



ปีการศึกษา 2537

การแปรสภาพพลังงานในวงจรแม่เหล็ก  
Energy Conversion in Magnetic Circuit



อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.พิชิต ล้ายอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในวงจำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การแปรสภาพพลังงานในวงจรแม่เหล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย ธนัญชัย สิริอารีย์
2. นาย ยอดศักดิ์ สมบัติอารีพานิช
3. นาย รวี รัตนภิญโญวงศ์
4. นาย อิทธิเดช รุจิวิสิน



อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ พิเชิต ล้ายอง )

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทนำ	1
บทที่ 1 การสะสมของพลังงานแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็ก	2
บทที่ 2 การวัดค่าพลังงานที่ไหลเข้า-ออกจากวงจรแม่เหล็ก	6
2.1 การ Sampling สัญญาณ	6
2.2 วิธีการ Linear Calculation	7
2.3 ตัวอย่างแสดงวิธีการคำนวณพลังงานโดยใช้วิธี Sampling และวิธี linear calculation	8
2.3.1 การคำนวณโดยวิธีการ Sampling	8
2.3.2 การคำนวณโดยวิธีการ Linear calculation	10
บทที่ 3 การทดลอง	11
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	11
3.2 วิธีการทดลอง	12
3.2.1 การทดลองที่ 1	12
3.2.2 การทดลองที่ 2	51
3.2.3 การทดลองที่ 3	57
บทที่ 4 ขอบเขตการใช้งานของชุดทดลอง	63
4.1 ระดับแรงดันสูงสุด	63
4.2 ความถี่สูงสุด-ต่ำสุด	63
4.3 ค่ากระแสสูงสุด	63

### ภาคผนวก

#### กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เอกสารอ้างอิง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การแปรสภาพพลังงานในวงจรแม่เหล็ก

นาย ธนัญชัย สิริอารีย์

นาย ยอดศักดิ์ สมบัติอารีพาณิชย์

นาย รวี รัตนภิญโญวงศ์

นาย อธิติเดช รุจิวิสิน

อ. พิเชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการศึกษาการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานในสนามแม่เหล็กในรูปความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (B) ในวงจรแม่เหล็กโดยอธิบายถึงวงจรในการทดสอบ วิธีการวัดค่าพลังงาน สรุปผลเพื่อวิเคราะห์ถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปพลังงาน เช่น พื้นที่หน้าตัดของแกน ขนาดของช่องอากาศ จำนวนขดลวด ฯลฯ เพื่อนำไปศึกษาถึงปริมาณพลังงาน ที่สามารถส่งผ่าน วงจรแม่เหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สวิตซ์เชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

## Energy Conversion in Magnetic Circuit

Thanan Siriaree

Yodsak Sombatareepanich

Rawe Ratanapinyowong

Ittidej Rujiwasin

Pichit Lumyong Advisor

1994

### ABSTRACT

This thesis is concerning with studying of the energy conversion in magnetic circuit between electrical energy in form of magnetic field density ( B ) in magnetic circuit This thesis will take about testing circuit energy metering method , Summary to find out how each parameter effect to the conversion example core area , gap length , coil round etc and to study how many energy that tranfer through magnetic circuit in maximum and most effective in application in many device example switch power supply that is very popular widely nowadays.

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 วงจรแม่เหล็กและวงจรไฟฟ้า	2
รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\lambda$ กับ กระแส	3
รูปที่ 2.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	6
รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปสัญญาณที่ได้จากการวัด	6
รูปที่ 2.3 ลักษณะสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องวัด	8
รูปที่ 3.1 วงจรสวิตชิงแบบฟลายแบค	11
รูปที่ 3.2 วงจรการทดลอง	12
รูปที่ 3.3 วิธีวัดสำหรับการคำนวณเชิงเส้น	12
รูปที่ 3.4 รูปสัญญาณของกระแสที่จุดอิมิตัว	56
รูปที่ 3.5 B-H curve	57

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่อ่านได้ที่เวลาต่าง ๆ และคำนวณ ค่าเป็นกำลัง	9
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลอง	53
ตารางที่ 3.2 ผลการทดลอง	53
ตารางที่ 3.3 ผลการทดลอง	53
ตารางที่ 3.4 ผลการทดลอง	54
ตารางที่ 3.5 ผลการทดลอง	54
ตารางที่ 3.6 ผลการทดลอง	54
ตารางที่ 3.7 ผลการทดลอง	55
ตารางที่ 3.8 ผลการทดลอง	55
ตารางที่ 3.9 ผลการทดลอง	59
ตารางที่ 3.10 ผลการทดลอง	59
ตารางที่ 3.11 ผลการทดลอง	60
ตารางที่ 3.12 ผลการทดลอง	60
ตารางที่ 3.13 ผลการทดลอง	61

## บทนำ

จุดประสงค์ของปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ เกี่ยวข้องกับการศึกษาหาพลังงาน ณ จุดต่างๆ ทั้งในและนอกวงจรแม่เหล็ก เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในรูปแบบต่างๆ โดยการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า และ พลังงานแม่เหล็กโดยเราสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ เช่น สโคป แต่พลังงานที่สะสมอยู่ในวงจรแม่เหล็กนั้นไม่สามารถวัดได้ ดังนั้น ในการทดลอง จะทำการทดสอบห่อแปลงโดยการป้อนพลังงานเข้าสู่หม้อแปลงแล้วอ่านค่าพลังงานเข้า-ออก และใช้รูปสัญญาณแรงดัน และกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลง คำนวณเพื่อหาค่าทางวงจรแม่เหล็กในหม้อแปลง แล้วคำนวณหาค่าพลังงาน นอกจากนี้ยังได้ทำเป็นชุดทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานเพื่อใช้ในการทดสอบอีกด้วย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นวงจรที่ใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ เพียงไม่กี่อุปกรณ์มาต่อกัน เพื่อสร้างสัญญาณป้อนเข้าให้กับหม้อแปลง จากผลการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถนำมาวิเคราะห์และเป็นไปตามสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ นอกจากนี้ยังนำไปคำนวณหาค่าพลังงานที่ส่งผ่านหม้อแปลงที่มีคุณสมบัติต่างๆ ได้อีกด้วย อนึ่งในการทดสอบนี้ จะทำในรูปของไฟกระแสตรงเท่านั้น จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ B - H curve เฉพาะเพียงด้านเดียวเท่านั้น

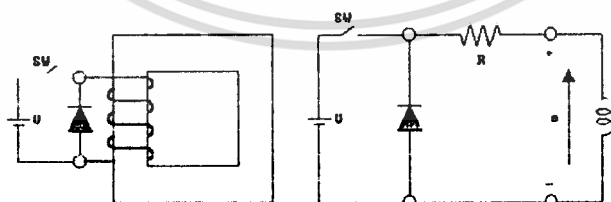
## บทที่ 1

## การสะสมของพลังงานแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็ก

วงจรแม่เหล็กมีความสำคัญต่อการศึกษาเครื่องจักรไฟฟ้า เนื่องจากว่าเครื่องจักรไฟฟ้าโดยทั่วไปทำงานได้โดยอาศัยสนามแม่เหล็กเป็นตัวกลางในการแปลงรูปพลังงานหรือส่งผ่านพลังงาน เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง, รีเลย์ ฯลฯ

ดังนั้นการที่จะนำสนามแม่เหล็กมาใช้งาน จึงจำเป็นต้องมาศึกษาว่าทำอย่างไรจึงจะได้สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางและขนาดของสนามแม่เหล็กตามที่ต้องการ รวมไปถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ในการออกแบบวงจรแม่เหล็ก โดยในเบื้องต้นจะเริ่มจากค่าความต้านทานของวงจรแม่เหล็กซึ่งจะมีผลต่อจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อป้อนแรงเคลื่อนทางแม่เหล็ก จากนั้นก็จะกล่าวถึงค่าความเหนี่ยวนำที่จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กและพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็ก ส่วนทางด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะนำไปประยุกต์ออกมาเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า

ในวงจรแม่เหล็กเมื่อทำการป้อนแรงเคลื่อนแม่เหล็ก(mmf) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และถ้าทำการตัดสวิตช์ที่จ่ายไฟฟ้าป้อนเข้าขดลวดที่สร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กจะยุบตัวลงตัดขดลวดทำให้เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามเพื่อต่อเนื่องกระแส ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการจ่ายพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจรแม่เหล็กออกมาภายนอก ตามที่แสดงดังรูปที่ 1.1 จึงจำเป็นต้องมีไดโอดมาต่อคร่อม เพื่อการต่อเนื่องกระแสลดการสปาร์ค(spark)ที่หน้าสัมผัสของสวิตช์



