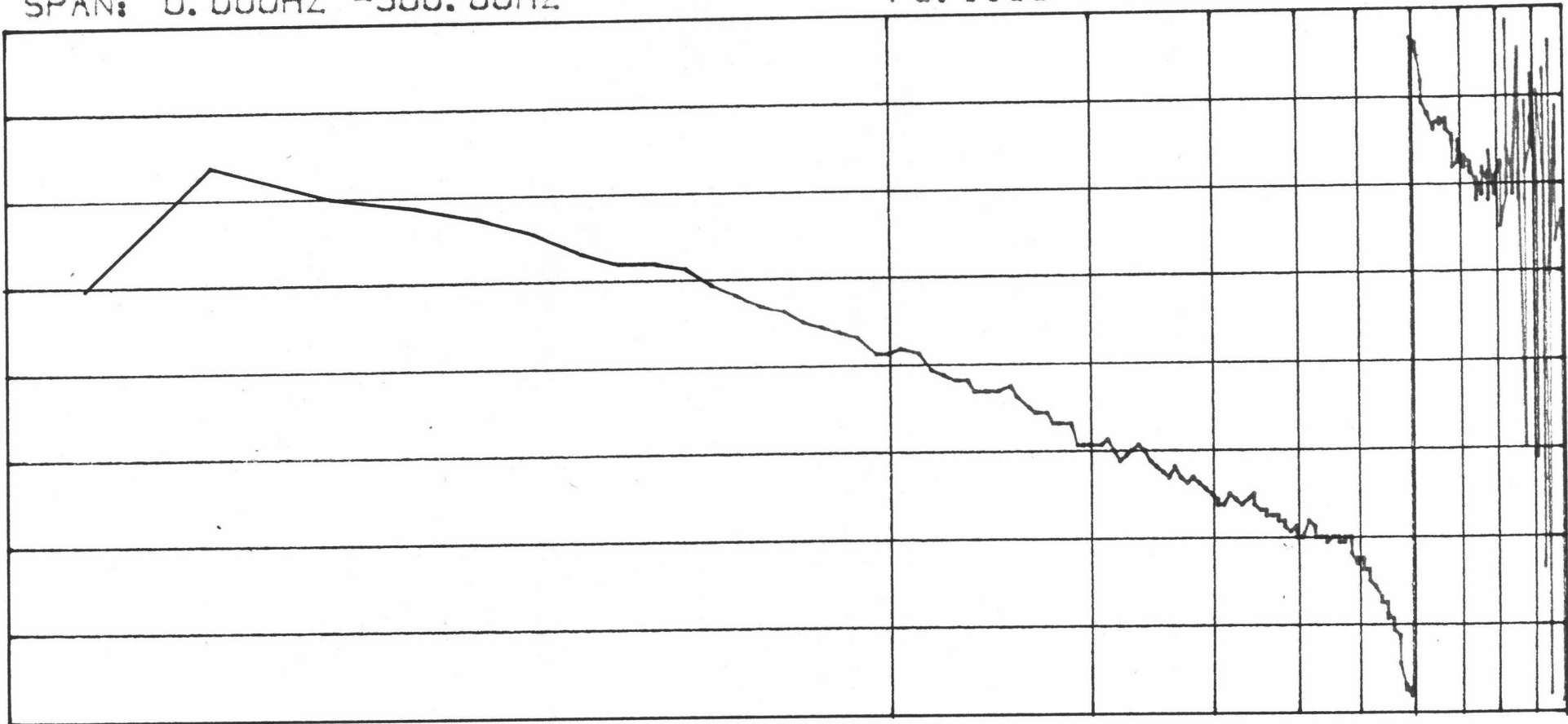
XFR FN PHASE

N: 64 P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: $\pm 180^\circ$

45°/



รูป 6-14 (ต่อ) ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T (เฟส) เมื่อประมาณโดย
เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer)
และเมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 64 ชุด

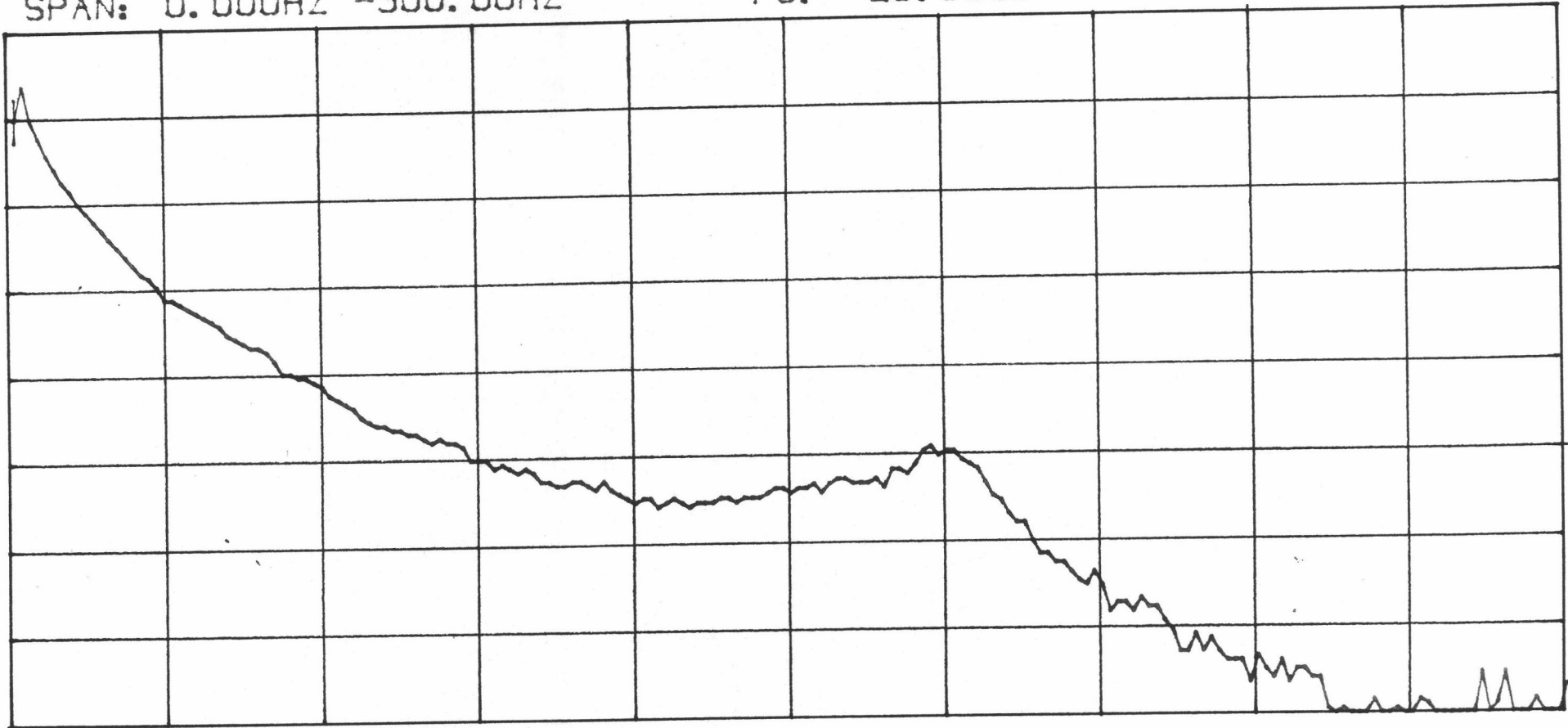
XFR FN MAG

N: 64 P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: 20.00dB

10dB/



รูป 6-14 (ต่อ) (แมกนิจูด) เมื่อให้แกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง

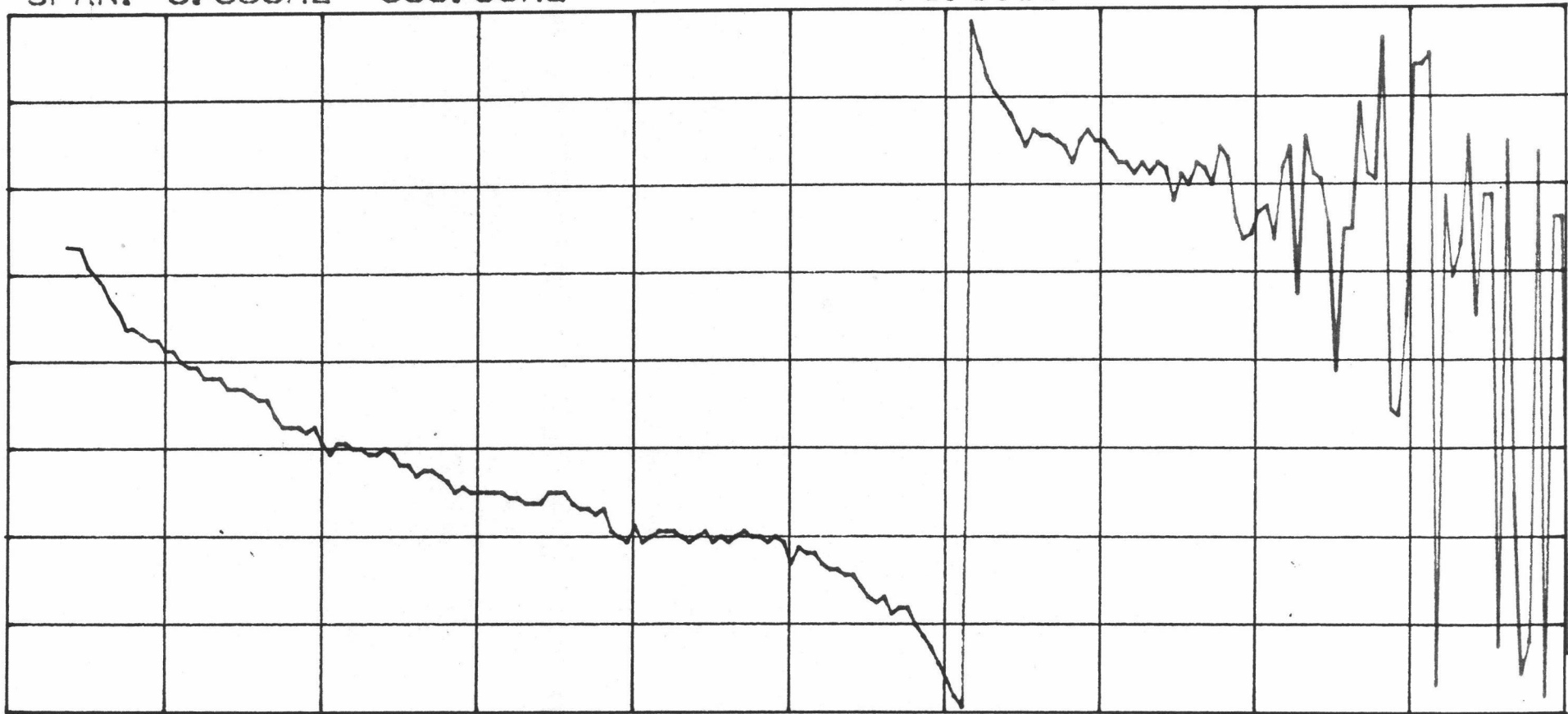
XFR FN PHASE

N: 64 P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: $\pm 180^\circ$

45°/



รูป 6-14 (ต่อ) (เฟส) เมื่อให้แกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง

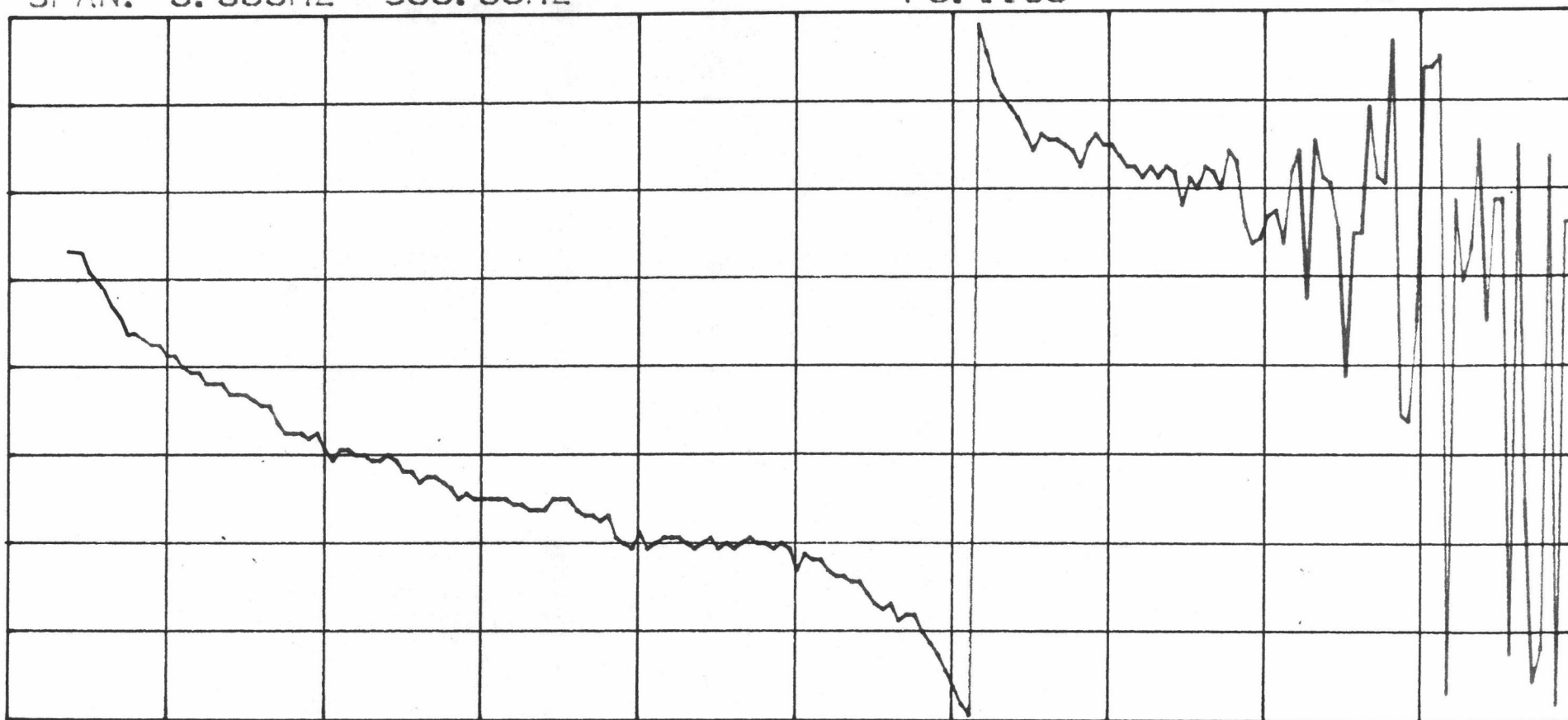
XFR FN PHASE

N: 64 P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: $\pm 180^\circ$

45°/



รูป 6-14 (ต่อ) (เฟส) เมื่อให้แกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง

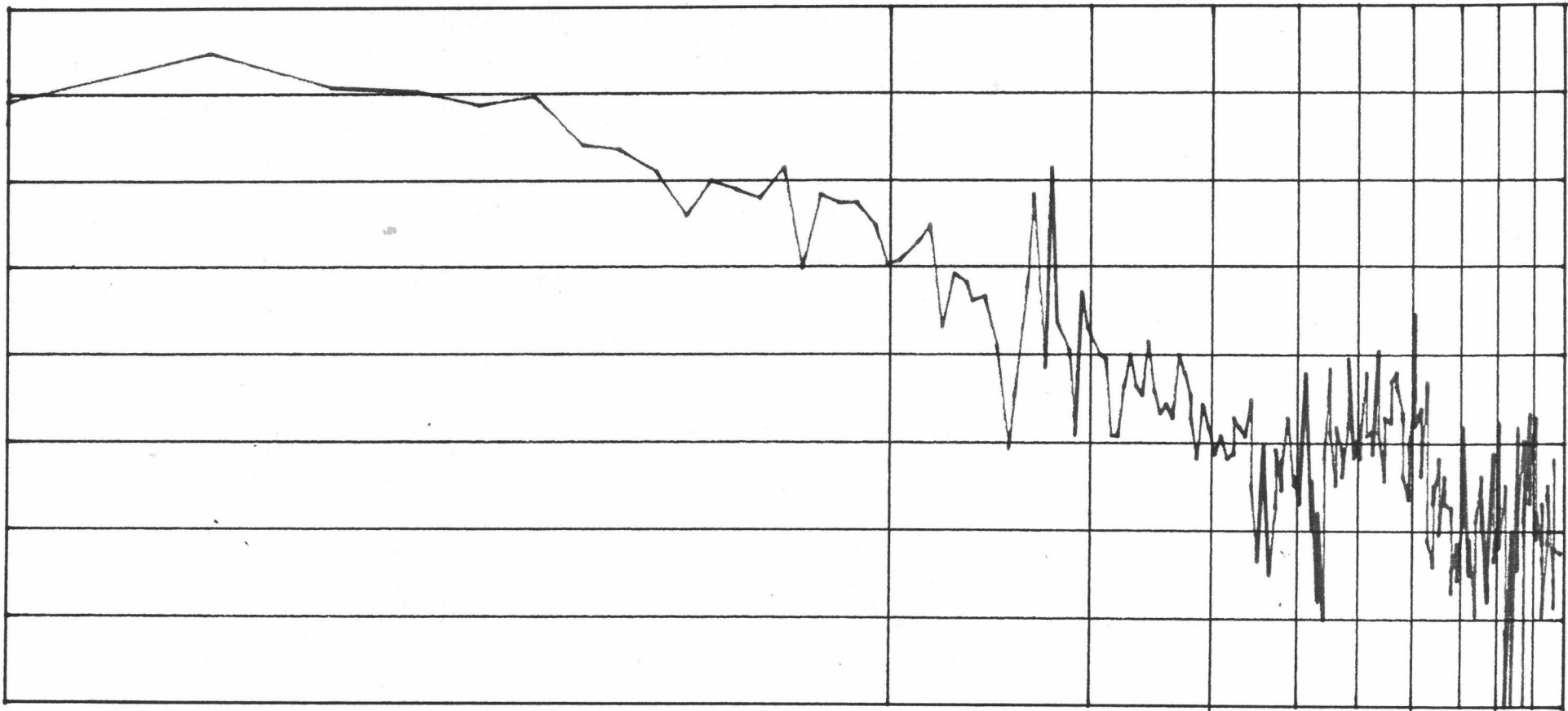
XFR FN MAG

N: NONE P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: 20.00dB

10dB/



รูป 6-15 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T (แมกนิจูด) เมื่อประมาณโดย
เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum Analyzer)
และเมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 1 ชุด