รูปที่ 1.1 วงจรแม่เหล็กและวงจรไฟฟ้า

เมื่อทำการปิดสวิตช์เพื่อจ่ายไฟเข้ากับขดลวด จะมีกระแสไหลเข้าในขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น จากกฎของฟาราเดย์สามารถหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ  $e$  ได้จาก

$$e = \frac{d\lambda}{dt} \quad (1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนโดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อมที่สอดคล้องกับกฎของเคอชอฟ โดยที่ตัวเหนี่ยวนำจะต้านการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งสามารถหาค่ากำลังป้อนเข้าขดลวดได้จาก

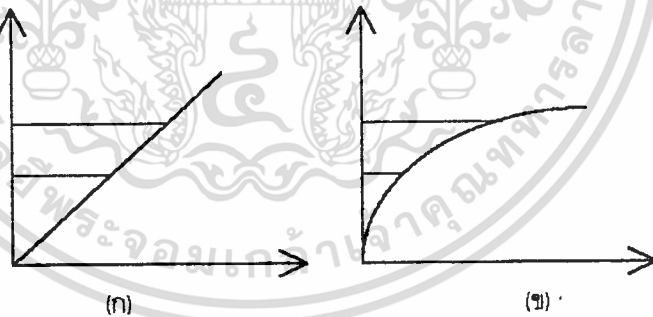
$$\begin{aligned} p &= i \cdot e \\ &= i \frac{d\lambda}{dt} \end{aligned} \quad (1.2)$$

และสามารถหาค่าพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็ก (energy storage in magnetic field :  $W_{fld}$ ) ได้จาก

$$\begin{aligned} W_{fld} &= \int p \cdot dt \\ &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (1.3)$$

เมื่อ  $W_{fld}$  : เป็นพลังงานที่สะสมเพิ่มขึ้น เมื่อค่าของเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวข้องคล่องเพิ่มจาก  $\lambda_1$  เป็น  $\lambda_2$  มีหน่วยเป็นจูล

โดยค่าของพลังงานสะสมเพิ่มขึ้น  $W_{fld}$  แสดงเป็นพื้นที่แรงงาในกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  ในวงจรแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  มีทั้งแบบวงจรแม่เหล็กเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น :-



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  (ก) แบบวงจรแม่เหล็กเชิงเส้นและ (ข) ไม่เชิงเส้น

ซึ่งในวงจรแม่เหล็กที่ไม่มีช่องอากาศ เช่น วงจรแม่เหล็กของหม้อแปลงจะมีความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  เป็นแบบไม่เชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ข) แต่อาจนำมาใช้ในการคำนวณเป็นแบบเชิงเส้นได้ถ้าช่วงที่ใช้งานมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ส่วนวงจรแม่เหล็กที่เป็นแบบเชิงเส้นโดยทั่วไปจะมีช่องอากาศเช่นเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบหมุน เพราะค่าความต้านทานแม่เหล็กของช่องอากาศจะมีค่ามากกว่าแกนเหล็กมาก ๆ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  เป็นแบบเชิงเส้น แต่ก็มีช่วงจำกัดการใช้งานต้องไม่ถึงจุดที่อิ่มตัวของแกนเหล็ก เพราะจะมีผลให้ความต้านทานของแกนเหล็กมีค่าสูงขึ้น

เมื่อวงจรมแม่เหล็กมีความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  เป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็น

$$\begin{aligned}\lambda &= Li \\ i &= \frac{\lambda}{L}\end{aligned}\quad (1.4)$$

นำค่า  $i$  จากสมการ (1.4) แทนลงในสมการ (1.3)

$$\begin{aligned}W_{fd} &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\lambda}{L} d\lambda \\ &= \frac{1}{2L} (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)\end{aligned}\quad (1.5)$$

ถ้าต้องการหาพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กที่ค่า  $\lambda$  ใดๆ สามารถหาได้เมื่อกำหนดให้  $\lambda_1=0$  และ แทนค่า  $\lambda_2$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned}W_{fd} &= \frac{1}{2} \frac{\lambda^2}{L} \\ &= \frac{1}{2} Li^2\end{aligned}\quad (1.6)$$

$W_{fd}$  เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็นจูล ที่ค่า  $\lambda$  ใด ๆ หรือที่  $i$  ใด ๆ เมื่อวงจรมแม่เหล็กมีความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  กับ  $i$  เป็นแบบเชิงเส้น

จากกฎการถาวรของพลังงาน ( The principle of energy conservation ) กล่าวว่ "พลังงานไม่สามารถสร้างหรือทำลายมัน เพียงสามารถเปลี่ยนรูปของพลังงาน" ดังนั้น

$$\begin{aligned}\text{พลังงานที่ได้รับจากแหล่งจ่ายทางไฟฟ้า} &= \text{พลังงานที่ส่งออก} \\ &+ \text{พลังงานที่สะสมเพิ่มขึ้นในรูปของสนามแม่เหล็ก} \\ &+ \text{พลังงานที่เปลี่ยนรูปเป็นความร้อน}\end{aligned}\quad (1.7)$$

เราสามารถหาความหนาแน่นของพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็ก ( Energy Density of Magnetic Field ) ที่อยู่ในรูปของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{energy\_density\_of\_magnetic\_field} &= \frac{W_{fd}}{A_m l_m} \\ &= \frac{1}{2} \frac{\lambda^2}{L(x_0)} \frac{1}{A_m l_m} \\ &= \frac{1}{2} \frac{\lambda i}{A_m l_m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \frac{N \phi i}{A_m l_m} \\
 &= \frac{1}{2} BH \\
 &= \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}
 \end{aligned} \tag{1.8}$$

หน่วยของความหนาแน่นของพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กเป็น  $J/m^3$  เมื่อกำหนดให้

$A_m$  : เป็นพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น  $m^2$

$l_m$  : เป็นความยาวของแกนเหล็กโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น  $m$

ดังนั้นในการทดสอบหาพลังงานที่ส่งผ่านวงจรแม่เหล็กโดยกำหนดให้พลังงานที่สะสมอยู่ในวงจรแม่เหล็กถูกส่งผ่านออกจากวงจรทั้งหมดในหนึ่งวงรอบและคิดปริมาตรของช่องอากาศจะได้ว่าพลังงานที่ส่งผ่านออกจากวงจรแม่เหล็กในหนึ่งวงรอบมีค่า

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \times Volume \\
 &= \frac{B^2}{2\mu_0} \times A \times 2g
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $A$  : พื้นที่หน้าตัดของแกน ( $m^2$ )

$g$  : ระยะช่องอากาศ ( $m$ )

เมื่อทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณสวิตชิงความถี่  $f$  ดังนั้นเราสามารถหาค่ากำลังส่งผ่านหรือพลังงานส่งผ่านทั้งหมดในเวลา 1 วินาทีได้ดังนี้

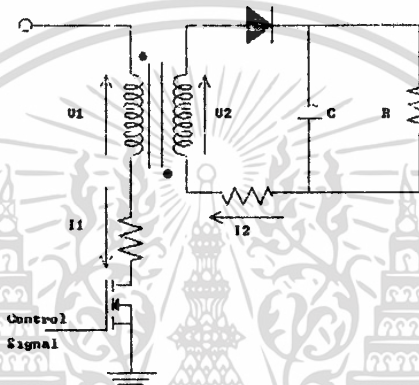
$$P = \frac{B^2}{\mu_0} \cdot A \cdot g \cdot f$$

เมื่อ  $f$  : ความถี่สวิตชิง (Hz)

บทที่ 2

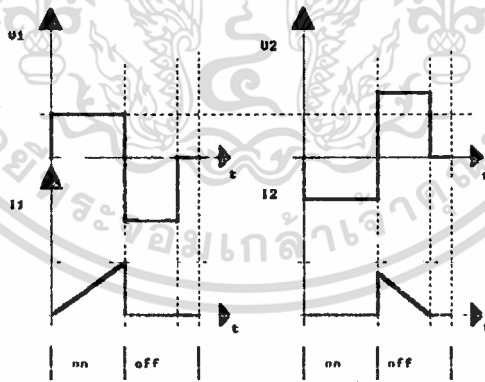
การวัดค่าพลังงานที่ไหลเข้า-ออกจากวงจรแม่เหล็ก

เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการทดลองนี้มีความถี่สูงและมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วัตต์มิเตอร์มาวัดค่าพลังงานได้เนื่องจากไม่สามารถตอบสนองความถี่สูงได้เพียงพอ ดังนั้นการวัดค่าจึงจะต้องอาศัยการวัดค่าสัญญาณของโวลเตจที่คร่อมขดลวดของหม้อแปลงและวัดกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงโดยใช้ R ค่าน้อย ๆ มาทำการวัด จากรูป



รูปที่ 2.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

รูปสัญญาณที่วัดได้ ได้แก่  $V_1, V_2, i_1, i_2$  โดยจะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปสัญญาณที่ได้จากการวัด

วิธีการในการคำนวณหาค่าพลังงานแบ่งเป็น 2 วิธีดังนี้

- 1 วิธีการ Sampling สัญญาณ
- 2 วิธีการ Linear Calculation

2.1 การ Sampling สัญญาณ

ทำการวัดโดยการแบ่งสัญญาณที่จะวัดออกเป็นช่วง ๆ เท่า ๆ กัน  $\Delta t$  แล้วอ่านค่าสัญญาณที่จุดกึ่งกลางของช่วงเวลานั้น จุดบันทึกค่าสัญญาณทุก ๆ ค่าแล้วสามารถหาค่าพลังงานที่ไหลเข้าและออกได้จากสูตร

$$W1 = \sum (v_{1n} i_{1n}) \Delta t$$

$$W2 = \sum (v_{2n} i_{2n}) \Delta t$$
(2.1)

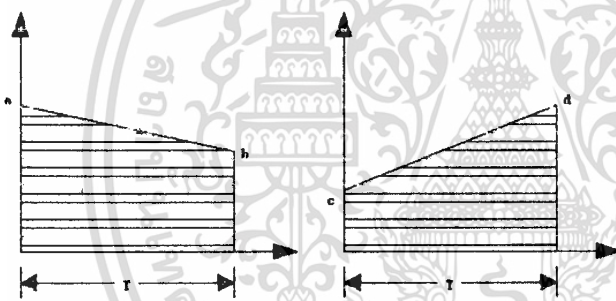
เมื่อ W1. พลังงานที่ไหลเข้าสู่หม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิในหนึ่งวงรอบ มีหน่วย จูล

W2 พลังงานที่ไหลเข้าสู่หม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิในหนึ่งวงรอบ มีหน่วย จูล

โดยค่าที่วัดได้จะมีความผิดพลาดบ้างเล็กน้อยโดยสามารถลดความผิดพลาดได้โดยการเพิ่มจำนวนข้อมูลที่ย่านให้ละเอียดขึ้นโดยการลดค่า  $\Delta t$  ให้น้อยลง

## 2.2 วิธีการ Linear Calculation

เป็นการคำนวณเชิงเส้น โดยสามารถใช้ได้เฉพาะกับรูปสัญญาณที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง หลักการในการหาค่าพลังงานคือการหาสมการเส้นตรงของสัญญาณในแต่ละช่วงที่เป็นเส้นตรงแล้วนำมาคำนวณหาพลังงานโดยการอินทิเกรต โดยมีวิธีการดังนี้



จากรูปสัญญาณ เราสามารถ  
อ่านค่า a,b,c,d ในแกนตั้งและค่า  
เวลาในแกนนอนได้

ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$v(t) = \left( \frac{b-a}{T} \right) t + a = At + B$$
(2.2)

$$i(t) = \left( \frac{d-c}{T} \right) t + c = Ct + D$$

ดังนั้น

$$W = \int vi \, dt$$

$$= \int (At + B)(Ct + D) dt$$

$$= \int (ACt^2 + (BC + AD)t + BD) dt$$
(2.3)

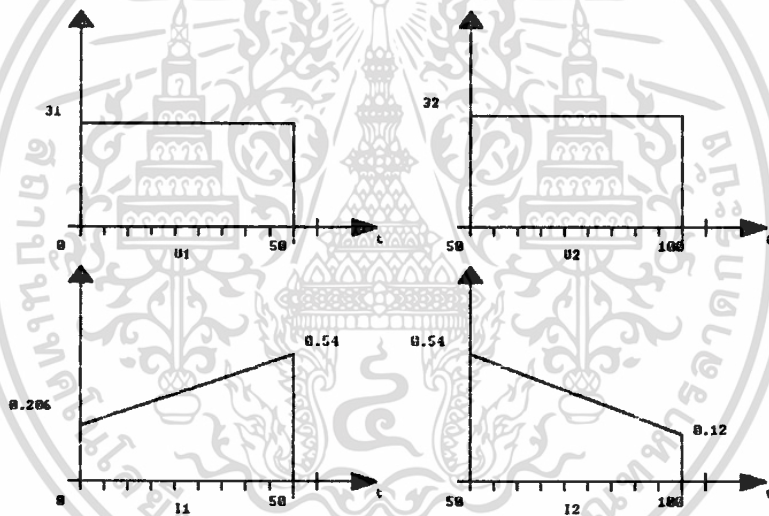
$$= \left[ \frac{AC}{3} t^3 + \frac{(BC + AD)}{2} t^2 + BDt \right]_0^T$$

ค่าพลังงานที่คิดได้จะมีความถูกต้องมากกว่าการวัดโดยวิธีการ Sampling แต่ไม่สามารถใช้ได้กับรูปสัญญาณที่ไม่เป็นเส้นตรง ในกรณีที่กราฟเป็นเส้นตรงเป็นช่วง ๆ ก็  
สามารถคำนวณได้โดย

$$W_{รวม} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n \quad (2.4)$$

**2.3 ตัวอย่างแสดงวิธีการคำนวณพลังงานโดยใช้วิธี Sampling และ วิธี linear calculation**

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้หม้อแปลงที่มีแกนชนิด EI ferrite #4 ที่ความถี่ 10,000 Hz และมีระยะช่องอากาศ 0.3 มม ได้ข้อมูลของแรงดันดังรูป



รูปที่ 2.3 ลักษณะสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องวัด

**2.3.1 การคำนวณโดยวิธีการ Sampling**

ที่ความถี่ 10,000 Hz มีคาบเวลา 100 μsec เราทำการอ่านค่าที่ทุกๆ 5 μsec จะได้ทั้งหมด 20 ค่า โดยเริ่มอ่านแรงดันและกระแสที่จุดกึ่งกลางของช่วงแรกที 2.5 μsec แล้วเพิ่มทีละ 5 μsec จนกระทั่งถึงค่าที่ 20 ซึ่งเป็นค่าสุดท้ายจะสามารถอ่านค่าแรงดันที่เวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1

นำค่า V และ I ที่ได้มาคูณกันจะได้ค่ากำลังในช่วงเวลาหนึ่ง (5μsec) แล้วหาค่าพลังงานในแต่ละช่วงเวลาโดยคูณค่ากำลังที่ได้ด้วยเวลาในแต่ละช่วง พลังงานที่หาได้รวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นค่าพลังงานที่ใหญ่ผ่านในหนึ่งวงรอบ(Cycle) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่าการมีค่านับสิบ ลึกซึ้งทางเทคนิคด้วยมือเขา และต้องอ้างอิงถึงว่าของเอกสารหรือสิ่งที่มีวางไว้ใช้



ตารางที่ 2.1 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่อ่านได้ที่เวลาต่าง ๆ และคำนวณค่าเป็นกำลัง

อ่านที่ เวลา(μs)	แรงดัน ปฐมภูมิ	กระแส ปฐมภูมิ	แรงดันทุ ติยภูมิ	กระแสทุ ติยภูมิ	กำลังป้อน เข้า	กำลังจ่าย ออก
2.5	31.0	0.224	32.0	0.00	6.944	0.000
7.5	31.0	0.260	32.0	0.00	8.046	0.000
12.5	31.0	0.295	32.0	0.00	9.148	0.000
17.5	31.0	0.331	32.0	0.00	10.251	0.000
22.5	31.0	0.366	32.0	0.00	11.353	0.000
27.5	31.0	0.402	32.0	0.00	12.455	0.000
32.5	31.0	0.437	32.0	0.00	13.557	0.000
37.5	31.0	0.473	32.0	0.00	14.660	0.000
42.5	31.0	0.508	32.0	0.00	15.762	0.000
47.5	31.0	0.544	32.0	0.00	16.864	0.000
52.5	-34.0	0.000	32.0	0.52	0.000	16.640
57.5	-32.0	0.000	32.0	0.48	0.000	15.218
62.5	-31.9	0.000	32.0	0.43	0.000	13.796
67.5	-31.9	0.000	32.0	0.39	0.000	12.373
72.5	-31.8	0.000	32.0	0.34	0.000	10.951
77.5	-31.8	0.000	32.0	0.30	0.000	9.529
82.5	-31.7	0.000	32.0	0.25	0.000	8.107
87.5	-31.6	0.000	32.0	0.21	0.000	6.684
92.5	-31.6	0.000	32.0	0.16	0.000	5.262
97.5	-31.5	0.000	32.0	0.12	0.000	3.840

จากตารางสามารถคำนวณหาค่าพลังงานที่อ่านได้จากเวลาต่าง ๆ ได้ จากสูตรหาค่าพลังงานรวมในหนึ่งวงรอบได้ดังนี้

$$W1 = \sum (V_{1n} * I_{1n}) * \Delta t = 5.952 \times 10^{-4} \text{ จูล}$$

$$W2 = \sum (V_{2n} * I_{2n}) * \Delta t = 5.120 \times 10^{-4} \text{ จูล}$$

### 2.3.2 การคำนวณโดยวิธีการ Linear calculating

เราจะทำการคำนวณพลังงานของหม้อแปลงโดยการอ่านค่าเริ่มต้นและสิ้นสุดของค่าแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ จากรูปสัญญาณอ่านค่าต่าง ๆ สำหรับใช้ในกาหคำนวณได้ดังนี้

#### ด้านปฐมภูมิ

a	b	c	d	T
31 V	31 V	0.206 A	0.540 A	=50-0 $\mu$ s

#### ด้านทุติยภูมิ

a	b	c	d	T
32 V	32 V	0.540 A	0.120 A	=100-50 $\mu$ s

เมื่อคำนวณตามสูตรจะได้

$$W1 = 5.921 \times 10^4 \text{ จูล}$$

$$W2 = 5.120 \times 10^4 \text{ จูล}$$

$$P1 = W1 * f = 5.921 \times 10^4 \times 10000 = 5.921 \text{ วัตต์}$$

$$P2 = W2 * f = 5.120 \times 10^4 \times 10000 = 5.120 \text{ วัตต์}$$

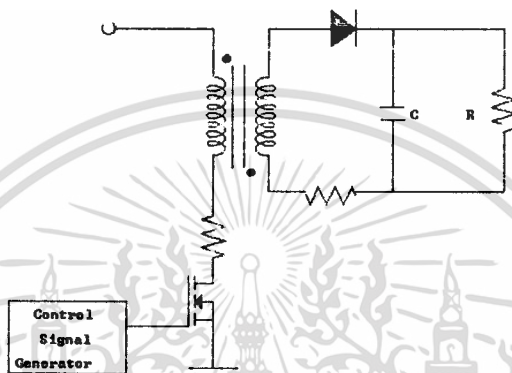
จากผลการคำนวณที่ได้จากทั้งสองวิธีคือ วิธี Sampling และ Linear Calculation จะได้ค่าออกมาใกล้เคียงกันแต่วิธีการ Sampling เหมาะสำหรับรูปสัญญาณที่ไม่เป็นเส้นตรงส่วนวิธีการ Linear Calculation จะให้ผลถูกต้องมากกว่าถ้านำมาใช้กับรูปสัญญาณที่เป็นเส้นตรง

### บทที่ 3 การทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

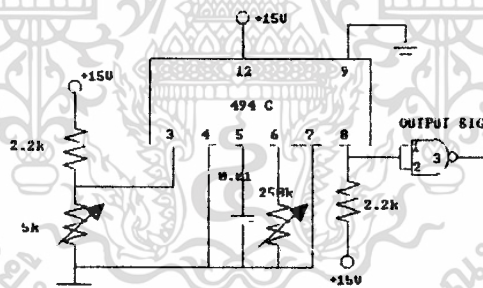
1 ชุดวงจรทดลอง 1 ชุด ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1.1 ส่วนของวงจรสวิทชิง แบบ flyback มีวงจรดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรสวิทชิงแบบ flyback

1.2 ส่วนของวงจรสร้างสัญญาณขับมอสเฟต มีวงจรดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณขับมอสเฟต

2 หม้อแปลงที่ใช้ในการทดลอง 7 ตัว

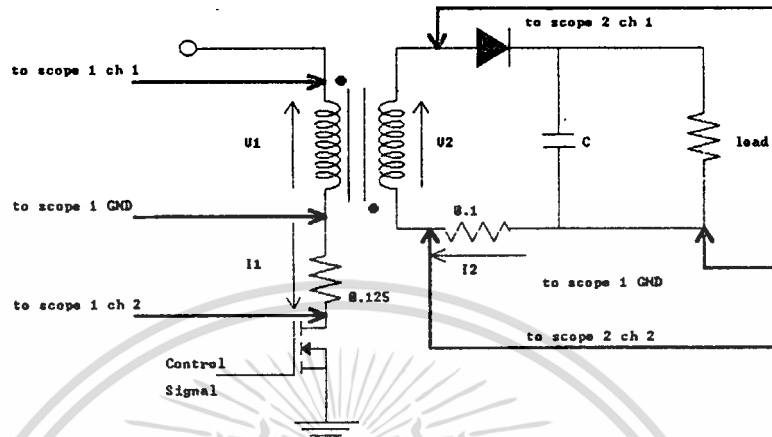
(รายละเอียดของหม้อแปลงแต่ละตัวแสดงในภาคผนวก)

3. Oscilloscope	2	เครื่อง
4 สาย probe x 10	4	เส้น
5 power supply	1	เครื่อง
6. VOM	1	เครื่อง
7 สายต่อ	10	เส้น
8 แผงหลอดไฟ	1	แผง
9. Variac 1 phase 15 A	1	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

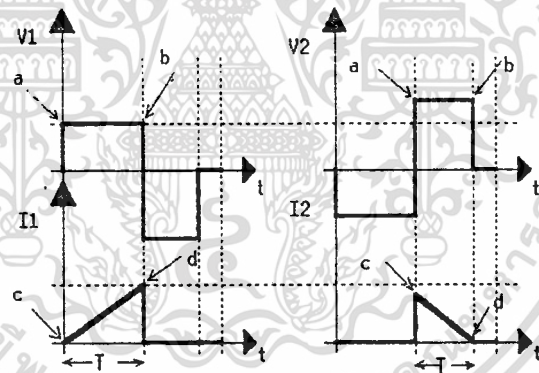
3.2 วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองดังรูป



รูปที่ 3.2 วงจรการทดลอง

2. ตรวจสอบสัญญาณที่จุดต่างๆ ดังรูป เพื่อวัดค่า  $V_1$ ,  $I_1$ ,  $V_2$  และ  $I_2$  ที่จุดต่างๆ สำหรับวิธี sampling และวัดที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดดังรูปข้างล่างสำหรับวิธี linear calculation



รูปที่ 3.3 วิธีวัดสำหรับ linear calculation

3. หม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ และ วิธีการทดลองต่างๆ แบ่งออกเป็นการทดลองย่อยๆ ได้ดังนี้

3.2.1 การทดลองที่ 1

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง แกนเฟอร์ไรต์ และแกนซิลิกอนสตีลที่ใช้งานที่ความถี่สูง
2. เพื่อเปรียบเทียบระหว่างหม้อแปลงที่มีและไม่มีช่องอากาศ ( air gap )

วิธีการทดลอง

1. ต่อโหลดความต้านทาน 200 โอห์ม ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต่อหม้อแปลงตัวที่ 2 ในวงจร
3. ตั้งช่องอากาศของหม้อแปลงเท่ากับศูนย์
4. ตั้งความถี่ของสัญญาณที่ขั้วมอสเฟตที่ 2500 Hz
5. ค่อยๆปรับ variac จนแรงดันด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 30 v
6. บันทึกผลจาก oscilloscope เพื่อหาค่า P1 และ P2 โดยวิธี sampling และ linear calculation
7. ทำการทดลองข้อ 4 ถึง ข้อ 6 ใหม่ โดยเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณขั้วมอสเฟตเป็น 3333 , 5000 , 10000 , 25000 และ 50000 Hz ตามลำดับ
8. ทำการทดลองตั้งแต่ ข้อ 4 ถึง ข้อ7 ใหม่ โดยเปลี่ยนขนาดช่องอากาศเป็น 0.75 และ 1.15 mm ตามลำดับสำหรับแกน silicon steel และเปลี่ยนเป็น 0.15 และ 0.30 mm ตามลำดับสำหรับแกน ferrite
9. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 3 ถึง ข้อ 8 ใหม่ โดยเปลี่ยนเป็นหม้อแปลงตัวที่ 3 , 4 และ 5 ตามลำดับ
10. จากค่าที่บันทึกได้ สามารถหาค่าต่างๆดังต่อไปนี้ ได้โดย