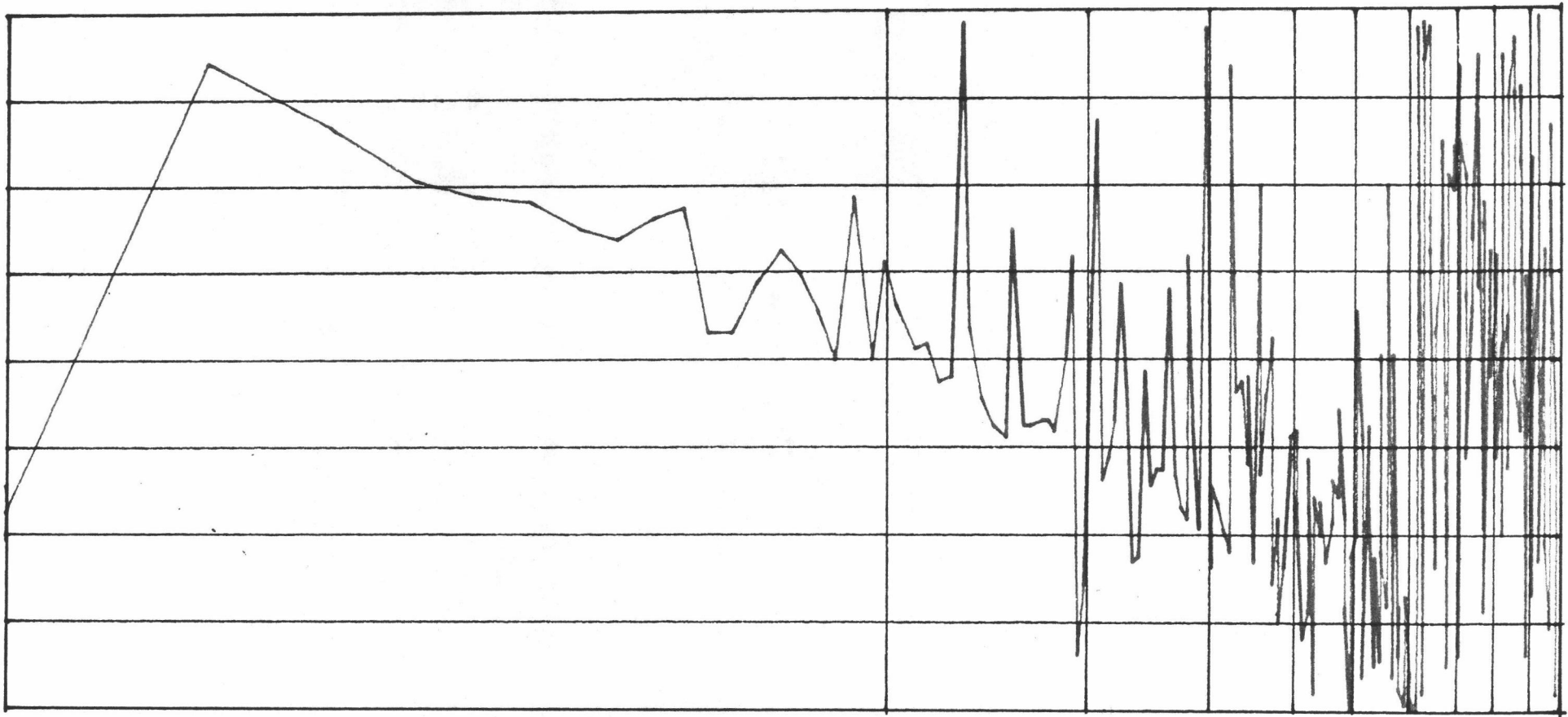
XFR FN PHASE

N: NONE P: 2.5HZ

SPAN: 0.000HZ -500.00HZ

FS: $\pm 180^\circ$

45°/



รูป 6-15 (ต่อ) ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T (เฟส) เมื่อประมาณโดย
เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
และเมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 1 ชุด

เรโซแนนซ์ที่ประมาณ 300 Hz ตรงกัน แต่ยกเว้นส่วนสูงของยอดแหลม (Peak) ซึ่งการใช้วิธีที่ใช้ในการวิจัยให้ส่วนยอดแหลมสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์สเปกตรัมโดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมโดยทั่วไป จะใช้วิธีการคำนวณหาทรานสเฟอว์ฟังก์ชันตามสมการ (3-3) แต่ในการวิจัยใช้วิธีการตามสมการ (3-6) ซึ่ง Cowley P. [4] ได้แสดงให้เห็นว่าการคำนวณตามสมการ (3-6) โดยทั่วไปให้ผลที่ดีกว่าโดยเฉพาะบริเวณยอดแหลม (Peak)

รูป 6-13 แสดงฟังก์ชันโคฮีเรนซ์ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับที่ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ (รูป 6-10) คือมีค่าต่ำลงมากที่ความถี่ประมาณ 350 Hz เป็นต้นไป ส่วนในรูป 6-15 เป็นรูปทรานสเฟอว์ฟังก์ชัน H_T เมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 1 ชุด แสดงให้เห็นการแปรปรวนอย่างมากเช่นกัน (ดูรูป 6-12) การทำการเปรียบเทียบข้างต้นทำให้มั่นใจได้ว่าโปรแกรมและวิธีการที่ใช้ในการวิจัยสามารถนำไปใช้ได้กับระบบจริงอย่างได้ผล

จากข้อมูลผลตอบความถี่ นำไปประมาณค่าพารามิเตอร์โดยโปรแกรมประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เขียนขึ้น โดยเลือกใช้อินพุทของโปรแกรมดังนี้ (ซึ่งให้ผลได้ดี)

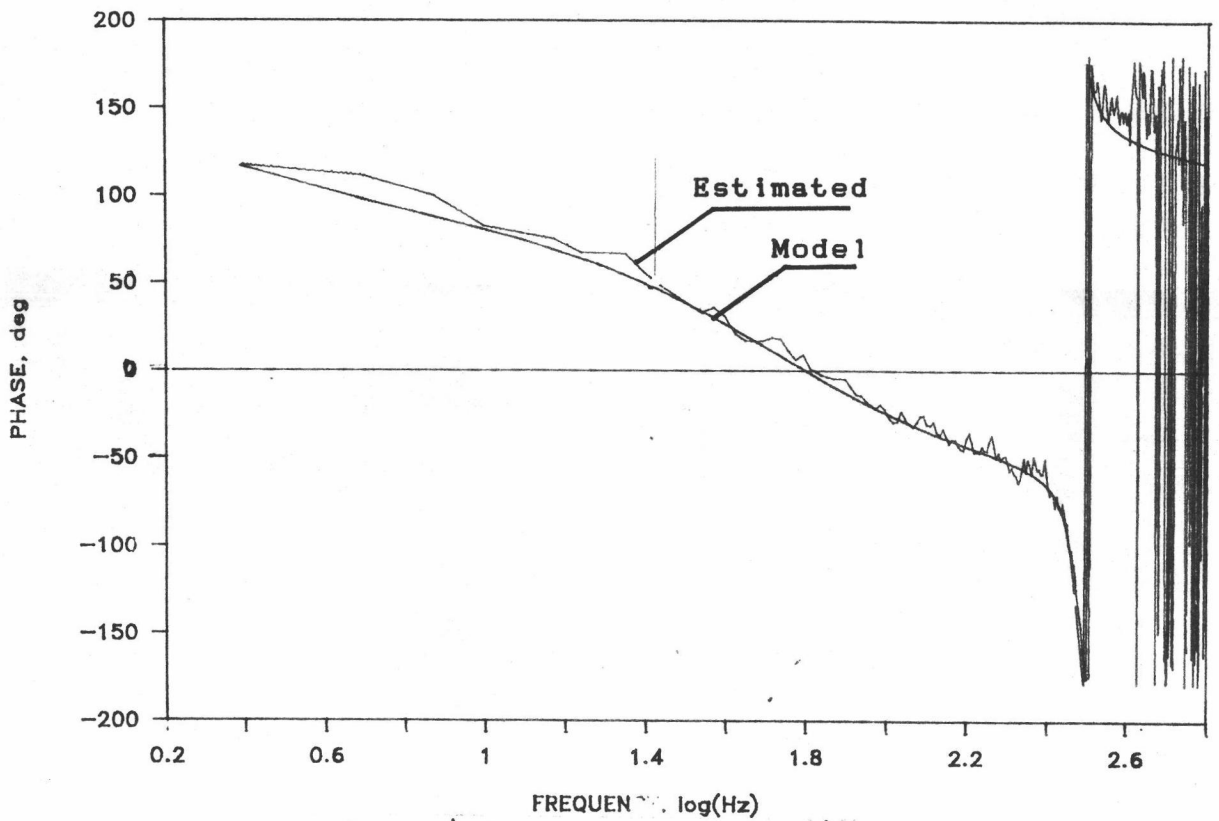
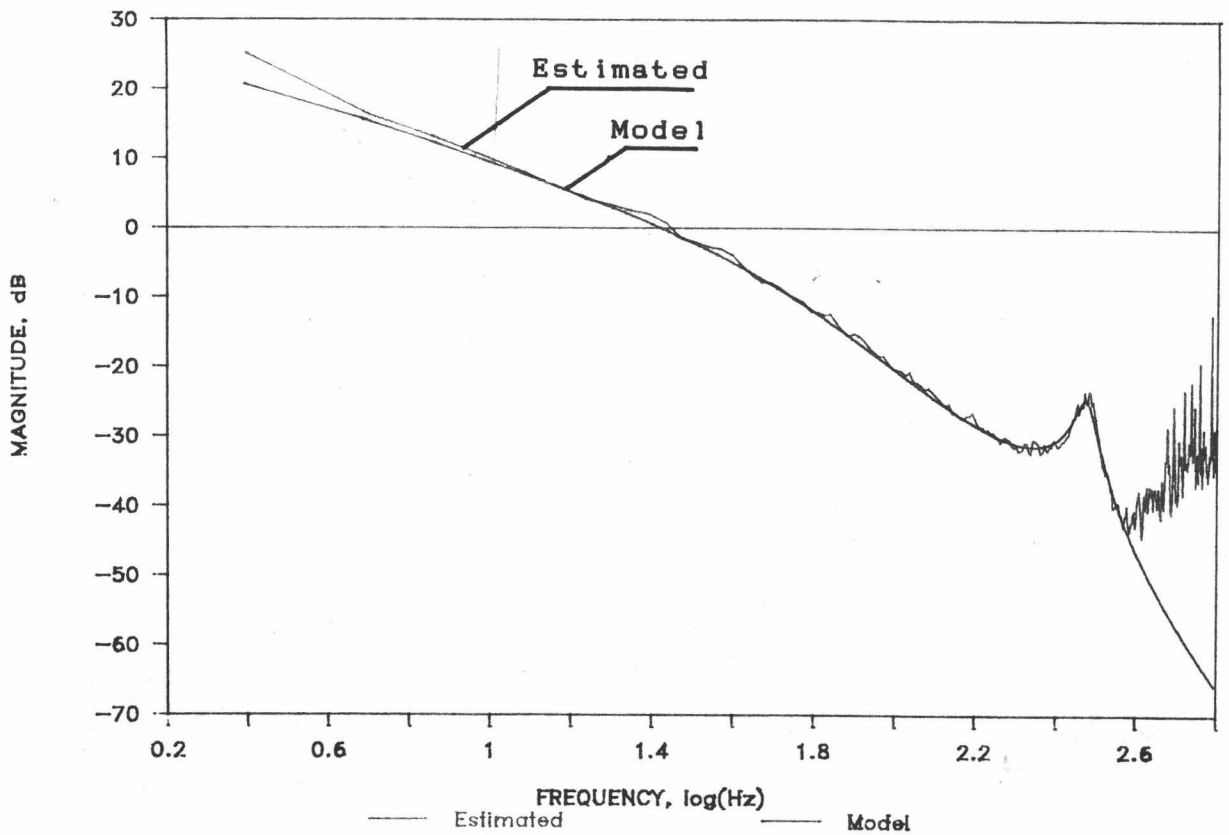
- ออเดอ์ของเคส 2
- ออเดอ์ของส่วน 5
- จำนวนข้อมูลผลตอบความถี่ 130
(ครอบคลุมช่วงความถี่ 0 ถึง 325 Hz)
- จำนวนลำดับขั้น (Iteration)
ของการใช้วิธีตัวแปรอิสทรูเมนทอล 5

ได้พารามิเตอร์ซึ่งเขียนในรูปทรานสเฟอว์ฟังก์ชันดังนี้

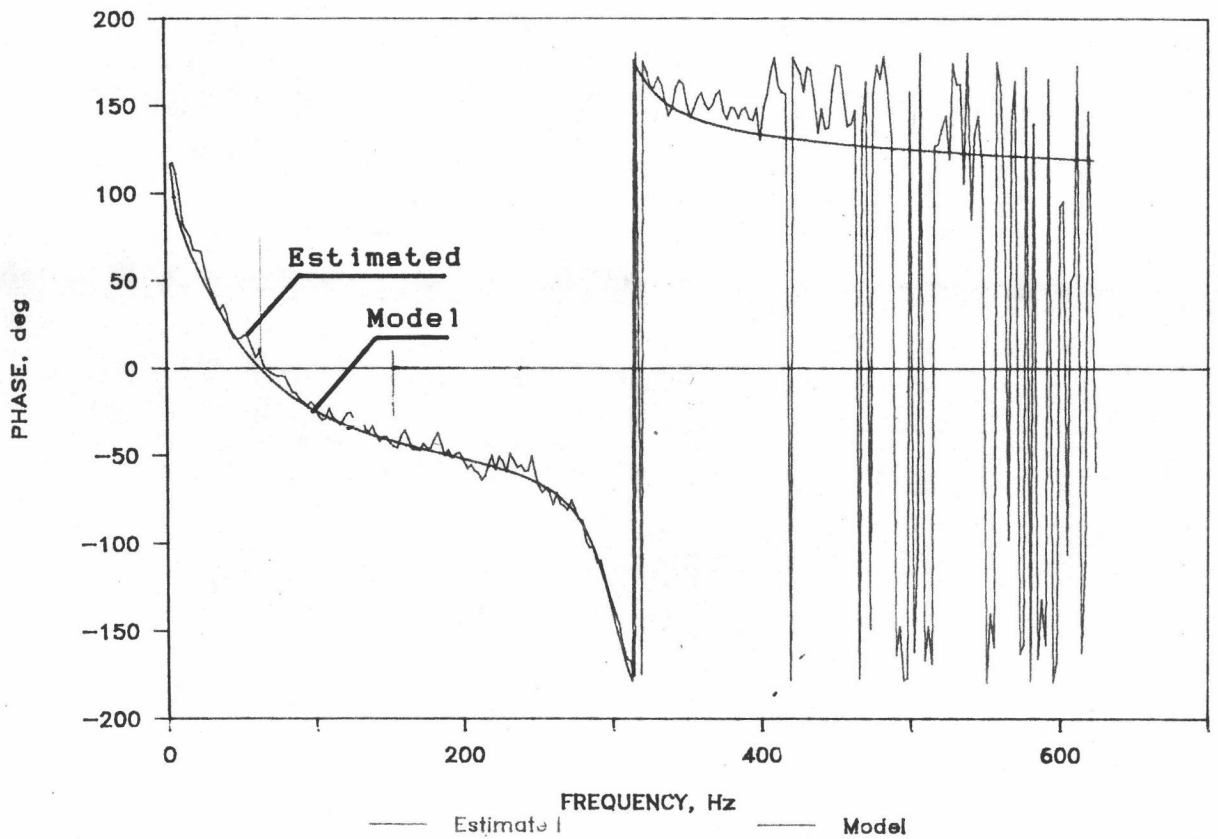
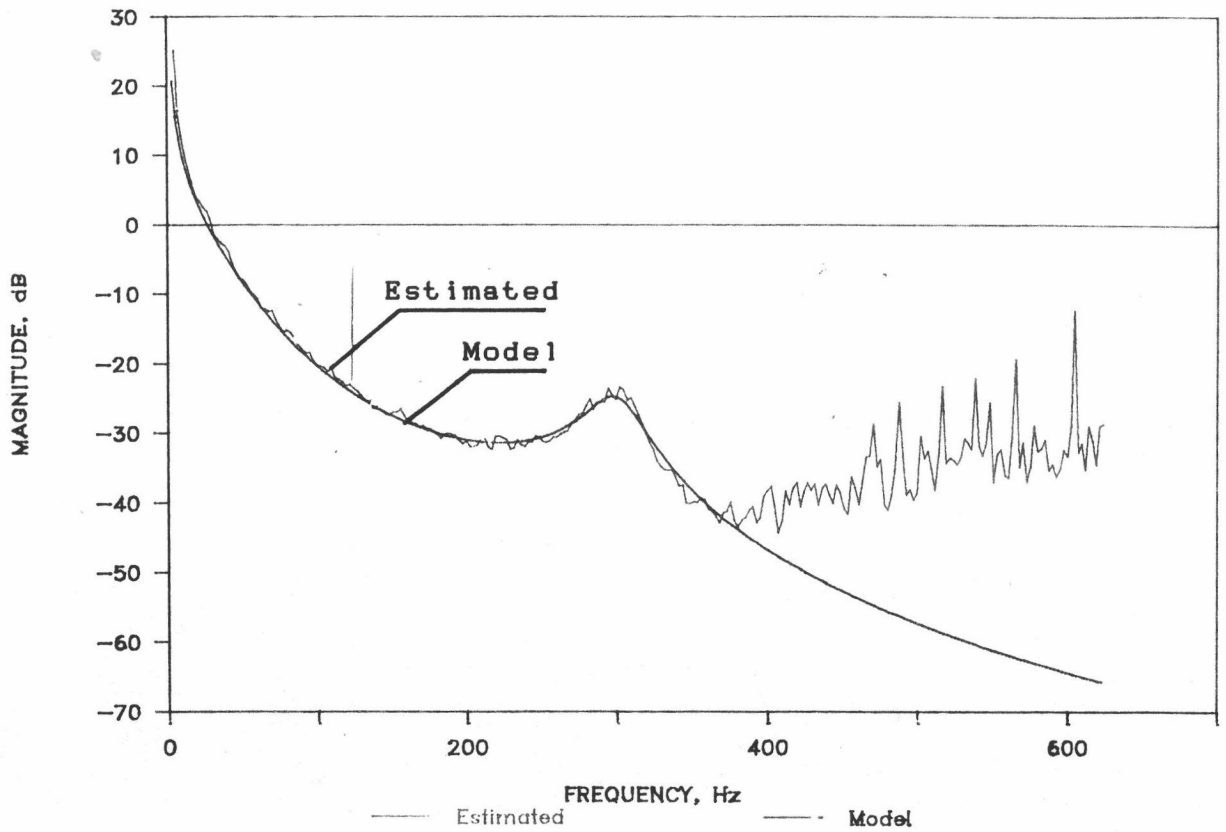
$$\hat{H}_T(s) = \frac{(1.739 \times 10^7 s^2 - 2.417 \times 10^{10} s - 8.692 \times 10^{13})}{(s^5 + 8.912 \times 10^2 s^4 + 3.836 \times 10^6 s^3 + 2.456 \times 10^9 s^2 + 4.751 \times 10^{11} s + 4.140 \times 10^{12})}$$

ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันที่ได้ถือว่าเป็นทรานสเฟอ์ฟังก์ชันในช่วงความถี่ประมาณ 0 ถึง 350 Hz เท่านั้น รูป 6-16 แสดงการเปรียบเทียบโมเดลที่สร้างขึ้นจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้ เทียบกับรูปทรานสเฟอ์ฟังก์ชันที่ประมาณได้ จะเห็นว่าโมเดลสามารถแทนระบบได้ดี เมื่อเปรียบเทียบออดเตอร์กับออดเตอร์ของสมการ (6-3) ที่วิเคราะห์ทางทฤษฎี แสดงว่ามีโพล 1 ตัวที่สามารถละทิ้งได้ ในทรานสเฟอ์ฟังก์ชันสำหรับช่วงความถี่นี้ เนื่องจากโพลมีค่าเป็นลบมาก ซึ่งคือค่า $-R_u / L_u$ เมื่อ L_u มีค่าน้อยมาก (ดูสมการ (6-2))