#### 10.1 ค่าความเหนี่ยวนำ

จาก  $V = L ( di/dt )$   
 $L = V / ( di/dt )$  Henry

#### 10.2 ค่า reluctance

จาก  $L = N^2 / R$   
 $R = N^2 / L$  A/ Wb

#### 10.3 ค่า flux density

จาก  $mmf. = F = NI = \phi R$   
 และ  $\phi = BA$   
 จะได้ว่า  $NI = BAR$   
 $B = NI / AR$  tesla

เมื่อ I คือ  $I_{max}$  มีหน่วยเป็น แอมแปร์

#### 10.4 ประสิทธิภาพ

$$\% \text{ efficiency} = ( \text{output power} / \text{input power} ) \times 100\%$$

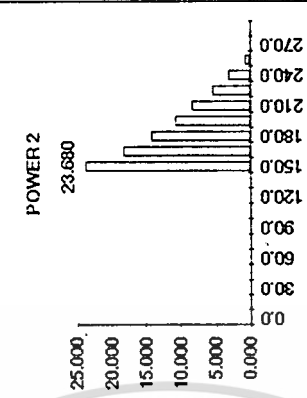
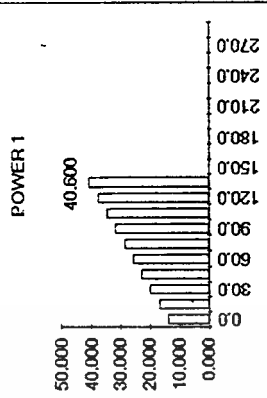
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อหา  $P_2 / P_1 \times 100\%$  ของอนุภาคให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

comment -----> 3333 Hz Gap : 0.00 mm.

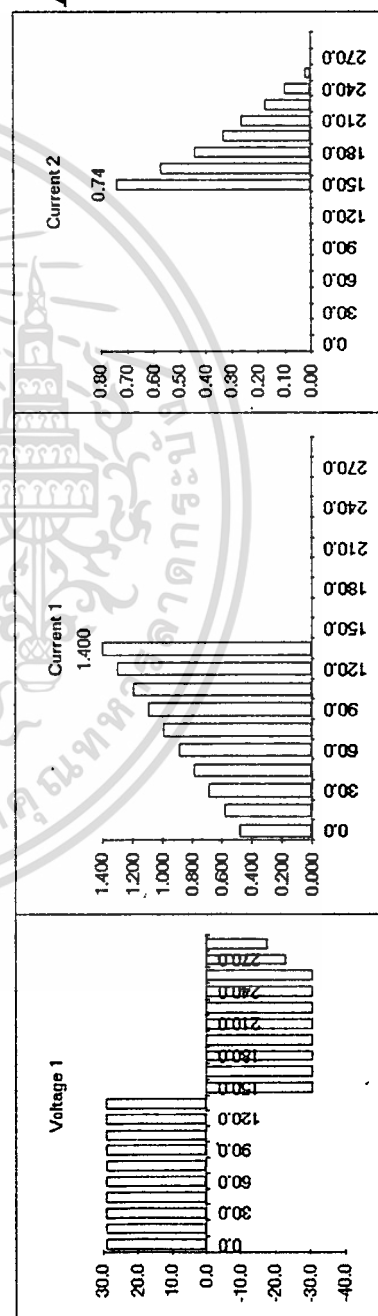
1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	5.0	29.0	0.480	32.0	0.00	13.920	0.000
15.0	20.0	29.0	0.582	32.0	0.0	16.884	0.000
30.0	35.0	29.0	0.684	32.0	0.0	19.849	0.000
45.0	50.0	29.0	0.787	32.0	0.0	22.813	0.000
60.0	65.0	29.0	0.889	32.0	0.0	25.778	0.000
75.0	80.0	29.0	0.991	32.0	0.0	28.742	0.000
90.0	95.0	29.0	1.093	32.0	0.0	31.707	0.000
105.0	110.0	29.0	1.196	32.0	0.0	34.671	0.000
120.0	125.0	29.0	1.298	32.0	0.0	37.636	0.000
135.0	140.0	29.0	1.400	32.0	0.0	40.600	0.000
150.0	155.0	-31.0	0.000	32.0	0.74	0.000	23.680
165.0	170.0	-31.0	0.000	32.0	0.57	0.000	18.240
180.0	185.0	-31.0	0.000	32.0	0.44	0.000	14.080
195.0	200.0	-31.0	0.000	32.0	0.33	0.000	10.560
210.0	215.0	-31.0	0.000	32.0	0.26	0.000	8.320
225.0	230.0	-31.0	0.000	32.0	0.17	0.000	5.440
240.0	245.0	-31.0	0.000	32.0	0.10	0.000	3.200
255.0	260.0	-31.0	0.000	32.0	0.02	0.000	0.640
270.0	275.0	-23.0	0.000	32.0	0.00	0.000	0.000
285.0	290.0	-18.0	0.000	32.0	0.00	0.000	0.000

Energy in 1 cycle (Joules)	
Energy in 1 sec (Watt)	Efficiency (%)
0.00409	30.87%
13.63000	33.9%

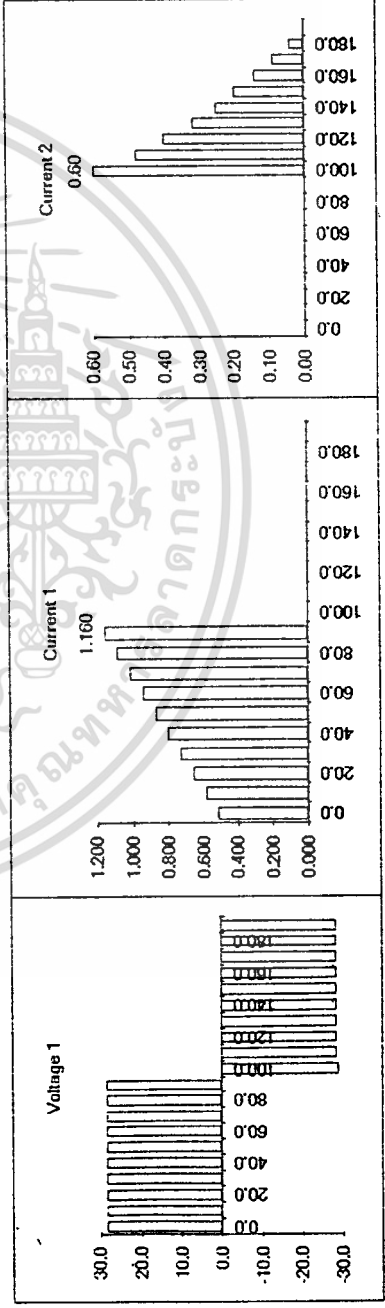
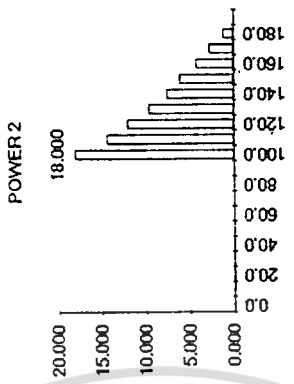
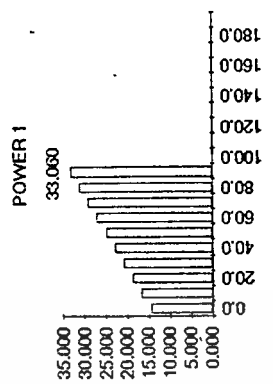


Linear calculate  
 P1 = 13.63 W  
 P2 = 4.617 W  
 %eff = 33.9%



comment ----->: **5000 Hz** Gap : **0.00 mm.**

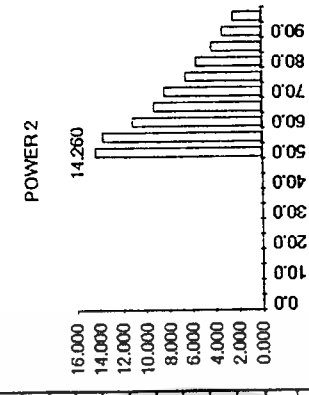
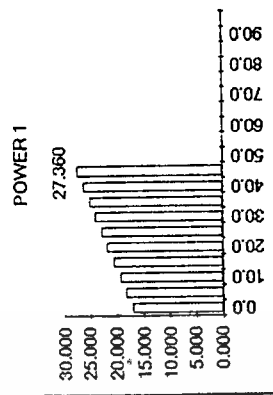
	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	5.0	28.5	0.512	30.0	0.00	14.592	0.000
Core type :	10.0	15.0	28.5	0.584	30.0	0.0	16.644	0.000
Core A :	20.0	25.0	28.5	0.656	30.0	0.0	18.696	0.000
n1= n2 :	30.0	35.0	28.5	0.728	30.0	0.0	20.748	0.000
Gap length :	40.0	45.0	28.5	0.800	30.0	0.0	22.800	0.000
load :	50.0	55.0	28.5	0.872	30.0	0.0	24.852	0.000
Duty Cycle :	60.0	65.0	28.5	0.944	30.0	0.0	26.904	0.000
Freq :	70.0	75.0	28.5	1.016	30.0	0.0	28.956	0.000
	80.0	85.0	28.5	1.088	30.0	0.0	31.008	0.000
	90.0	95.0	28.5	1.160	30.0	0.0	33.060	0.000
	100.0	105.0	-29.0	0.000	30.0	0.60	0.000	18.000
	110.0	115.0	-28.5	0.000	30.0	0.48	0.000	14.400
	120.0	125.0	-28.5	0.000	30.0	0.40	0.000	12.000
	130.0	135.0	-28.5	0.000	30.0	0.32	0.000	9.600
	140.0	145.0	-28.5	0.000	30.0	0.25	0.000	7.500
	150.0	155.0	-28.5	0.000	30.0	0.20	0.000	6.000
	160.0	165.0	-28.5	0.000	30.0	0.14	0.000	4.200
	170.0	175.0	-28.5	0.000	30.0	0.09	0.000	2.700
	180.0	185.0	-28.5	0.000	30.0	0.04	0.000	1.200
	190.0	195.0	-28.5	0.000	30.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc lot EFF</b>								
Efficiency (%)=								
							11.91300	0.00076
							3.78000	



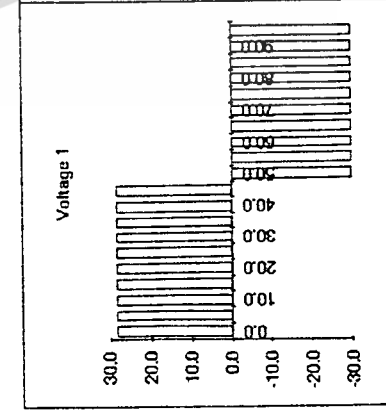
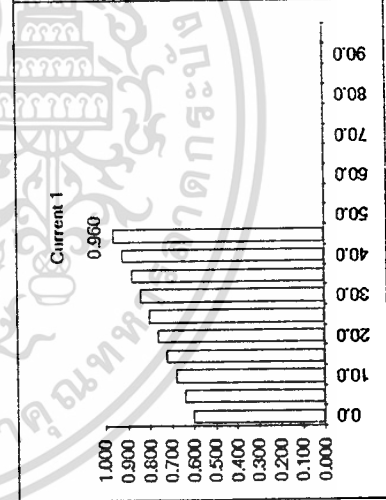
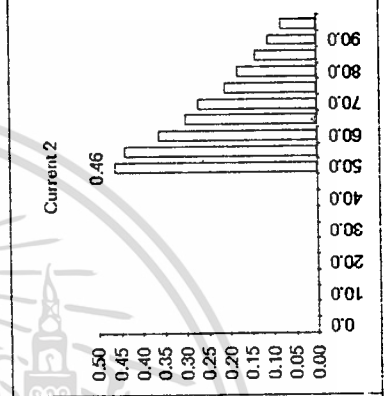
*Linear calculate*  
 P1= 12.11 W  
 P2= 3.915 W  
 %eff = 32.3%

comment -----> **10000 Hz** Gap: **0.00** mm.

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	2.5	28.5	0.600	31.0	0.00	17.100	0.000
Core type :	5.0	7.5	28.5	0.640	31.0	0.00	18.240	0.000
Core A :	10.0	12.5	28.5	0.680	31.0	0.00	19.380	0.000
Core B :	15.0	17.5	28.5	0.720	31.0	0.00	20.520	0.000
n1= n2 :	20.0	22.5	28.5	0.760	31.0	0.00	21.660	0.000
Gap length :	25.0	27.5	28.5	0.800	31.0	0.00	22.800	0.000
load :	30.0	32.5	28.5	0.840	31.0	0.00	23.940	0.000
Duty Cycle :	35.0	37.5	28.5	0.880	31.0	0.00	25.080	0.000
Freq :	40.0	42.5	28.5	0.920	31.0	0.00	26.220	0.000
	45.0	47.5	28.5	0.960	31.0	0.00	27.360	0.000
	50.0	52.5	-30.0	0.000	31.0	0.46	0.000	14.260
	55.0	57.5	-30.0	0.000	31.0	0.44	0.000	13.640
	60.0	62.5	-30.0	0.000	31.0	0.36	0.000	11.160
	65.0	67.5	-30.0	0.000	31.0	0.30	0.000	9.300
	70.0	72.5	-30.0	0.000	31.0	0.27	0.000	8.370
	75.0	77.5	-30.0	0.000	31.0	0.21	0.000	6.510
	80.0	82.5	-30.0	0.000	31.0	0.18	0.000	5.580
	85.0	87.5	-30.0	0.000	31.0	0.14	0.000	4.340
	90.0	92.5	-30.0	0.000	31.0	0.11	0.000	3.410
	95.0	97.5	-30.0	0.000	31.0	0.08	0.000	2.480
<b>Calc for EEE</b>							0.00111	0.00040
<b>Efficiency (%)=</b>							11.11500	3.95250

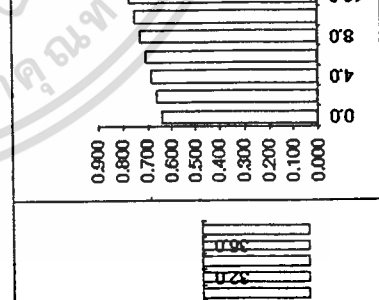
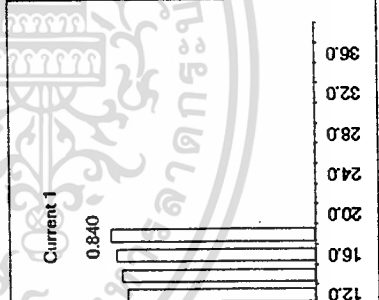
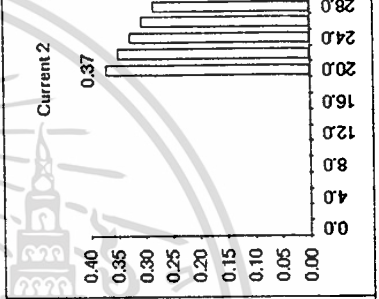
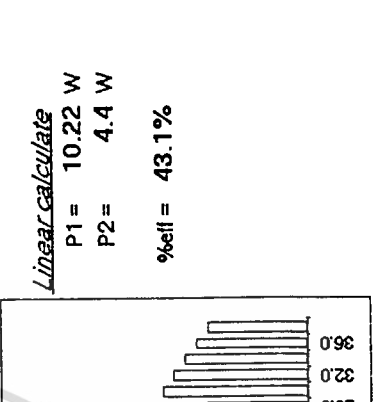
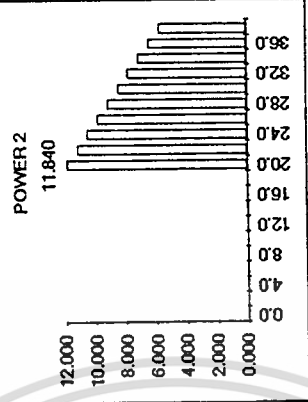
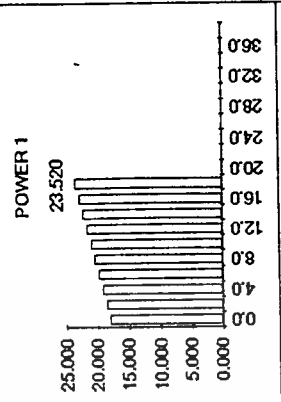


*Linear calculate*  
**P1 = 10.83 W**  
**P2 = 4.05 W**  
**%eff = 37.4%**



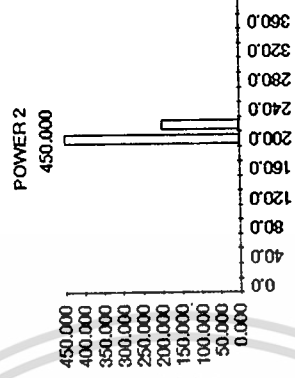
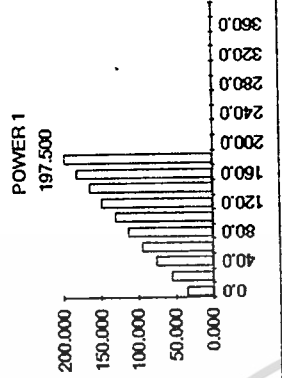
comment -----> **25000 Hz** Gap : **0.00** mm.