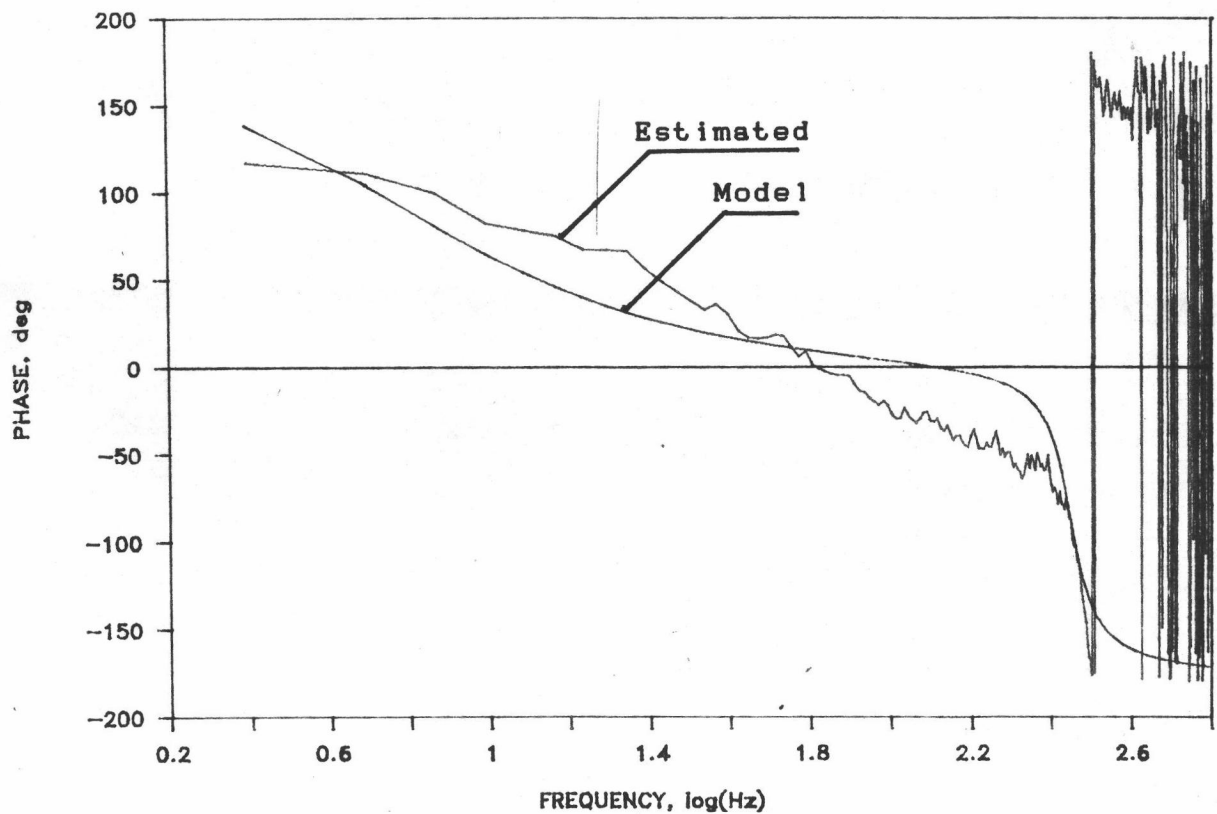
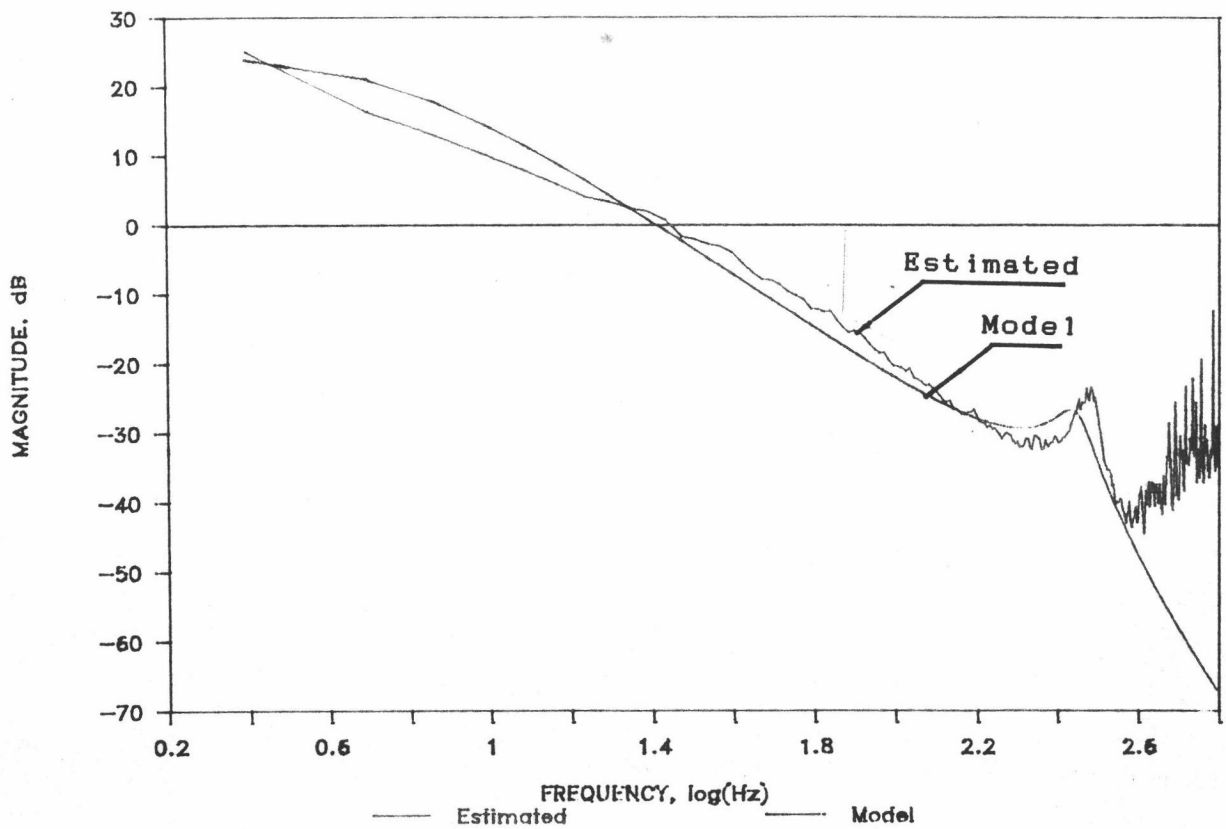
รูป 6-17 แสดงโมเดลที่ได้เมื่อตั้งสมมติฐานให้มวลของโหลดกับมอเตอร์รวมกันหรือคิดว่าเพลลาที่ต่อระหว่างมอเตอร์กับโหลดไม่มีสตีเฟเนล ซึ่งจะได้โครงสร้างของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T ใหม่โดยจะได้ออดเตอร์ของเศษเป็นศูนย์และออดเตอร์ของส่วนเป็น 4 จากรูปจะเห็นว่าโมเดลไม่สามารถแทนระบบได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของทรานสเฟอ์ฟังก์ชันไม่สมบูรณ์เพียงพอตนเอง ส่วนรูป 6-18 แสดงโมเดลที่ได้เมื่อตั้งสมมติฐานให้มวลของแทคโคมิเตอร์กับมอเตอร์รวมกันหรือคิดว่าเพลลาที่ต่อระหว่างมอเตอร์กับแทคโคมิเตอร์ไม่มีสตีเฟเนล ซึ่งจะได้โครงสร้างของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T ใหม่โดยจะได้ออดเตอร์ของเศษเป็น 2 และออดเตอร์ของส่วนเป็น 4 จากรูปจะเห็นว่าโมเดลสามารถแทนระบบได้ดีขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการที่ใช้ในการวิจัยนี้สามารถทำให้มองเห็นภาพของระบบได้ดีขึ้นกว่าเดิมมาก ซึ่งจะทำให้สามารถหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันที่เหมาะสมจริงๆ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมให้ได้ผลดีได้



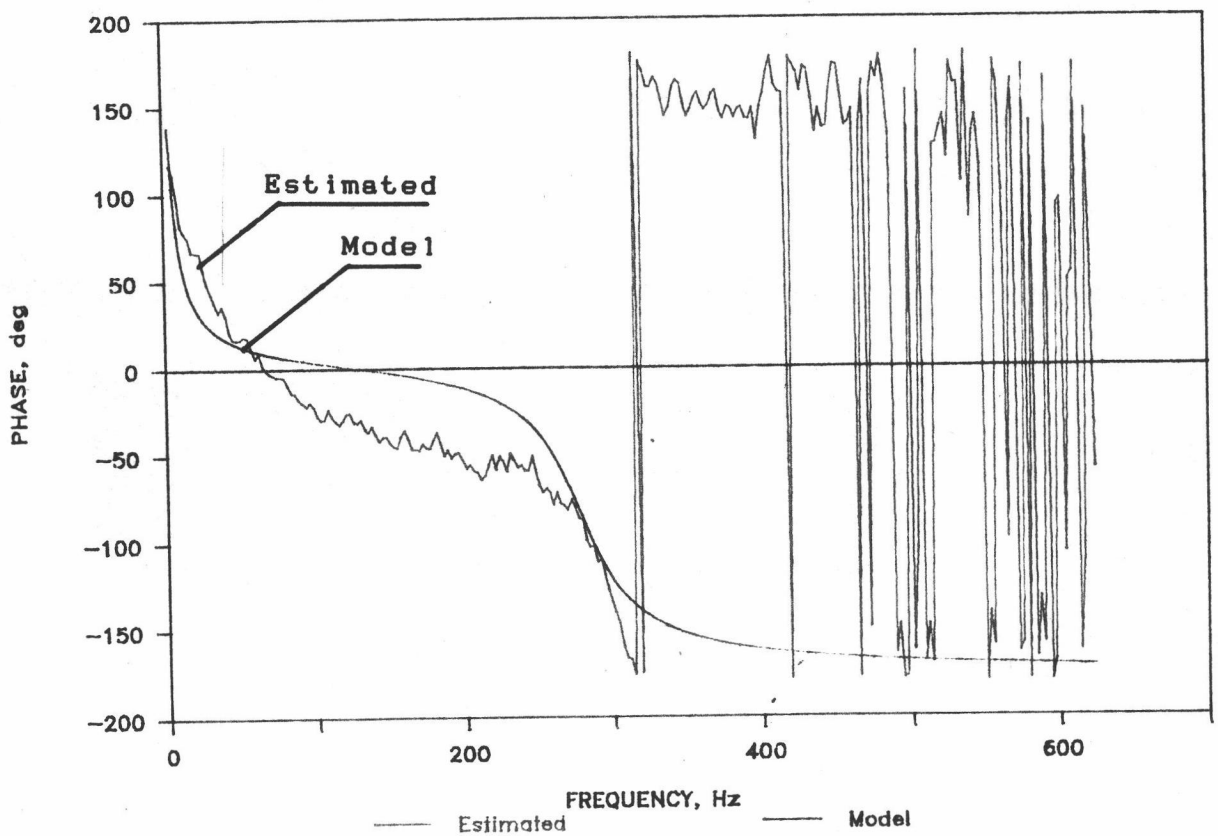
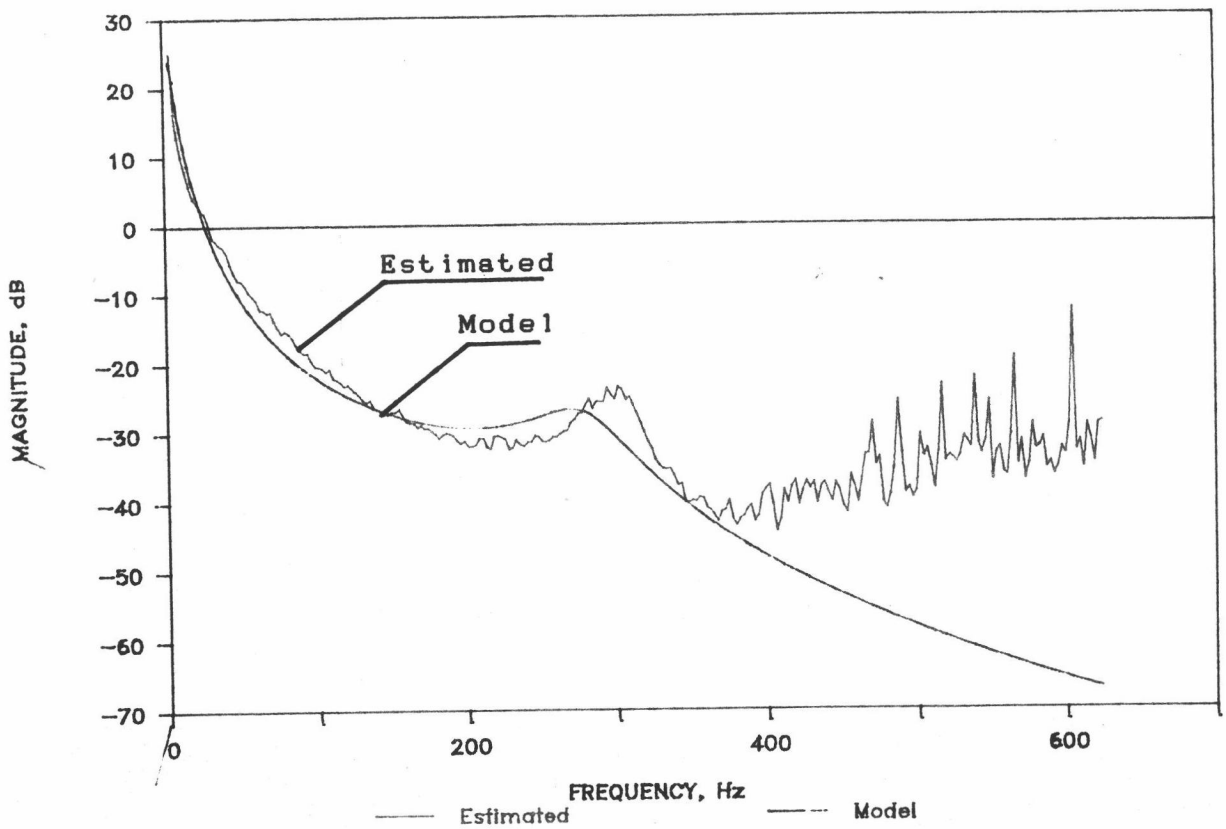
รูป 6-16 แสดงโมเดลที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้เทียบกับผลตอบความถี่ ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T เมื่อให้ออเดอร์ของเศษเป็น 2 และส่วนเป็น 5



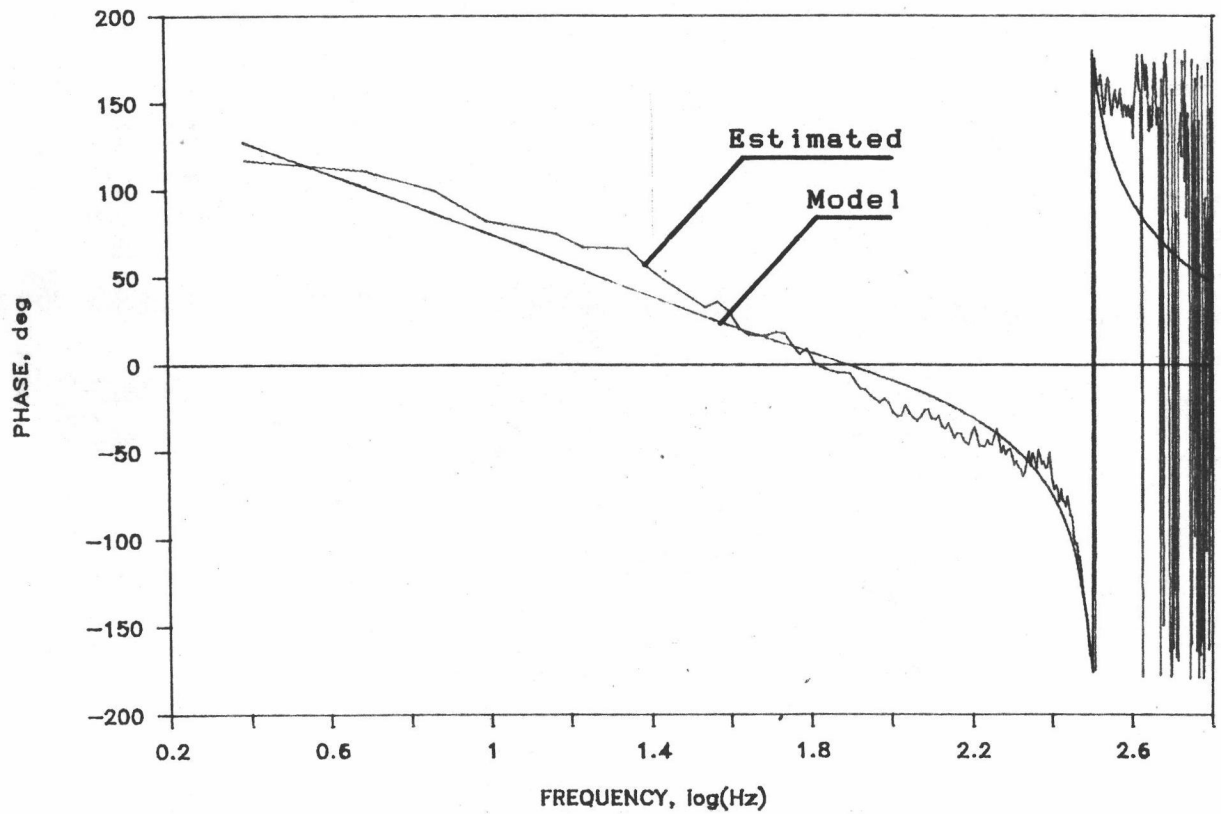
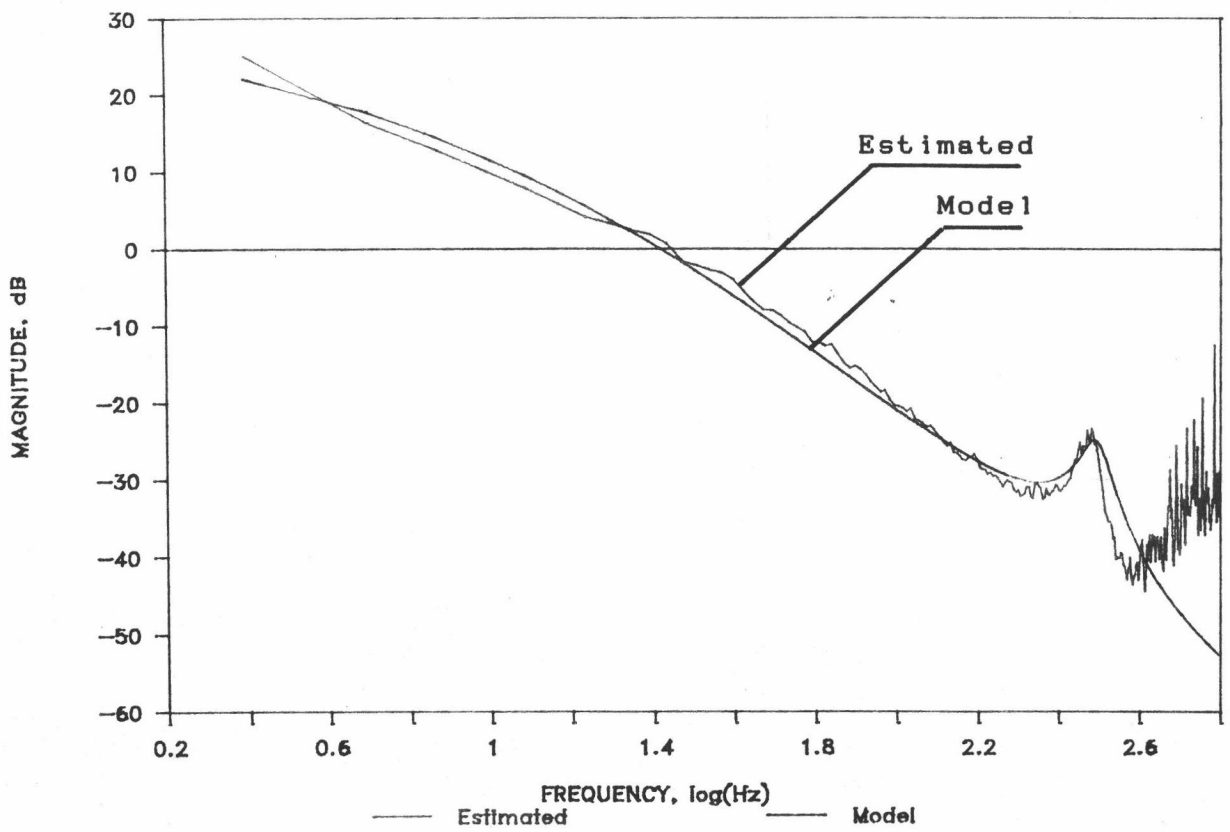
รูป 6-16 (ต่อ) เมื่อให้เสกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง



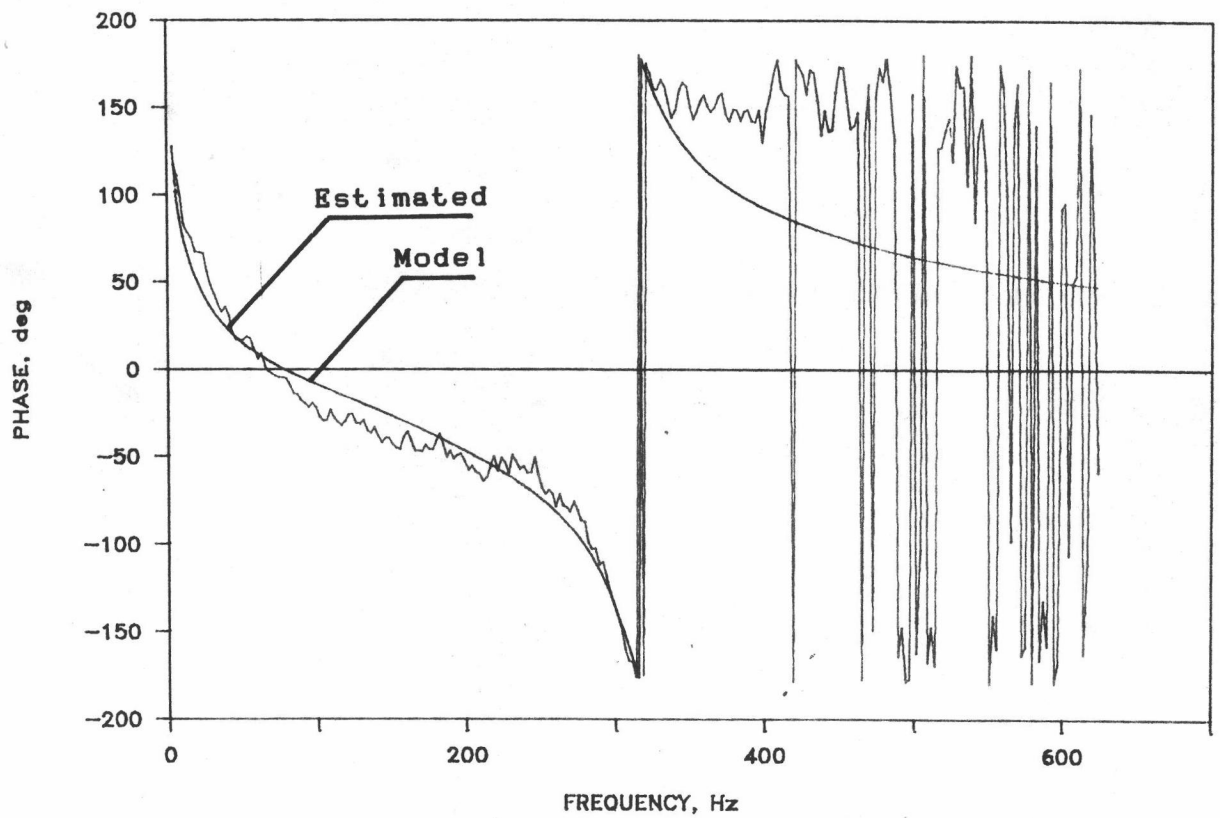
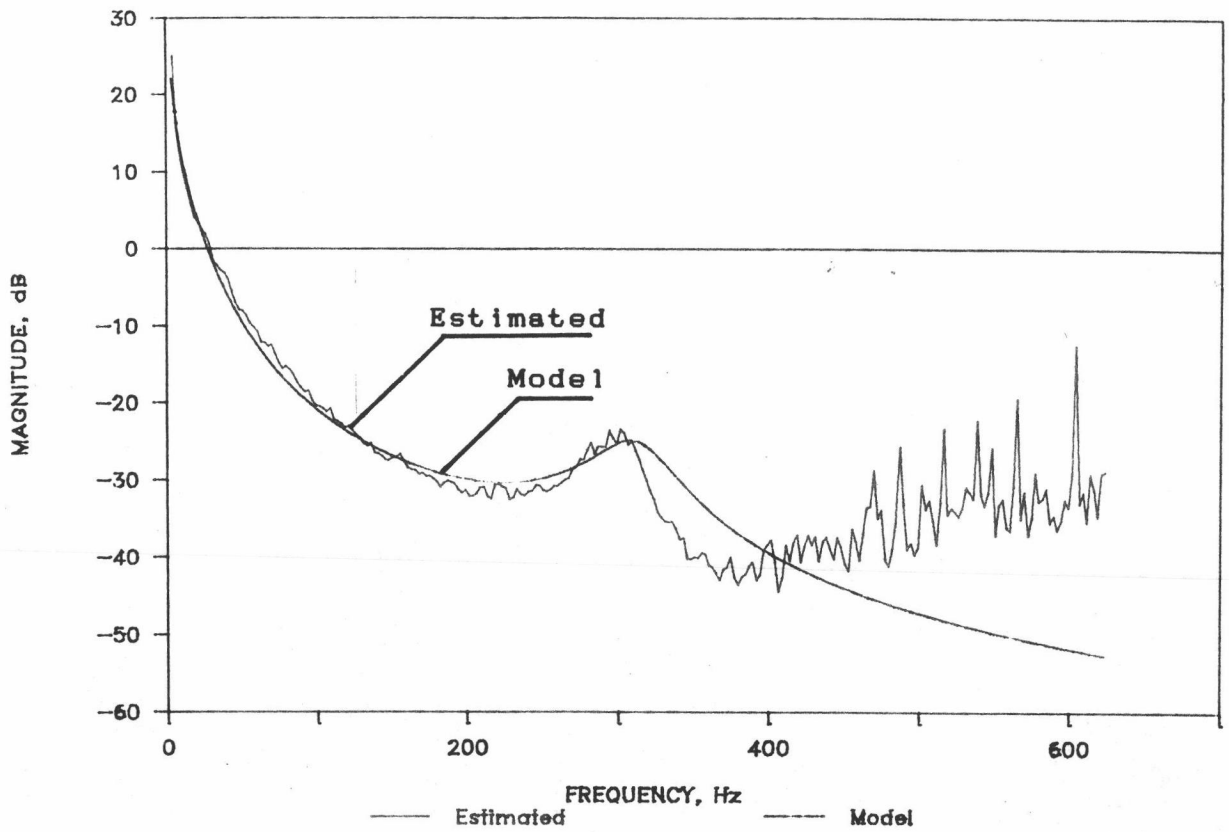
รูป 6-17 แสดงโมเดลที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้เทียบกับผลตอบความถี่ ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T เมื่อให้ออเดอร์ของเศษเป็น 0 และส่วนเป็น 4



รูป 6-17 (ต่อ) เมื่อให้เสกลกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง

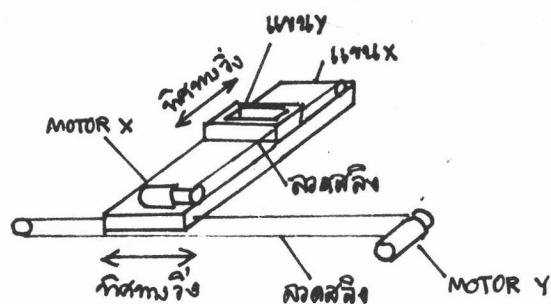
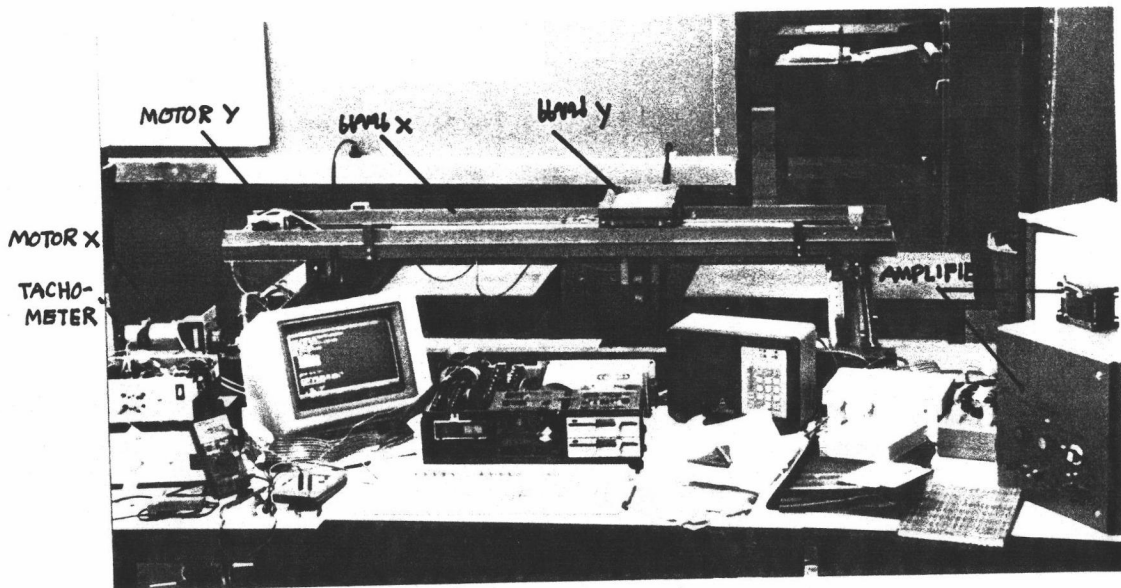


รูป 6-18 แสดงโมเดลที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้เทียบกับผลตอบความถี่ ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_T เมื่อให้ออเดอ์ของเศษเป็น 2 และส่วนเป็น 4

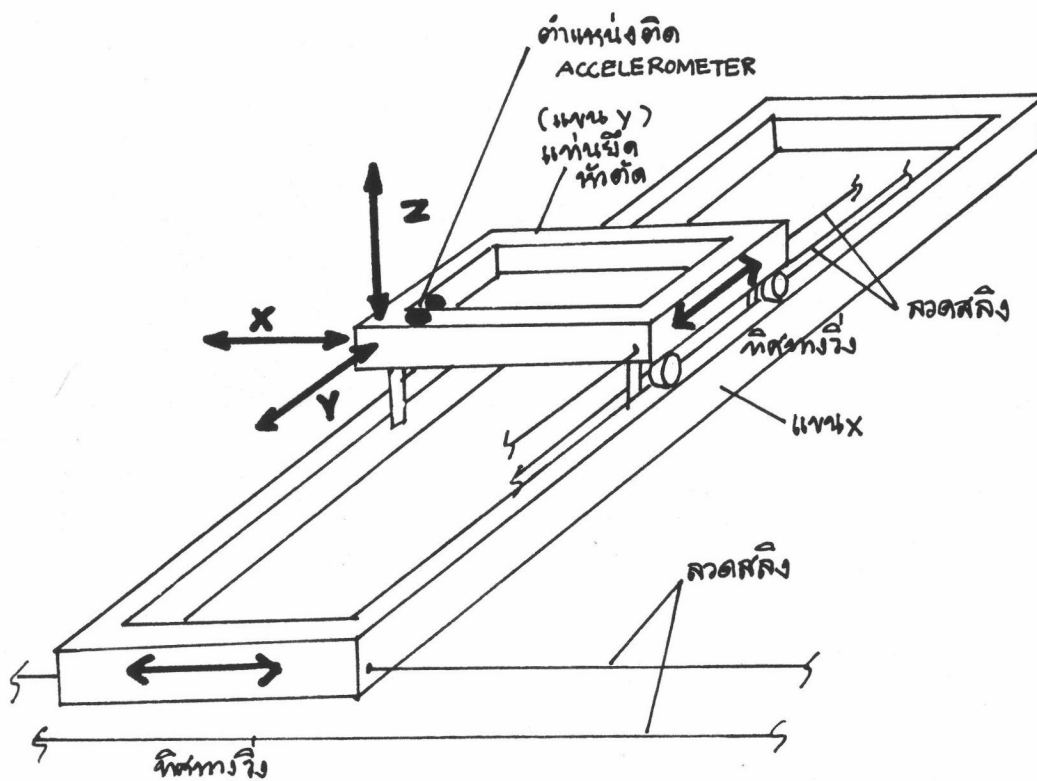
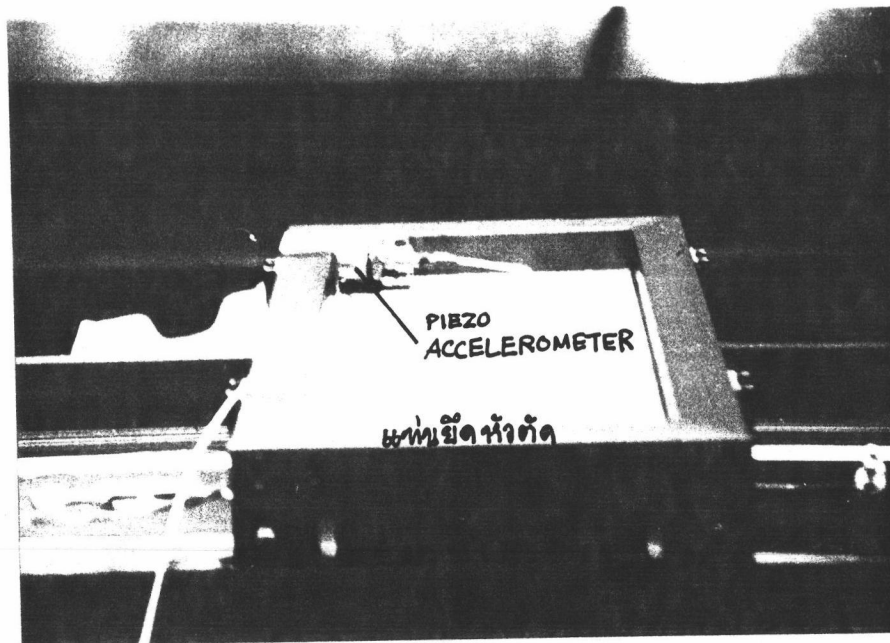


รูป 6-18 (ต่อ) เมื่อให้เสกลกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง

6.3 การประมาณความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างของระบบไต้ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟ รูป 6-15 แสดงระบบไต้ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟ ประกอบด้วยแขนซึ่งเคลื่อนที่ไปมาเป็นเส้นตรงสองแขนในทิศทาง xy โดยแขน y จะเคลื่อนที่อยู่บนแขน x ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงสำหรับขับเคลื่อนแต่ละแขน ผ่านทางลวดสลิง ซึ่งพันติดอยู่กับแกนของมอเตอร์ การทดลองเพื่อหาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง ทำเพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดช่วงใช้งานของระบบ สำหรับระบบไต้ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟ จะทำการทดสอบโดยวิธีการใช้อินพุทแบบพัลส์ และวัดเอาพุทเป็นความเร่ง โดยใช้มิเตอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) เนื่องจากสะดวกในการทดลอง ตำแหน่งสำหรับติดตั้งมิเตอร์วัดความเร่ง แสดงในรูป 6-16 โดยติดตั้งไปบนแขน y เพื่อให้ได้รับผลจากสติปเนสของโครงสร้างอันได้แก่ สติปเนสของลวดสลิงทั้งสองชุด และสติปเนสของแขน x เอง ให้มากที่สุด



รูป 6-15 ระบบไต้ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟ



รูป 6-20 แสดงตำแหน่งการทดสอบระบบไต่ตัดแผ่นเหล็ก
โดยใช้การทดสอบแบบพัลส์

การทดสอบด้วยอินพุทแบบพัลส์กระทำโดยใช้หม้อพลาสติก เคาะที่ตำแหน่งแสดงในรูป 6-16 การทดสอบกระทำทั้ง 3 ทิศทาง x y และ z เนื่องจากการวิ่งไปมาของตัวแขนทั้งสอง มีผลทำให้เกิดการสั่น (Vibration) ได้ทั้งสามทิศทาง

การเก็บข้อมูลเข้าพุดเข้าไมโครคอมพิวเตอร์ ใช้ความถี่การสุ่มเป็น 500 Hz เก็บข้อมูล 4 ชุดในแต่ละทิศทาง แต่ละชุดจำนวน 512 ค่า แล้วจึงใช้โปรแกรมวิเคราะห์สเปคตรัม หาเพาเวอร์สเปคตรัลเดนซิตี (Power Spectral Density, PSD) โดยใช้อินพุทของโปรแกรมดังนี้

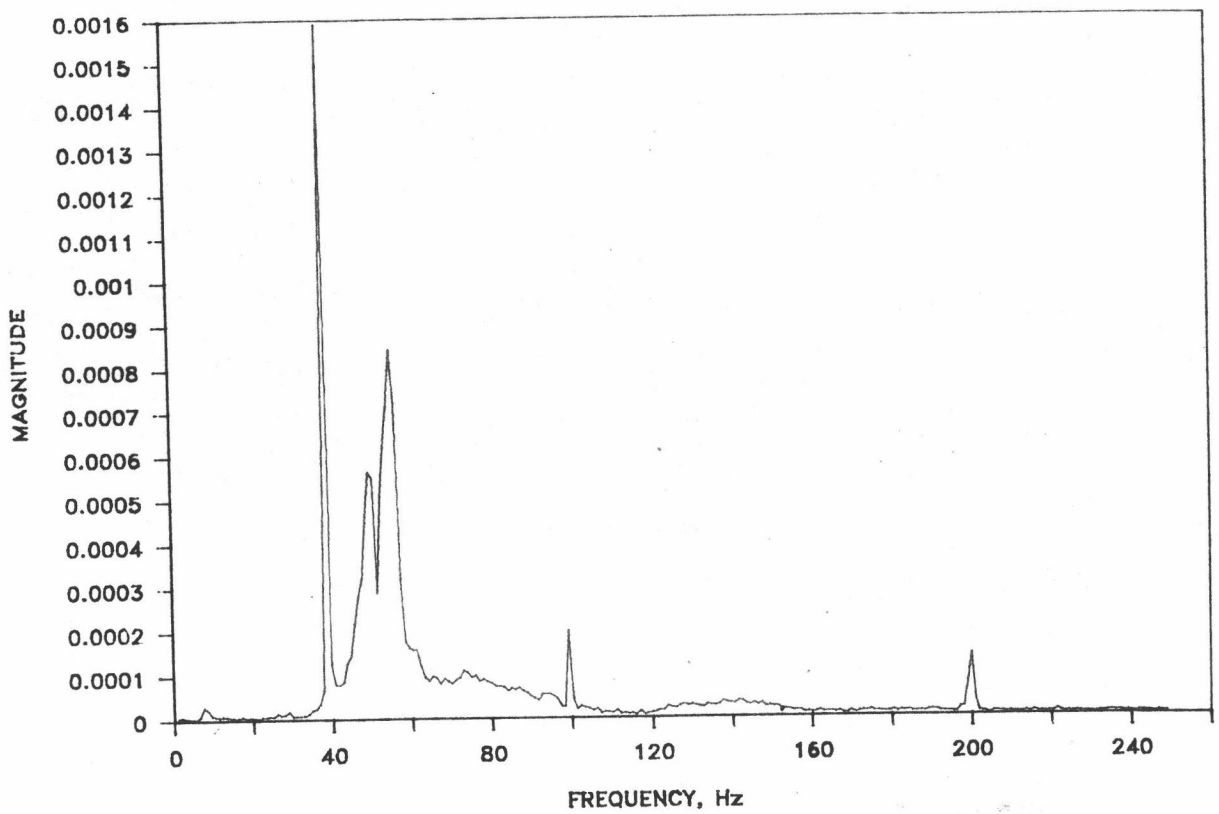
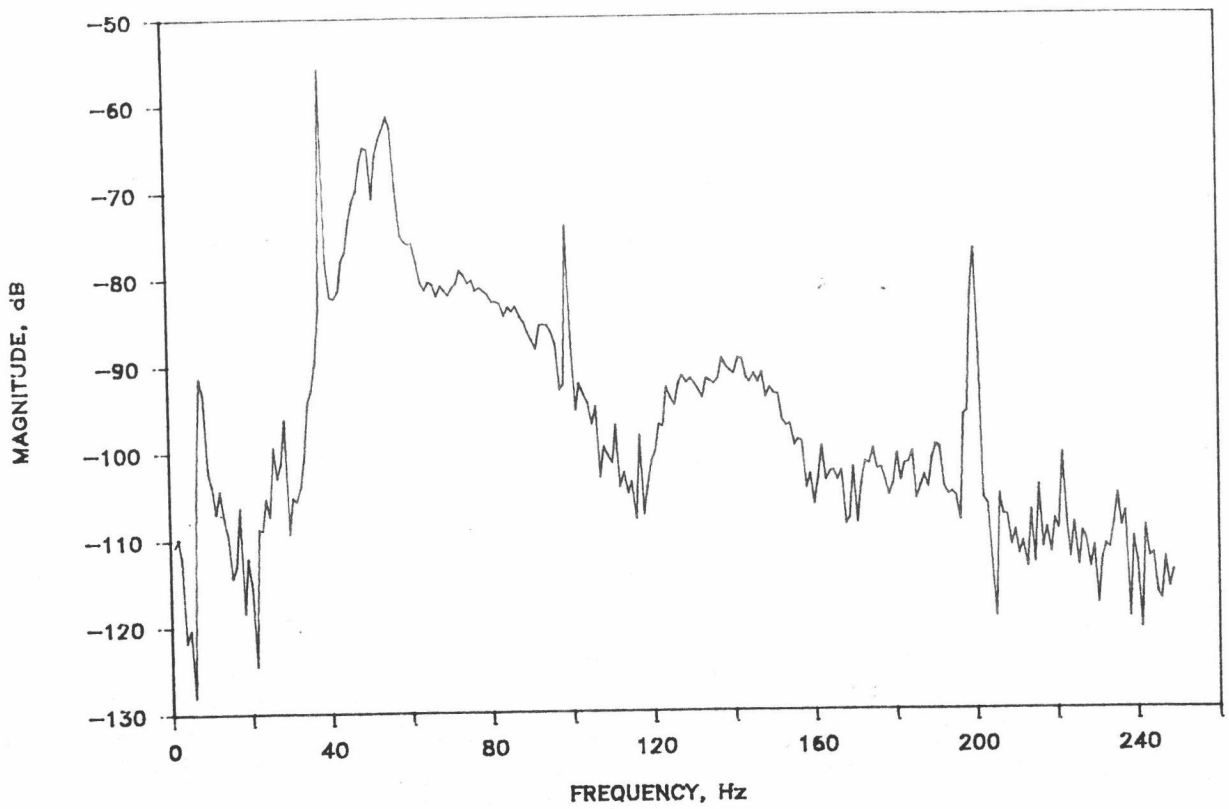
- จำนวนชุดข้อมูล 4
- จำนวนข้อมูลในแต่ละชุด 512
- ความเร็วคาบการสุ่มข้อมูล 0.002 วินาที (ความถี่ 500 Hz)
- ออเดอร์ทของ FFT 9