DETAIL DATA		1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
Transformer No :	2	0.0	1.0	28.0	0.640	32.0	0.00	17.920	0.000
Core type :	silicon steel	2.0	3.0	28.0	0.662	32.0	0.0	18.542	0.000
Core A :	3.63E-04	4.0	5.0	28.0	0.684	32.0	0.0	19.164	0.000
n1= n2 :	36	6.0	7.0	28.0	0.707	32.0	0.0	19.787	0.000
Gap length :	0.00E+00	8.0	9.0	28.0	0.729	32.0	0.0	20.409	0.000
load :	200	10.0	11.0	28.0	0.751	32.0	0.0	21.031	0.000
Duty Cycle :	50	12.0	13.0	28.0	0.773	32.0	0.0	21.653	0.000
Freq :	25000	14.0	15.0	28.0	0.796	32.0	0.0	22.276	0.000
		16.0	17.0	28.0	0.818	32.0	0.0	22.898	0.000
		18.0	19.0	28.0	0.840	32.0	0.0	23.520	0.000
		20.0	21.0	-31.0	0.000	32.0	0.37	0.000	11.840
		22.0	23.0	-31.0	0.000	32.0	0.35	0.000	11.164
		24.0	25.0	-31.0	0.000	32.0	0.33	0.000	10.489
		26.0	27.0	-31.0	0.000	32.0	0.31	0.000	9.813
		28.0	29.0	-31.0	0.000	32.0	0.29	0.000	9.138
		30.0	31.0	-31.0	0.000	32.0	0.26	0.000	8.462
		32.0	33.0	-31.0	0.000	32.0	0.24	0.000	7.787
		34.0	35.0	-31.0	0.000	32.0	0.22	0.000	7.111
		36.0	37.0	-31.0	0.000	32.0	0.20	0.000	6.436
		38.0	39.0	-31.0	0.000	32.0	0.18	0.000	5.760
Energy in 1 cycle (JOULES)									
Energy in 1 sec (WATT)									
<b>Calc for EEE</b> Efficiency (%)= <b>42.47%</b>									

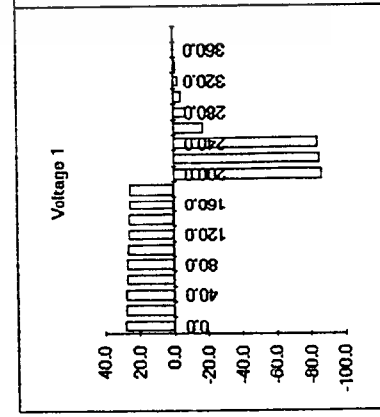
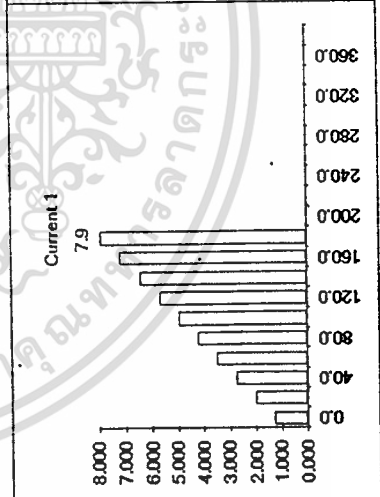
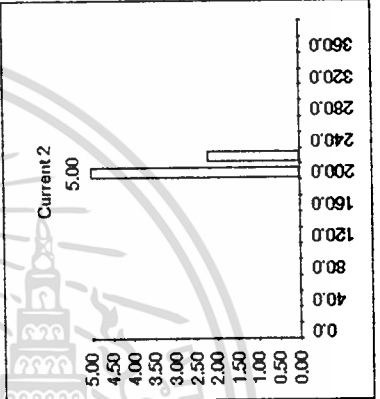


*Linear calculate*  
 P1 = 10.22 W  
 P2 = 4.4 W  
 %eff = 43.1%

comment ----->		2500 Hz		Gap : 0.75 mm.			
<b>DETAIL DATA</b>							
Transformer No :	2						
Core type :	silicon steel						
Core A :	3.63E-04	sq m					
n1= n2 :	36	turn					
Gap length :	7.50E-04	m					
load :	200	ohm					
Duty Cycle :	50	%					
Freq :	2500	Hz					
<b>Calc for B</b>							
I max =	8.00	A					
Volt =	26.50	V					
di/dt =	3.68E+04	A/s					
L =	7.205E-04	H					
Reluctance =	1.80E+06	A/wb					
Core Area =	3.63E-04	sq m					
B max =	0.4412	T					
<b>Calc for EEE</b>							
Efficiency (%) =	54.18%						
	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
1.00E-06	10.0	28.0	1.280	90.0	0.00	35.840	0.000
0.0	30.0	27.7	2.0	90.0	0.0	55.764	0.000
20.0	50.0	27.3	2.8	90.0	0.0	75.197	0.000
40.0	70.0	27.0	3.5	90.0	0.0	94.140	0.000
60.0	90.0	26.7	4.2	90.0	0.0	112.593	0.000
80.0	110.0	26.3	5.0	90.0	0.0	130.555	0.000
100.0	130.0	26.0	5.7	90.0	0.0	148.027	0.000
120.0	150.0	25.7	6.4	90.0	0.0	165.008	0.000
140.0	170.0	25.3	7.2	90.0	0.0	181.499	0.000
160.0	190.0	25.0	7.9	90.0	0.0	197.500	0.000
180.0	210.0	-87.0	0.000	90.0	5.00	0.000	450.000
200.0	230.0	-86.0	0.000	90.0	2.20	0.000	198.000
220.0	250.0	-85.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
240.0	270.0	-18.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
260.0	290.0	-8.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
280.0	310.0	-5.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
300.0	330.0	-3.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
320.0	350.0	-2.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
340.0	370.0	-1.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
360.0	390.0	0.0	0.000	90.0	0.00	0.000	0.000
380.0							
Energy in 1 cycle (Joules)							
						0.02392	0.01296
Energy in 1 sec (Watt)							
						59.80611	32.40000



Linear calculate  
 P1 = 57.94 W  
 P2 = 30.38 W  
 %eff = 52.4%



comment -----> 3333 Hz Gap : 0.75 mm.

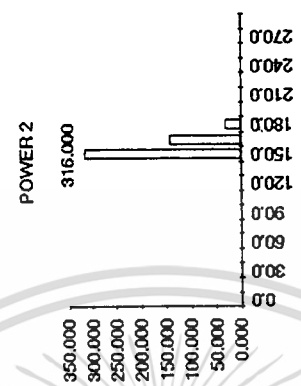
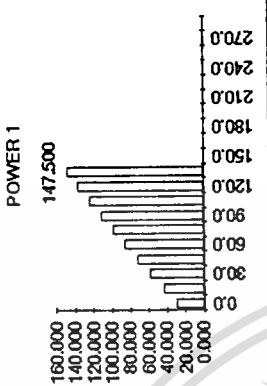
1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	7.5	28.0	1.040	79.0	0.00	29.120	0.000
15.0	22.5	27.7	1.6	79.0	0.0	43.713	0.000
30.0	37.5	27.3	2.1	79.0	0.0	57.947	0.000
45.0	52.5	27.0	2.7	79.0	0.0	71.820	0.000
60.0	67.5	26.7	3.2	79.0	0.0	85.333	0.000
75.0	82.5	26.3	3.7	79.0	0.0	98.487	0.000
90.0	97.5	26.0	4.3	79.0	0.0	111.280	0.000
105.0	112.5	25.7	4.8	79.0	0.0	123.713	0.000
120.0	127.5	25.3	5.4	79.0	0.0	135.787	0.000
135.0	142.5	25.0	5.9	79.0	0.0	147.500	0.000
150.0	157.5	-76.0	0.000	79.0	4.00	0.000	316.000
165.0	172.5	-75.0	0.000	79.0	1.80	0.000	142.200
180.0	187.5	-74.5	0.000	79.0	0.40	0.000	31.600
195.0	202.5	-16.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
210.0	217.5	-7.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
225.0	232.5	-4.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
240.0	247.5	-3.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
255.0	262.5	-2.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
270.0	277.5	-1.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
285.0	292.5	0.0	0.000	79.0	0.00	0.000	0.000
Energy in 1 cycle (JOULES)							
Energy in 1 sec (WATT)							
						0.01357	0.00735
						45.23500	24.49000