ได้สเปคตรัมในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 250 Hz แสดงในรูป 6-21 6-22 และ 6-23 ซึ่งมองเห็นความถี่ธรรมชาติโหมดแรกที่มีความถี่ประมาณ 55 50 และ 45 ในแนว x y และ z ตามลำดับ

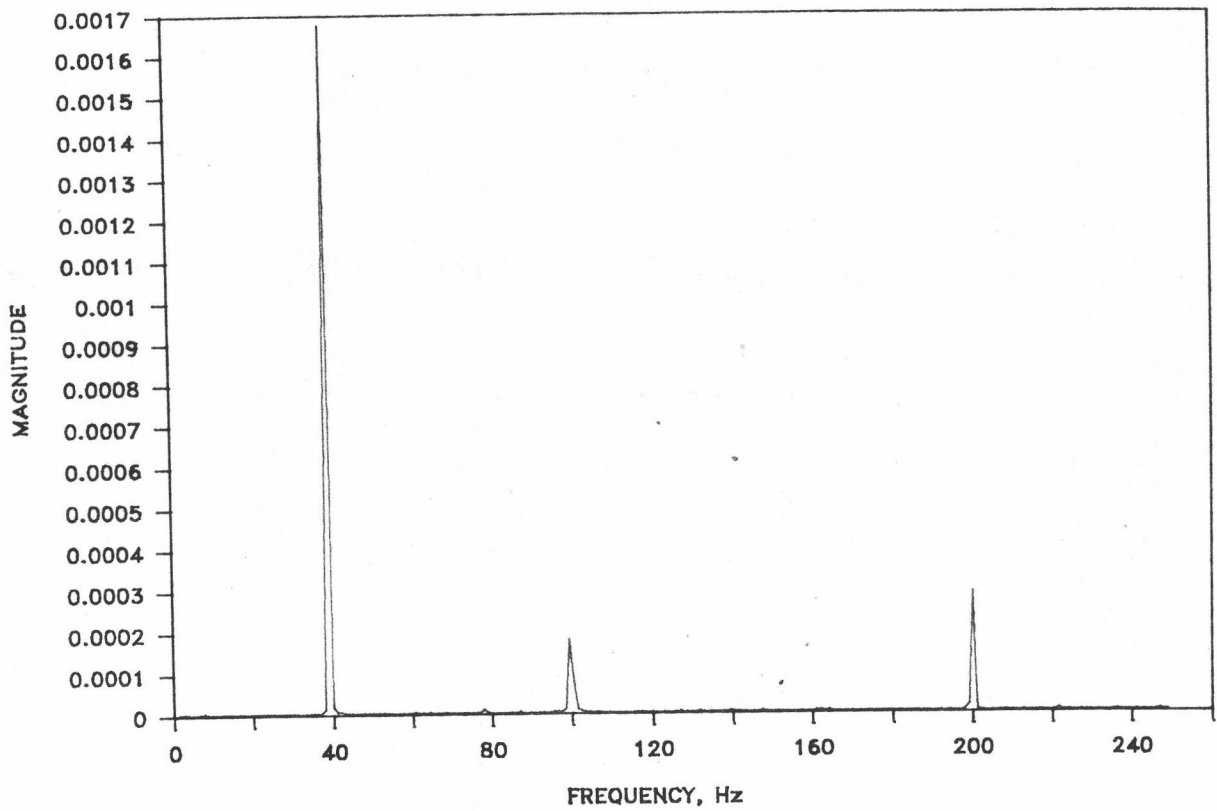
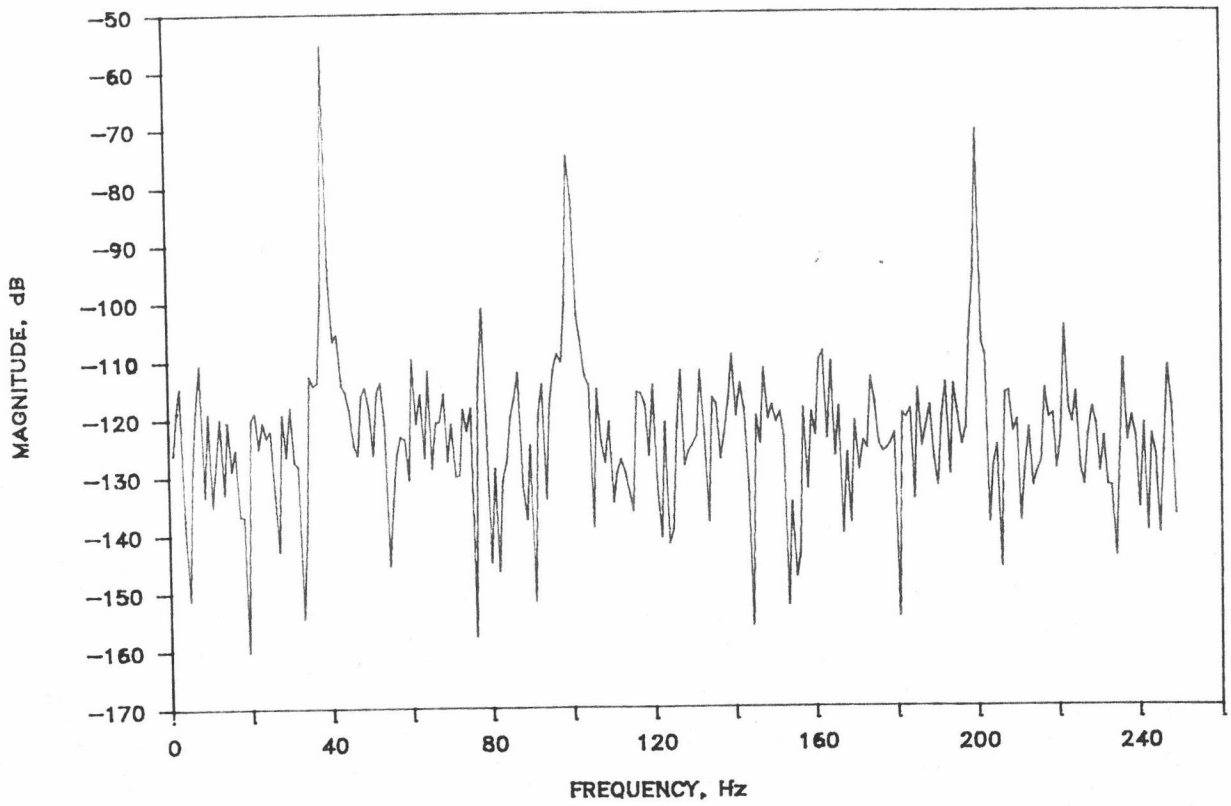
เนื่องจากการใช้มิเตอร์วัดความเร่งนั้น เป็นการวัดค่าสัมบูรณ์ (Absolute) สเปคตรัมที่หาได้จึงมีผลของการสั่นอื่นๆ เข้ามาด้วยนอกเหนือจากสเปคตรัมของโครงสร้างของตัวระบบ จึงได้ทดลองทำการทดสอบตามแบบข้างต้นเพียงแต่ไม่มีการเคาะ ปรากฏว่าได้สเปคตรัมออกมาดังในรูป 6-21-b 6-22-b และ 6-23-b ในแนว x y และ z ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามี การสั่นแบบเพริโอดิกจากพื้นห้องที่ตัวระบบตั้งอยู่ ที่ค่าประมาณ 40 Hz ทั้ง 3 แกน การสั่น คาดว่ามีแหล่งกำเนิดจากการสั่นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ อย่างไรก็ตามการที่มิเตอร์วัดความเร่ง วัดเอาการสั่นเนื่องจากแหล่งอื่นเข้ามาด้วยจะเป็น

ผลดีต่อการกำหนดช่วงความถี่การทำงานของระบบ เนื่องจากการทำงานของระบบก็ยังคงทำงานอยู่บนพื้นซึ่งมีการสั่นนี้อยู่นั่นเอง การกำหนดช่วงความถี่ใช้งานจึงขึ้นกับความสำคัญของความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างหรือการสั่นแบบเพอร์โอดิกของพื้นห้องมากกว่ากัน

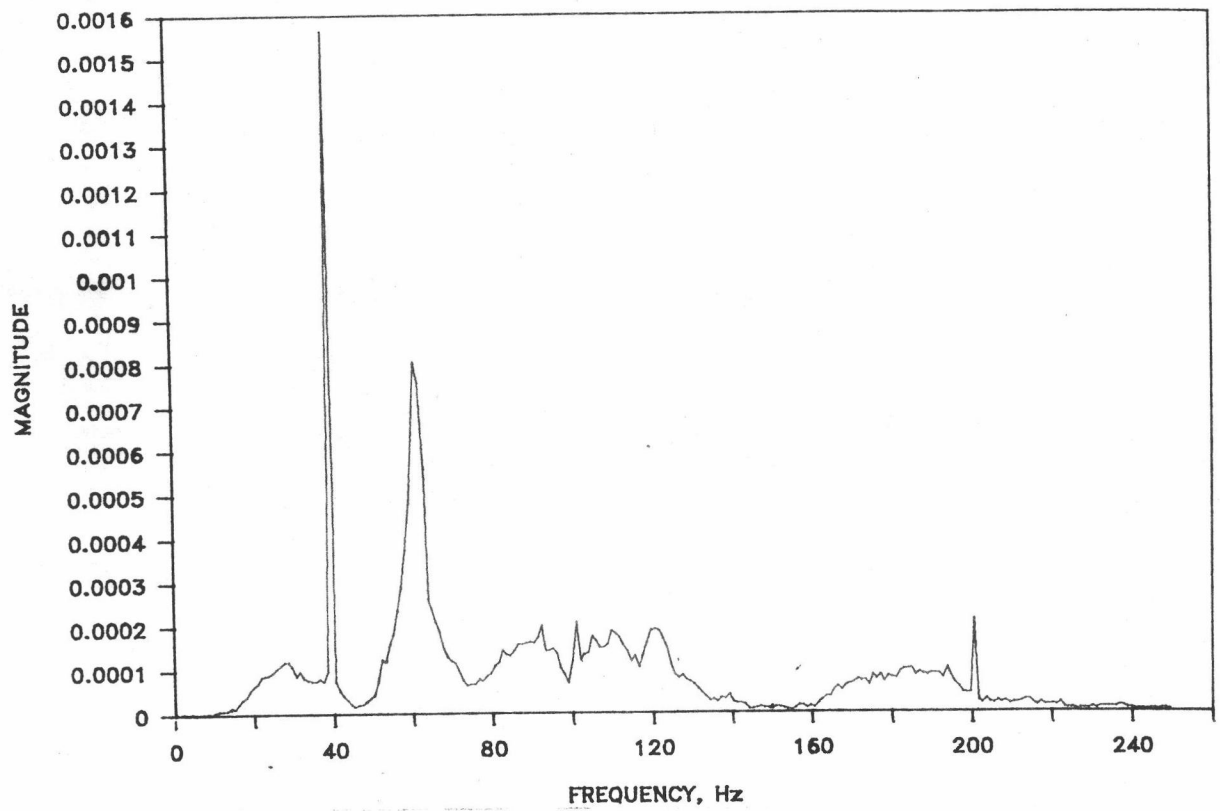
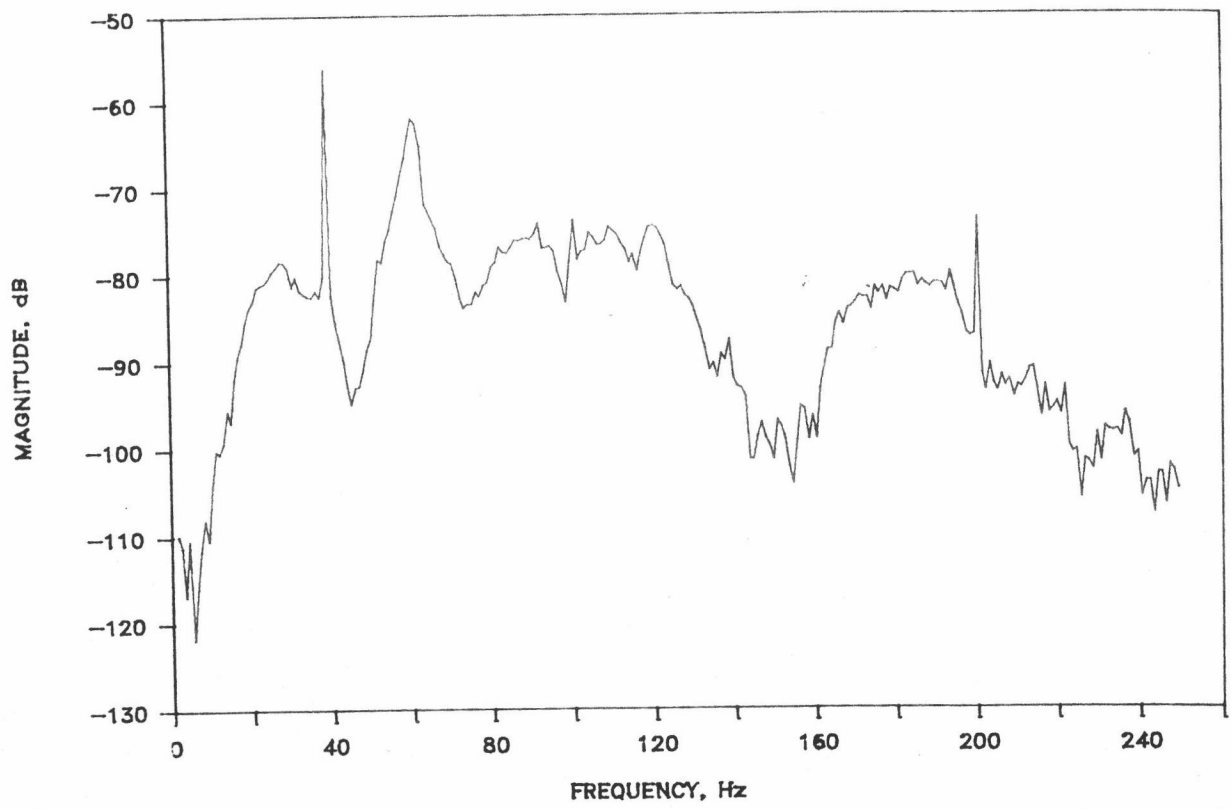
สำหรับระบบโต๊ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟนี้ควรจะกำหนดช่วงใช้งานโดยใช้ความถี่ 40 Hz เป็นหลักเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าความถี่ธรรมชาติโหมดแรกของโครงสร้างของระบบ ช่วงความถี่ใช้งานจึงไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของความถี่นี้



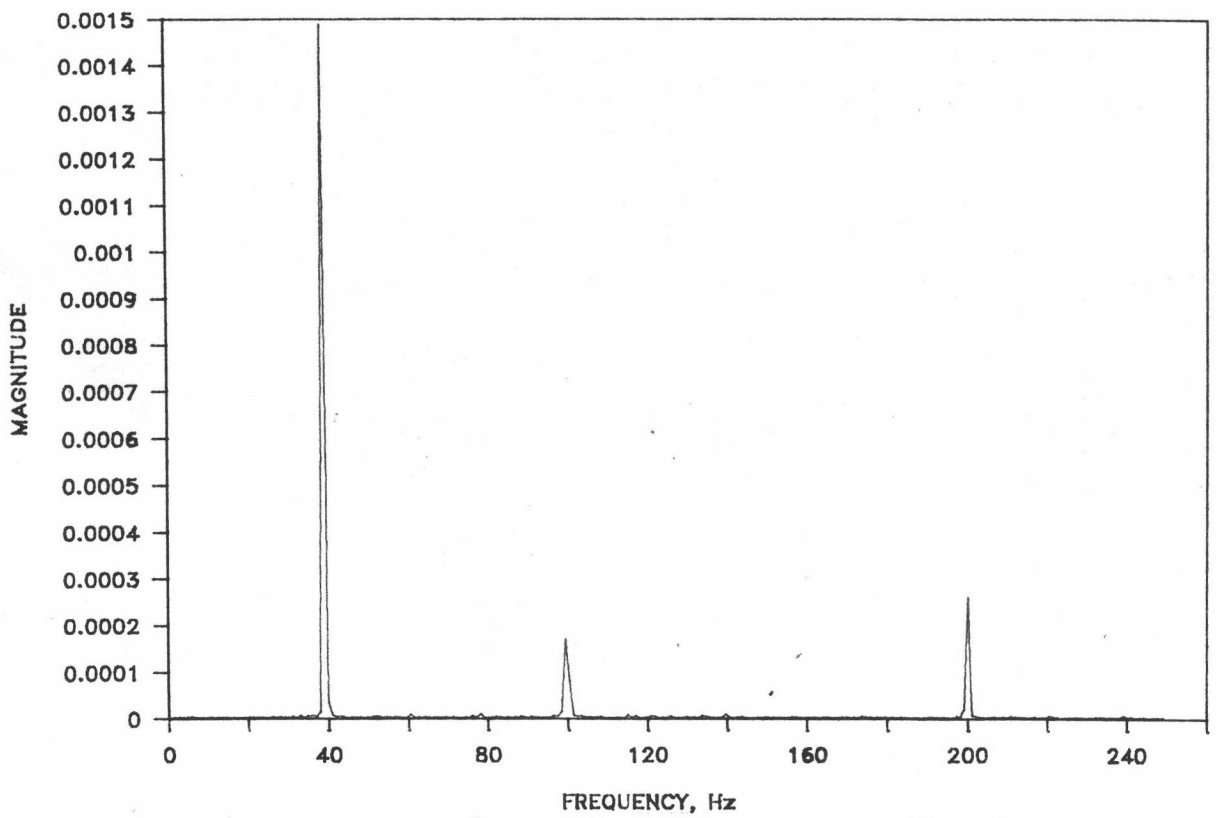
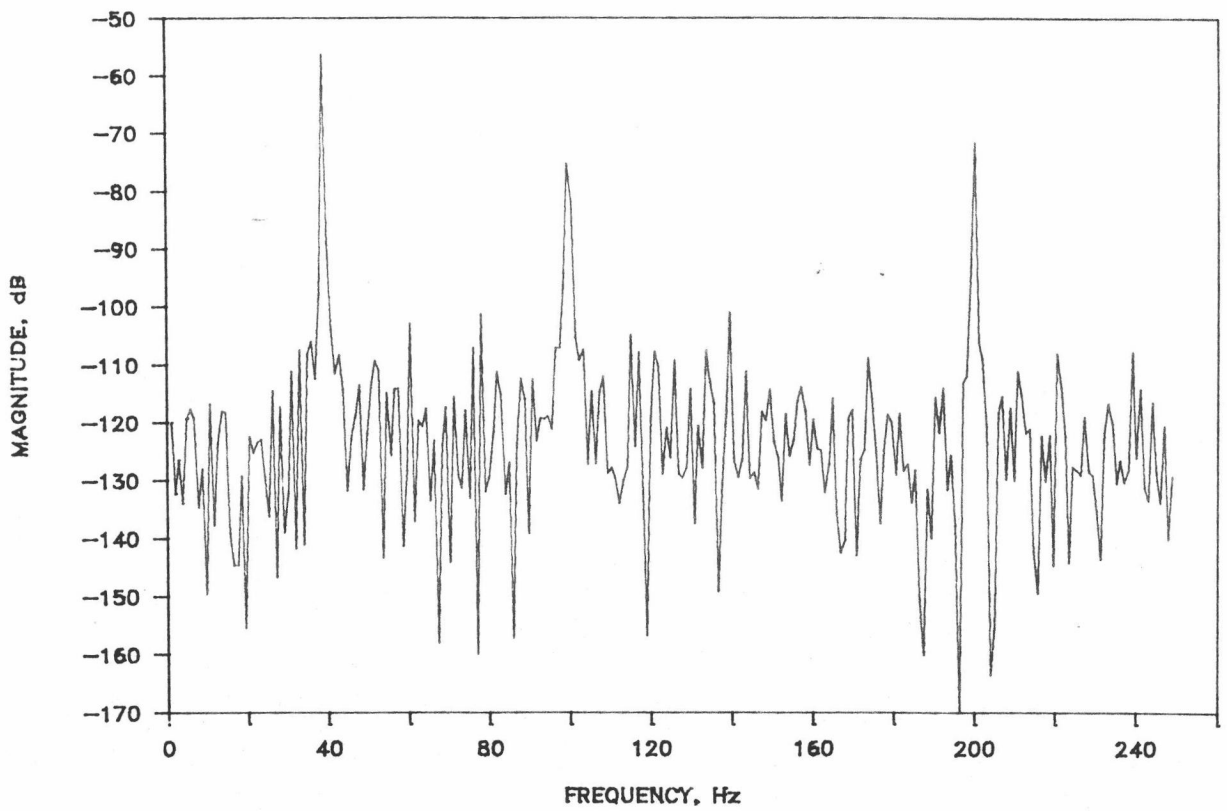
รูป 6-21 (a) เพาเวอร์สเปกตรัลเด้นซิตีของความเร่งในแนว x



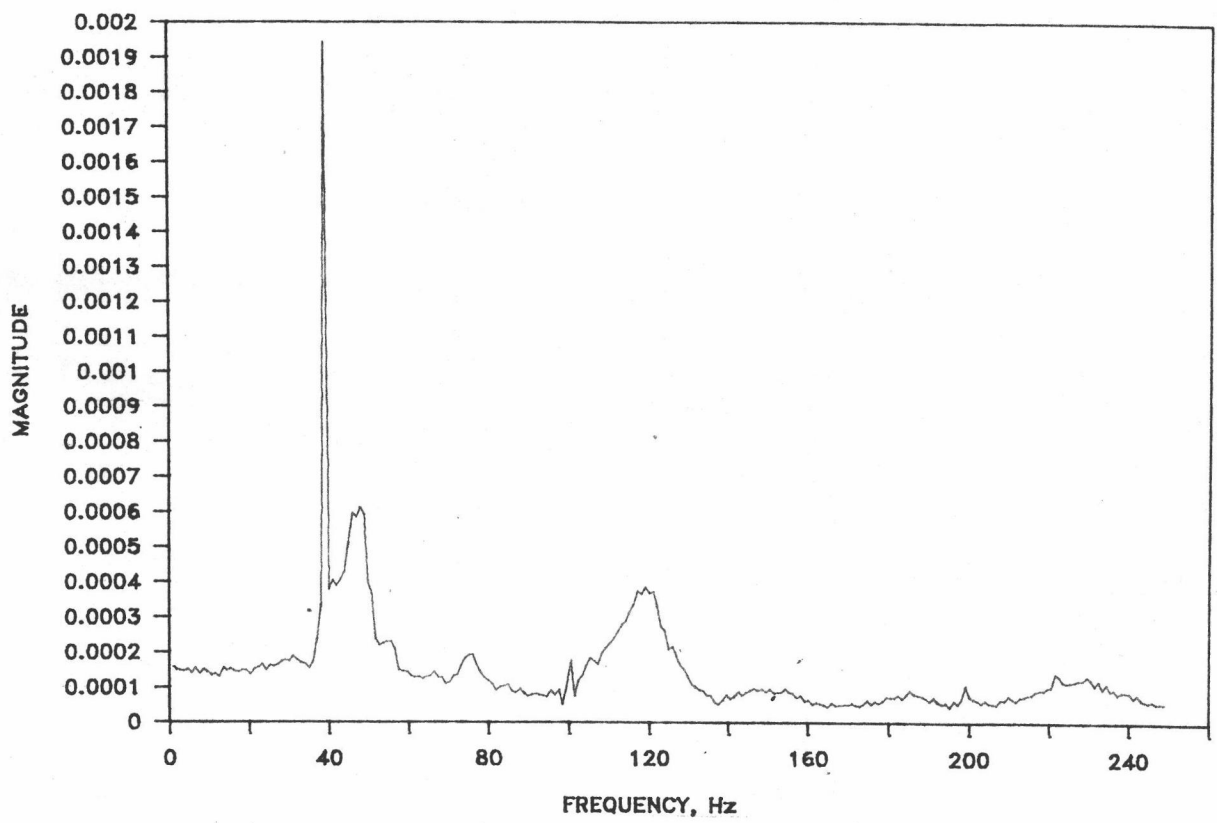
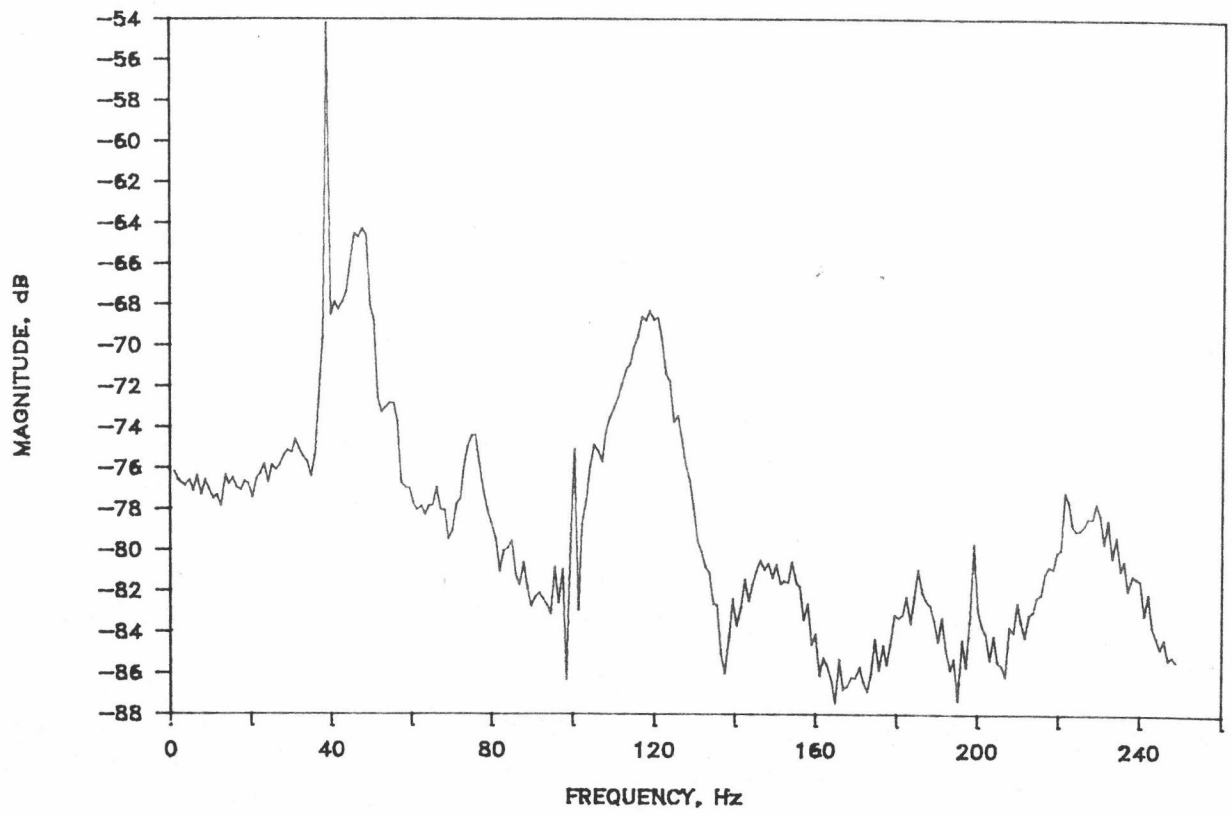
(b) เพาเวอร์สเปกตรัลเด้นซิตีของความเร่งในแนว x
(เมื่อไม่ใส่อินพุท)



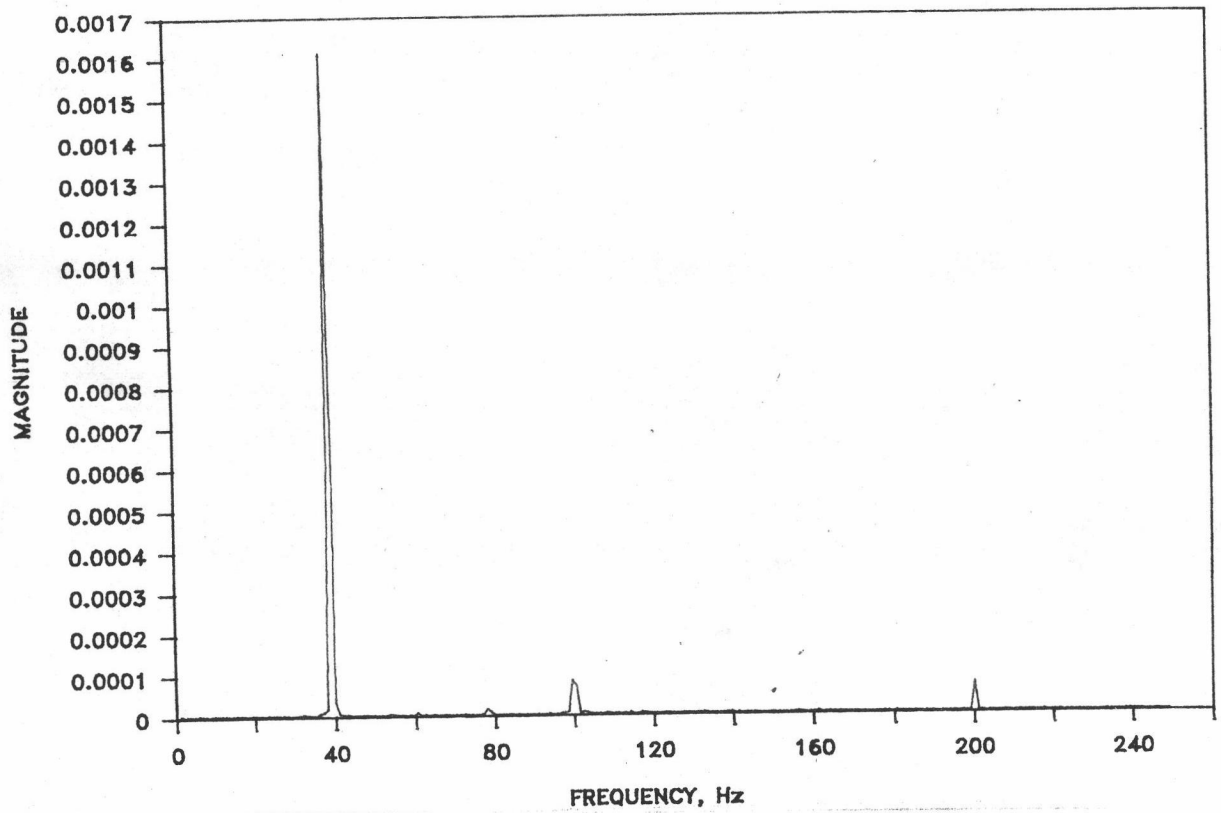
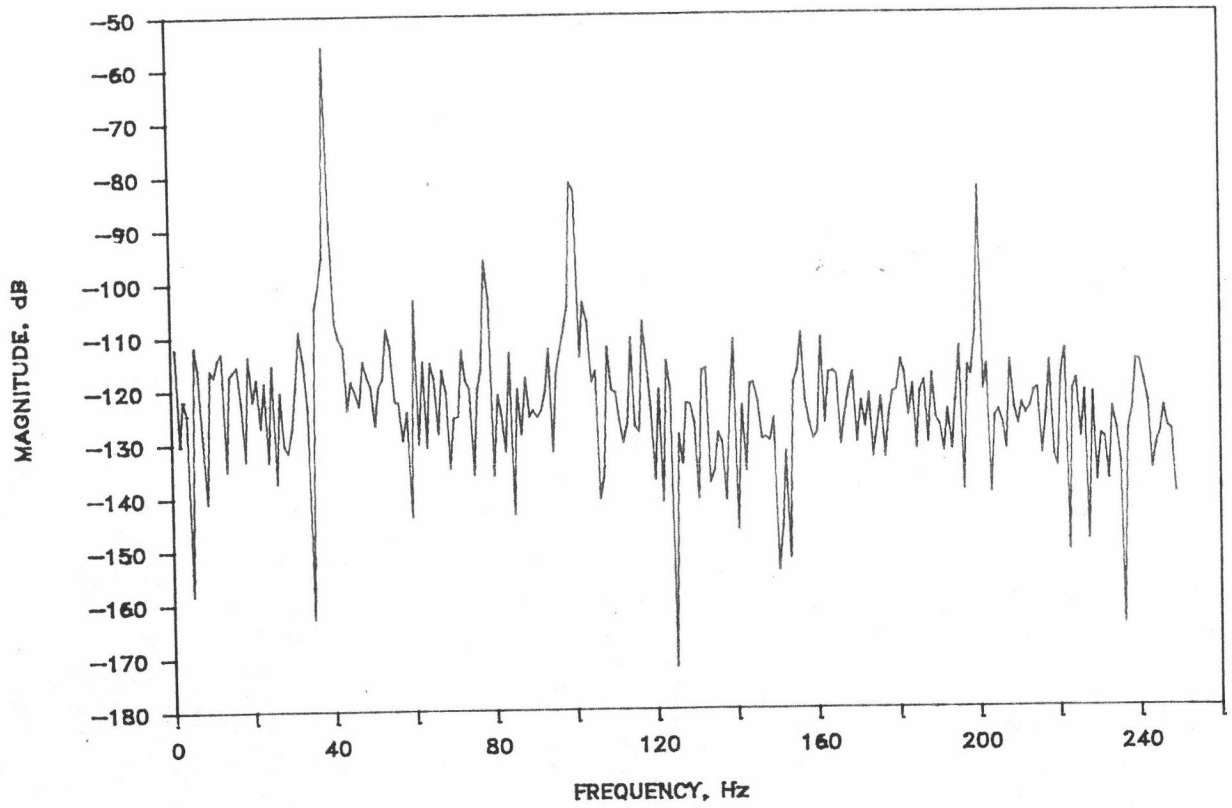
รูป 6-22 (a) เพาเวอร์สเปคตรัลเดนซิตีของความเร่งในแนว y



(b) เพาเวอร์สเปกตรัลเดนซิตีของความถี่ในแนว y
(เมื่อไม่ใส่อินพุท)



รูป 6-23 (a) เพาเวอร์สเปกตรัลเด้นซิตีของความเร่งในแนว z



(b) เพาเวอร์สเปกตรัลเดนซิตีของความถี่ในแนว z
(เมื่อไม่ใส่อินพุท)



6.4 การหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของชุดขับเคลื่อนของระบบโต๊ะตัดแผ่นเหล็กด้วยเปลวไฟ ชุดขับเคลื่อนประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงต่อกับแทคโคมิเตอร์ และต่อกับโพลคือ แขน x และ y ผ่านทางลวดสลิง ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันที่จะหาเป็นทรานสเฟอ์ฟังก์ชันระหว่างเอาพุทคือความเร็วเชิงมุมของเพลลาที่แทคโคมิเตอร์ซึ่งอยู่ในรูปของโวลต์เทียบกับอินพุทคือโวลต์ที่ป้อนให้กับแอมพลิไฟเออร์ ของมอเตอร์ทั้งสองชุดได้แก่ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_y และ H_x เช่นเดียวกันกับในกรณีหัวข้อ 6.2 ตามลำดับ รูป 6-24 แสดงชุดขับเคลื่อนชุดบน (Y) และชุดล่าง (X)

การทดสอบระบบกระทำในลักษณะเดียวกับในหัวข้อ 6.2 การวิเคราะห์หาโครงสร้างของระบบ ทำในลักษณะเดียวกัน โดยคิดให้โพลของระบบเป็น Effective Load การทดสอบใช้อินพุทแบบแรนดอมโดยใช้แรนดอมที่จำกัดช่วงกว้างความถี่เป็น 100 Hz เนื่องจากที่ความถี่สูงกว่านี้มอเตอร์ไม่มีการตอบสนอง การเก็บข้อมูลอินพุทและเอาพุทใช้อัตราความถี่ 400 Hz จำนวนชุดข้อมูล 16 ชุด ข้อมูลชุดละ 512 ค่า ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ในรูปทรานสเฟอ์ฟังก์ชันแสดงในรูป 6-25 ถึง 6-33 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ทำให้ได้โมเดลหรือทรานสเฟอ์ฟังก์ชันซึ่งมีความแม่นยำเมื่อเทียบกับผลตอบความถี่ในช่วงความถี่ใช้งานไม่เกิน 40 Hz ซึ่งได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของชุดขับเคลื่อนแต่ละชุดดังนี้ สำหรับชุดขับเคลื่อนชุดล่าง

$$H_x(s) = \frac{(2.46 \times 10^7 s^2 + 9.88 \times 10^3 s + 8.57 \times 10^{10})}{(s^5 + 4.73 \times 10^1 s^4 + 1.86 \times 10^5 s^3 + 6.91 \times 10^5 s^2 + 6.51 \times 10^9 s + 1.10 \times 10^{11})}$$

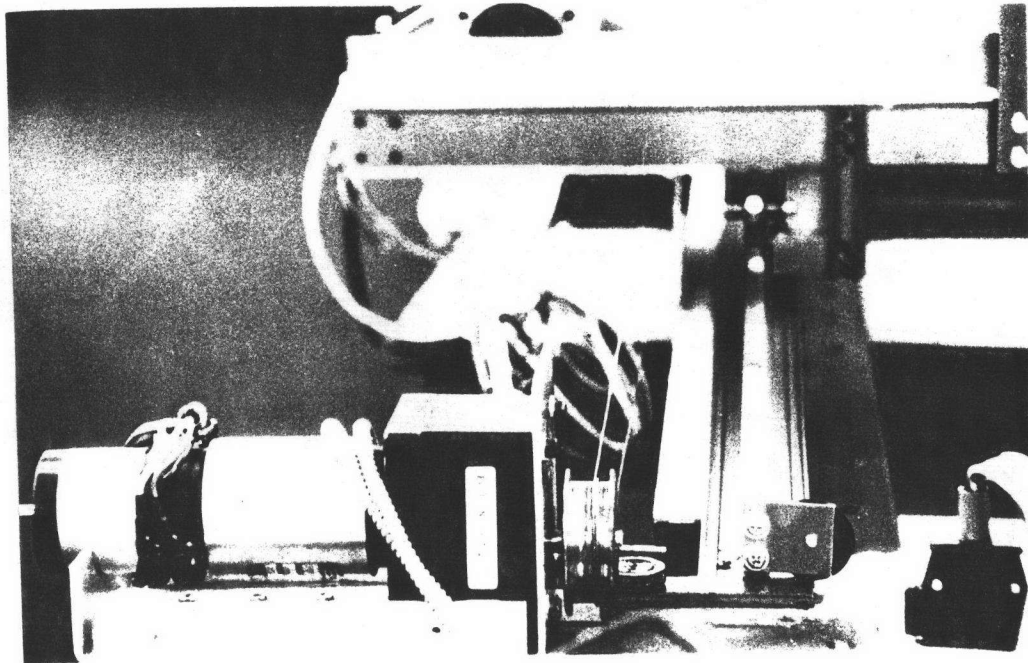
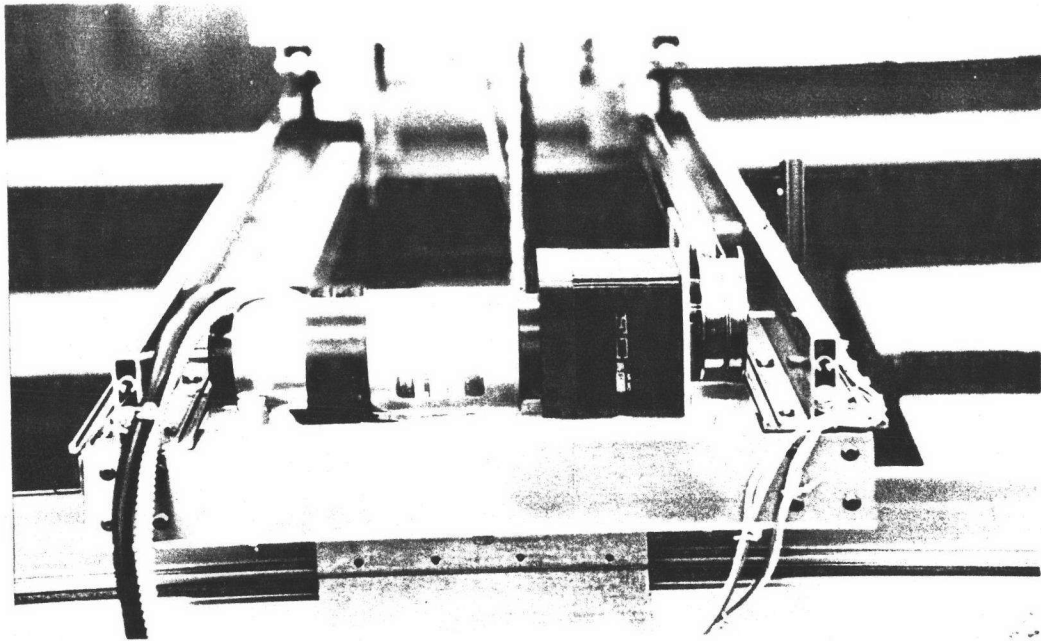
(6-3)

มีมอเตอร์ของเศษเป็น 2 และมอเตอร์ของส่วนเป็น 5 ซึ่งเป็นโครงสร้างสมมติฐานในกรณีเดียวกับหัวข้อ 6.2 นั่นคือมีการคิดสติเฟเนสของเพลลาของทั้งระหว่างมอเตอร์กับแทคโคมิเตอร์และระหว่างมอเตอร์กับโพลด้วย (ดูภาคผนวกค) และมีโพลที่สามารถละทิ้งได้อยู่ 1 ตัวเช่นกัน และสำหรับชุดขับเคลื่อนชุดบนจะได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

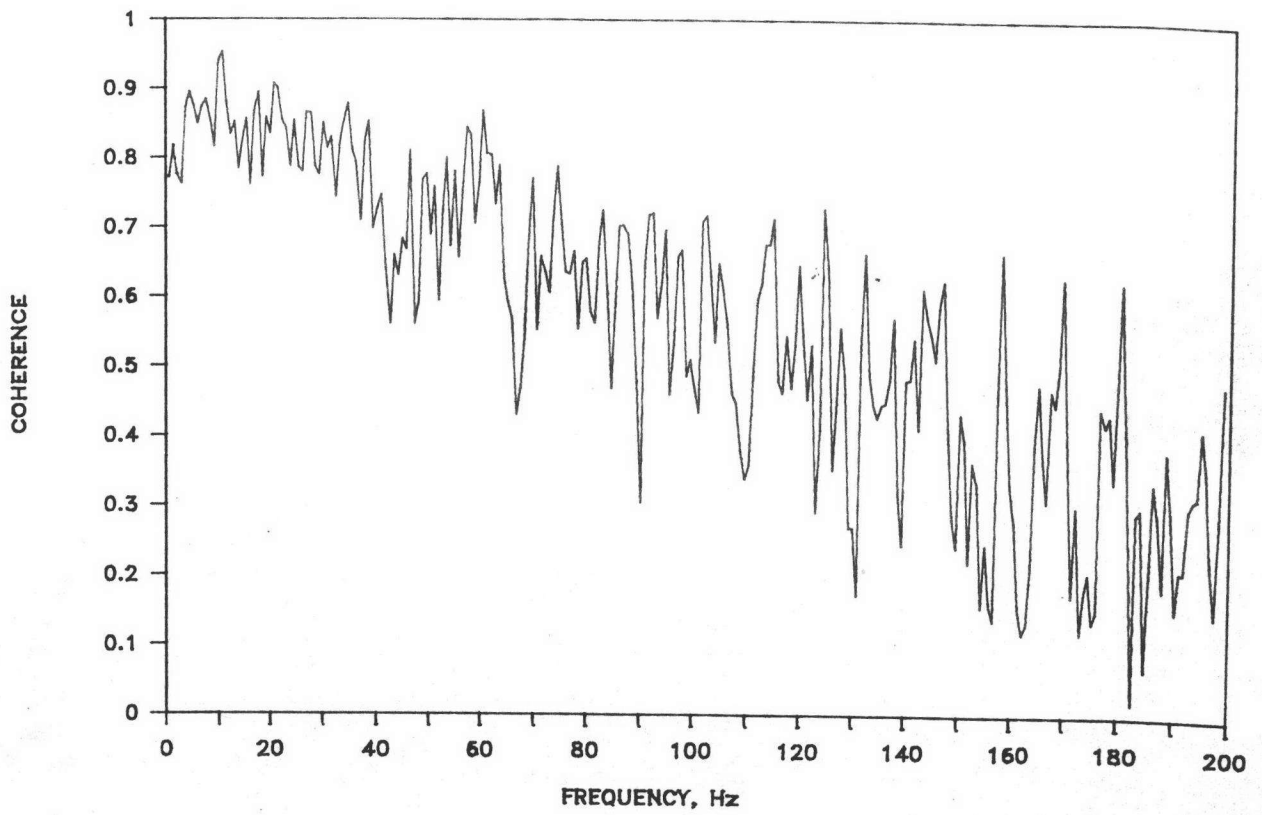
$$H_Y(s) = \frac{-8.79 \times 10^8}{(s^4 + 1.21 \times 10^3 s^3 + 5.33 \times 10^5 s^2 + 7.75 \times 10^7 s + 3.37 \times 10^9)}$$

(6-4)

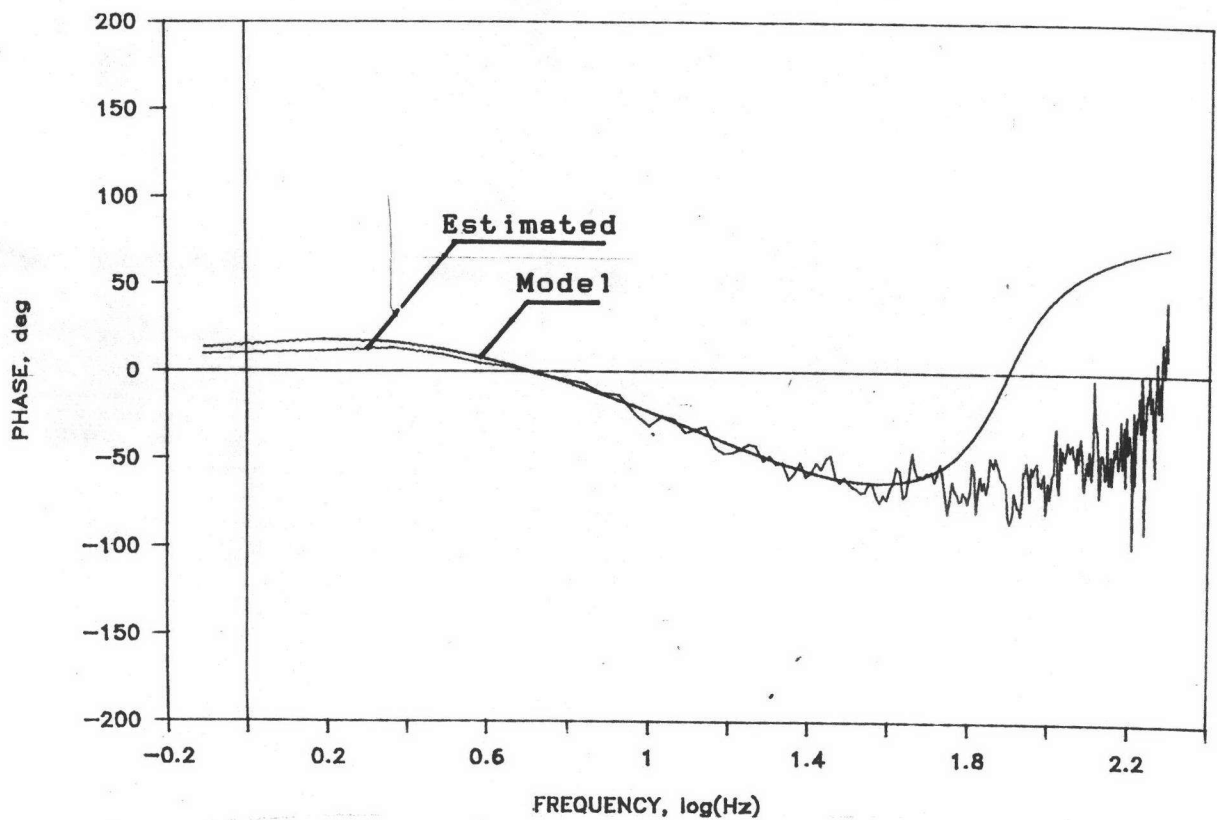
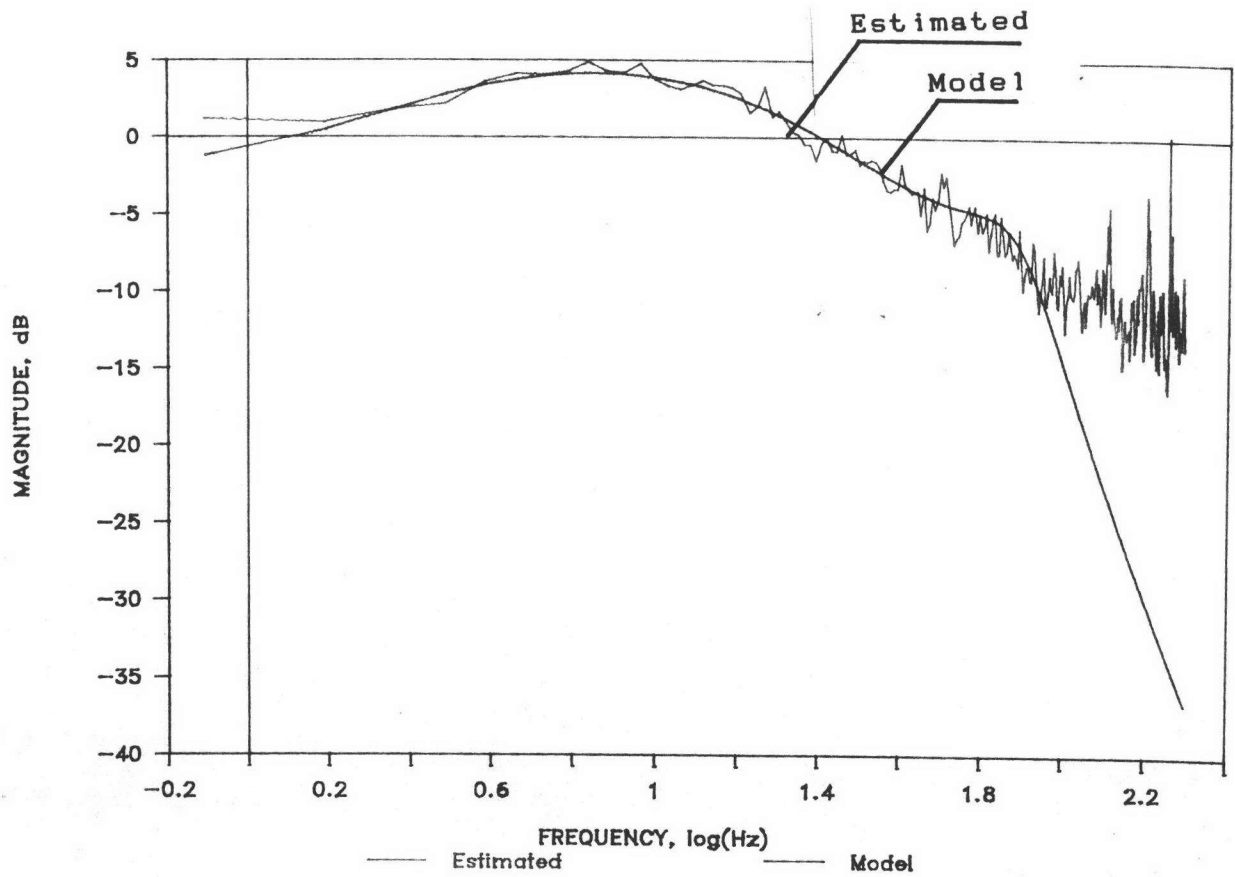
มีอเดอร์ของเศษเป็น 0 และอเดอร์ของส่วนเป็น 4 ซึ่งจากรูป (6-28) ก็แสดงให้เห็นว่าเพียงพอที่จะนำไปใช้งาน สมมติฐานสำหรับโครงสร้างในกรณีนี้คือการไม่คิดสติเฟเนสของเพลลา ระหว่างไหลดกับมอเตอร (ดูภาคผนวก ค) ทั้งนี้เนื่องจากส่วนแกน y ของระบบมีน้ำหนักเบาเท่านั้นเอง



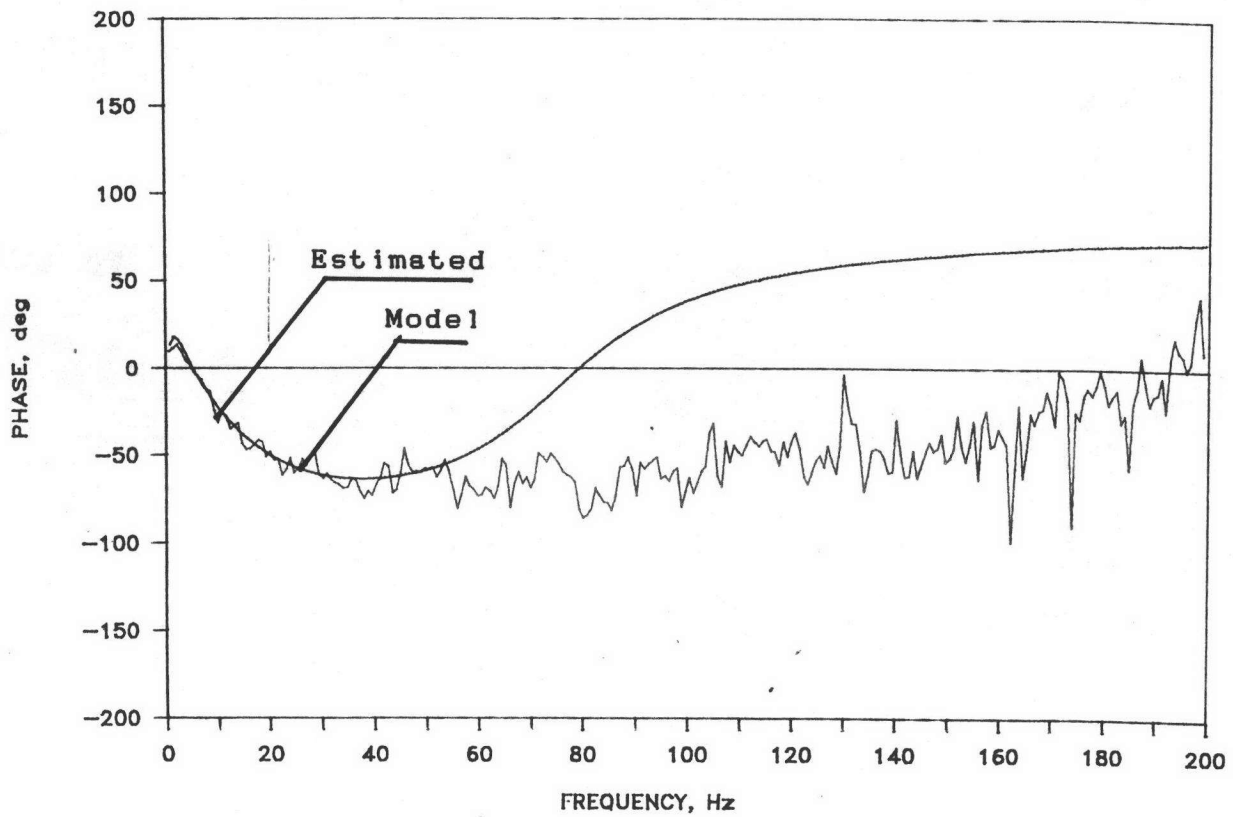
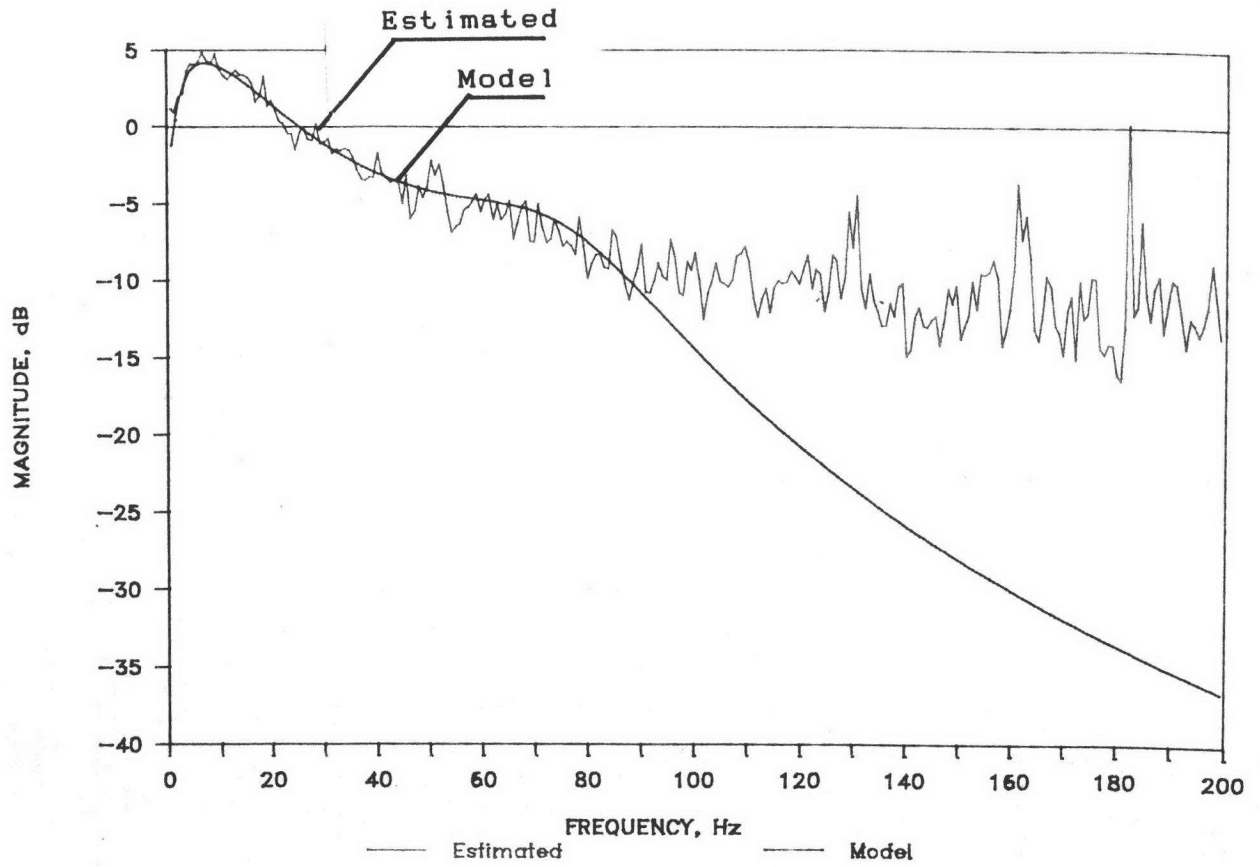
รูป 6-24 แสดงชุดมอเตอร์ขับเคลื่อน (Motor Y) และชุดมอเตอร์ขับเคลื่อน
ตัวล่าง (Motor X)



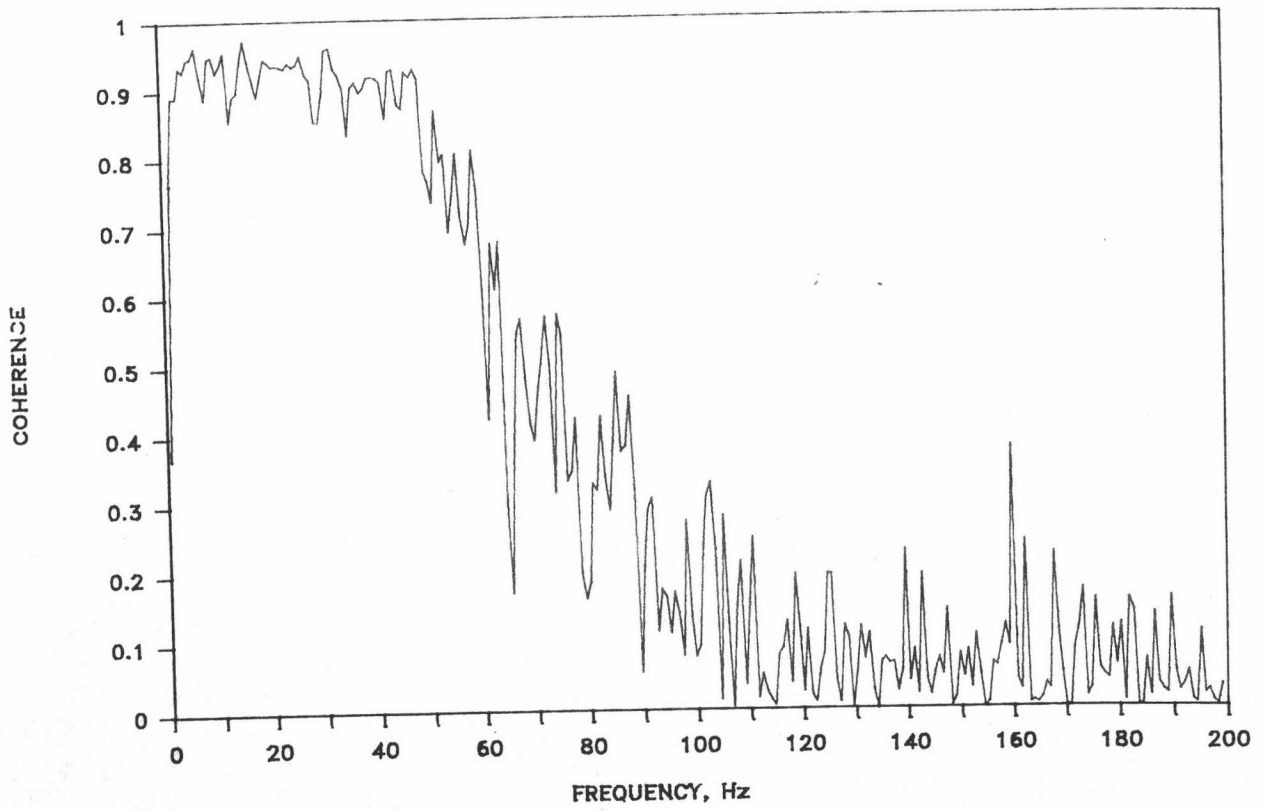
รูป 6-25 ฟังก์ชันโคฮีเรนของการประมาณทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน H_x
เมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 16 ชุด



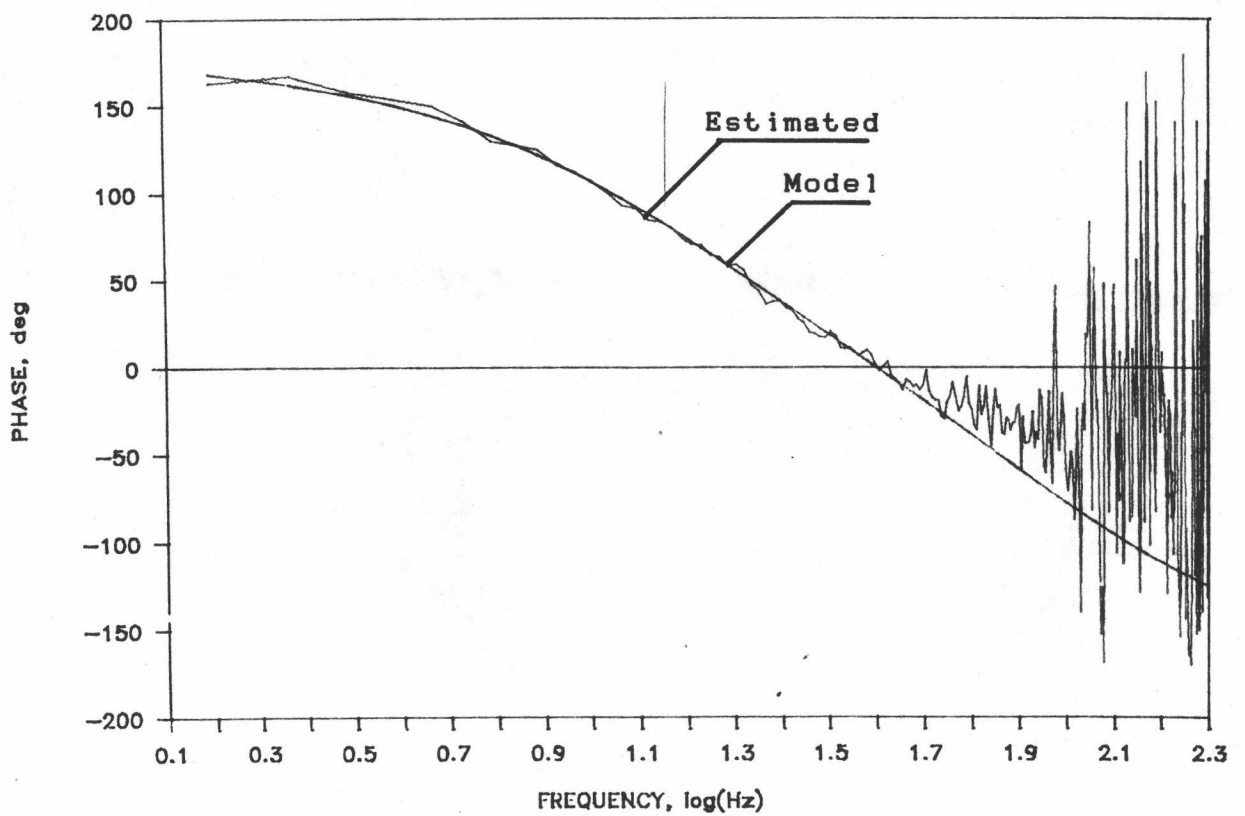
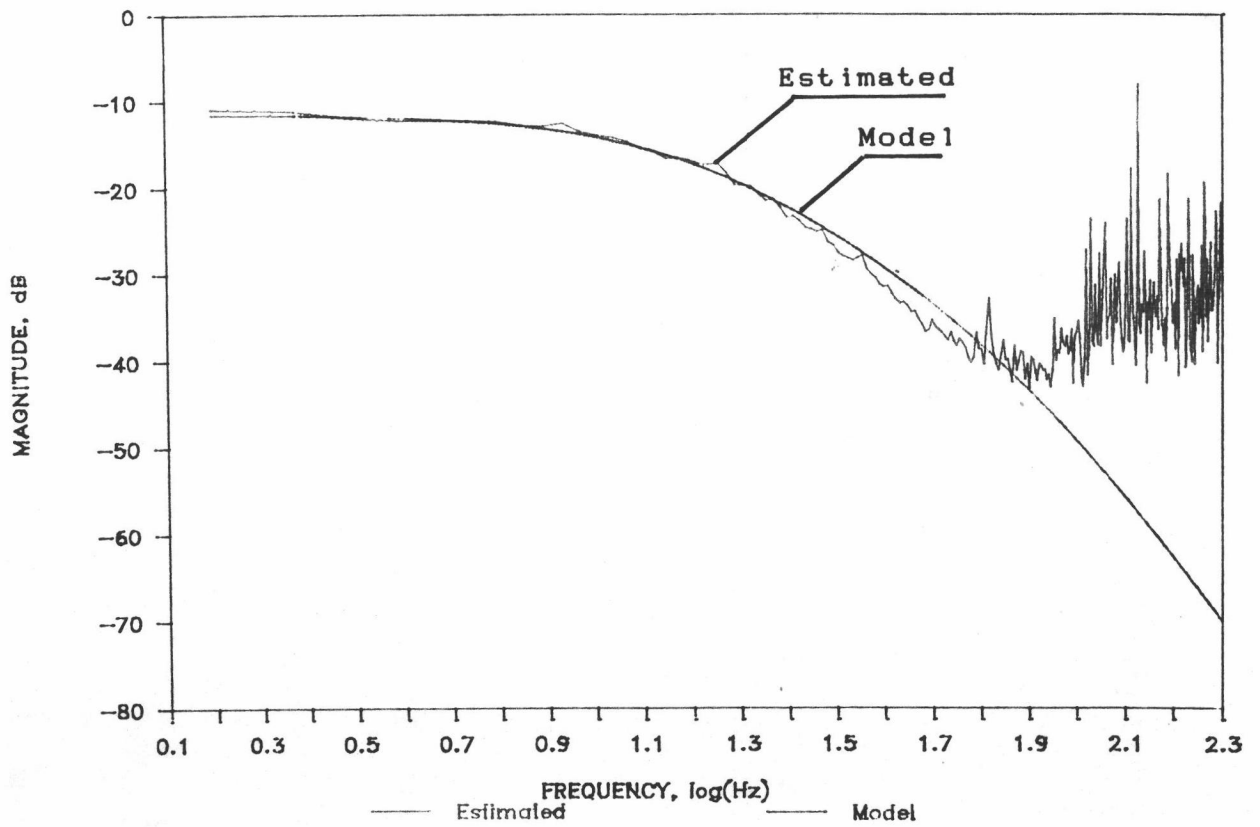
รูป 6-26 แสดงโมเดลที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้เทียบกับผลตอบความถี่ ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_x เมื่อให้ออเดอ์ของเศษเป็น 2 และส่วนเป็น 5



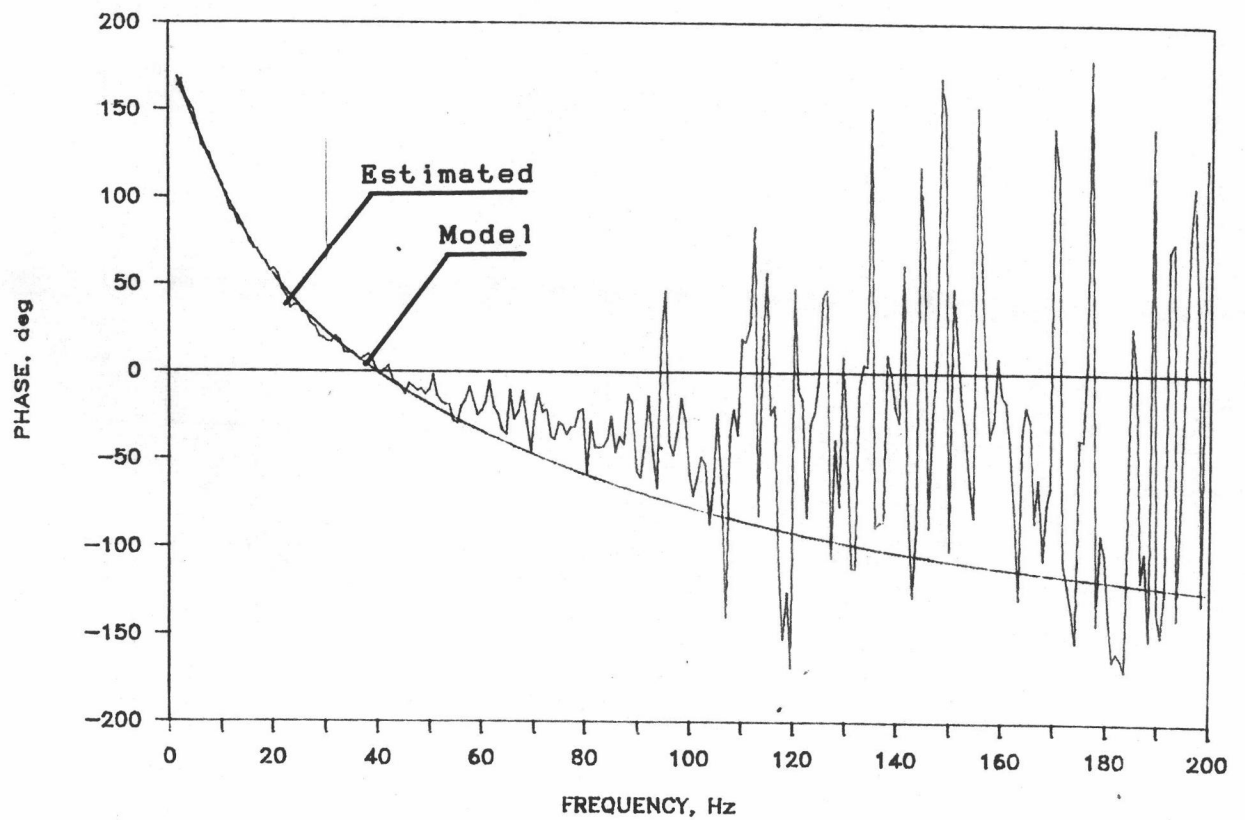
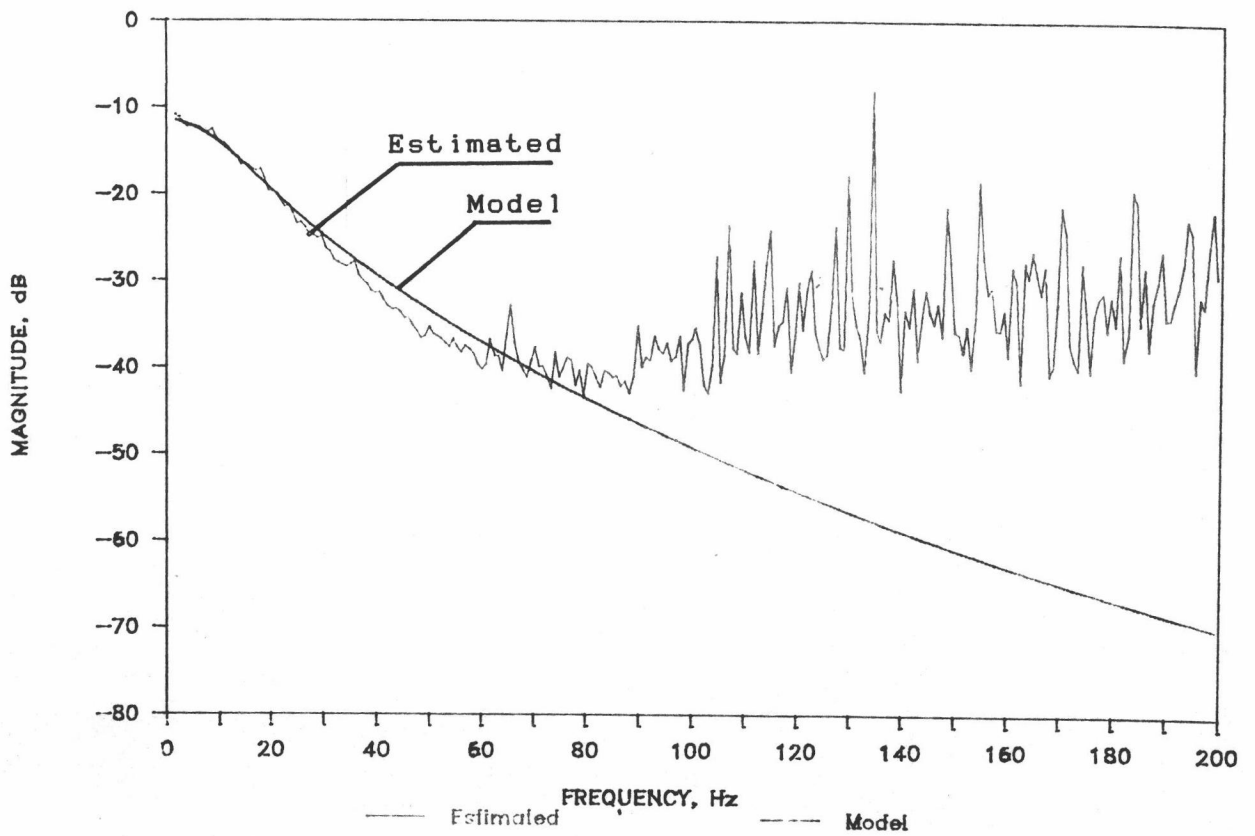
รูป 6-26 (ต่อ) เมื่อให้เสกลกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง



รูป 6-27 ฟังก์ชันโคฮีเรนของการประมาณทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน H_v
เมื่อใช้จำนวนชุดข้อมูล 16 ชุด



รูป 6-28 แสดงโมเดลที่สร้างจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้เทียบกับผลตอบความถี่ ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน H_v เมื่อให้ออเดอร์ของเศษเป็น 0 และส่วนเป็น 4



รูป 6-28 (ต่อ) เมื่อให้เสกนความถี่เป็นเชิงเส้นตรง