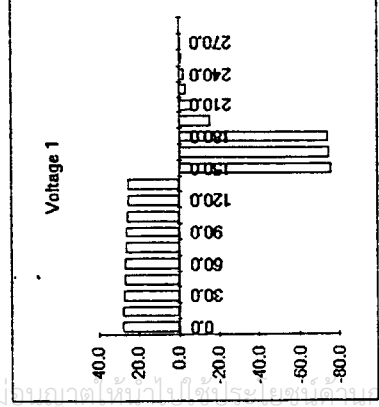
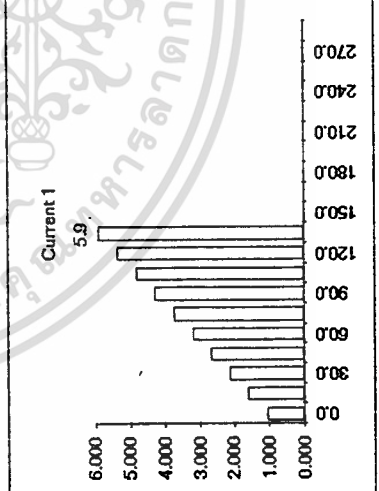
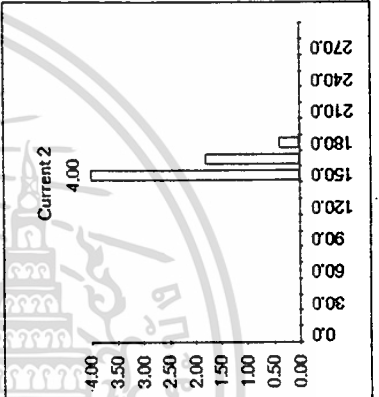
<b>Calc for B</b>	<b>I max = 6.10 A</b>
<b>Volt = 26.50 V</b>	
<b>di/dt = 3.60E+04 A/s</b>	
<b>L = 7.362E-04 H</b>	
<b>Reluctance = 1.76E+06 A/wb</b>	
<b>Core Area = 3.63E-04 sq m</b>	
<b>B max = 0.3437 T</b>	

<b>Calc for EFF</b>	<b>Efficiency (%) = 54.14%</b>
---------------------	--------------------------------



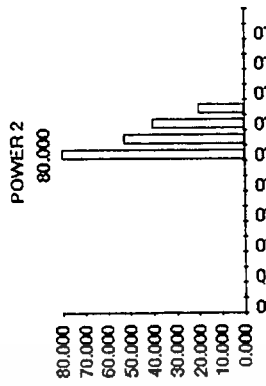
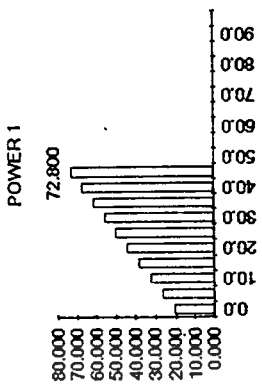
Linear calculate  
 P1 = 45.05 W  
 P2 = 24.22 W  
 %eff = #####



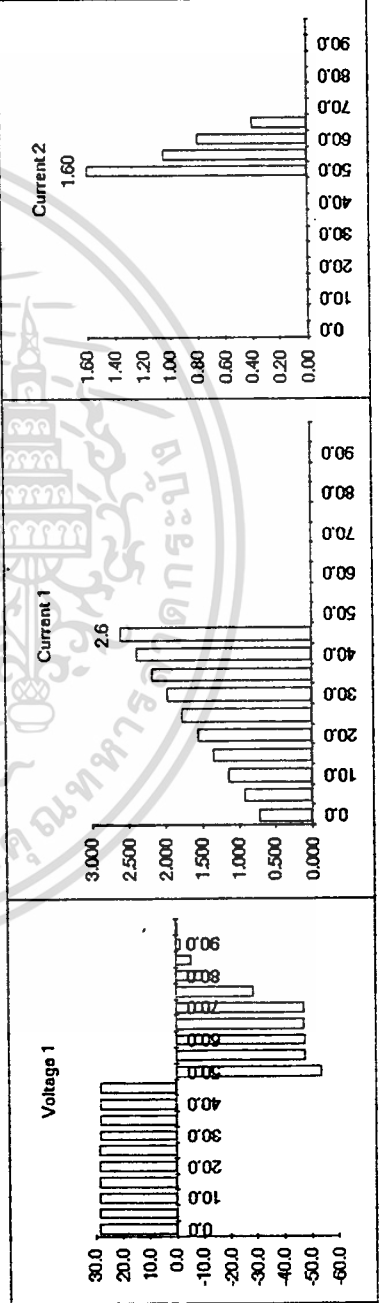


comment -----> **10000 Hz** Gap : **0.75 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	2.5	28.5	0.720	50.0	0.00	20.520	0.000
Core type : silicon steel	5.0	7.5	28.4	0.9	50.0	0.0	26.422	0.000
Core A : 3.63E-04 sq m	10.0	12.5	28.4	1.1	50.0	0.0	32.300	0.000
n1= n2: 36	15.0	17.5	28.3	1.3	50.0	0.0	38.156	0.000
Gap length : 7.50E-04 m	20.0	22.5	28.3	1.6	50.0	0.0	43.988	0.000
load : 200 ohm	25.0	27.5	28.2	1.8	50.0	0.0	49.797	0.000
Duty Cycle : 50 %	30.0	32.5	28.2	2.0	50.0	0.0	55.582	0.000
Freq : 10000 Hz	35.0	37.5	28.1	2.2	50.0	0.0	61.345	0.000
	40.0	42.5	28.1	2.4	50.0	0.0	67.084	0.000
	45.0	47.5	28.0	2.6	50.0	0.0	72.800	0.000
<b>Calc for B</b>	50.0	52.5	-54.0	0.000	50.0	1.60	0.000	80.000
I max = 2.72 A	55.0	57.5	-48.0	0.000	50.0	1.05	0.000	52.500
Volt = 28.25 V	60.0	62.5	-48.0	0.000	50.0	0.80	0.000	40.000
df/dt = 4.18E+04 A/s	65.0	67.5	-47.5	0.000	50.0	0.40	0.000	20.000
L = 6.762E-04 H	70.0	72.5	-47.5	0.000	50.0	0.00	0.000	0.000
Reluctance = 1.92E+06 Awb	75.0	77.5	-29.0	0.000	50.0	0.00	0.000	0.000
Core Area = 3.63E-04 sq m	80.0	82.5	-10.0	0.000	50.0	0.00	0.000	0.000
B max = 0.1408 T	85.0	87.5	-6.0	0.000	50.0	0.00	0.000	0.000
	90.0	92.5	-2.0	0.000	50.0	0.00	0.000	0.000
	95.0	97.5	-1.0	0.000	50.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>	Energy in 1 cycle (JOULES)							
Efficiency (%) = 41.13%	Energy in 1 sec (WATT)							
							0.00234	0.00096
							23.39963	9.62500

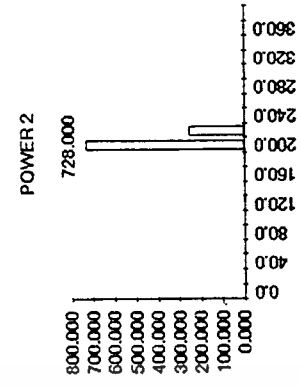
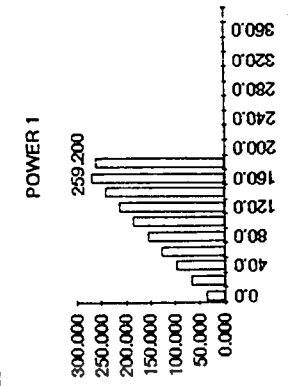


*Linear calculate*  
 P1 = 23.97 W  
 P2 = 10.45 W  
 %eff = 43.6%

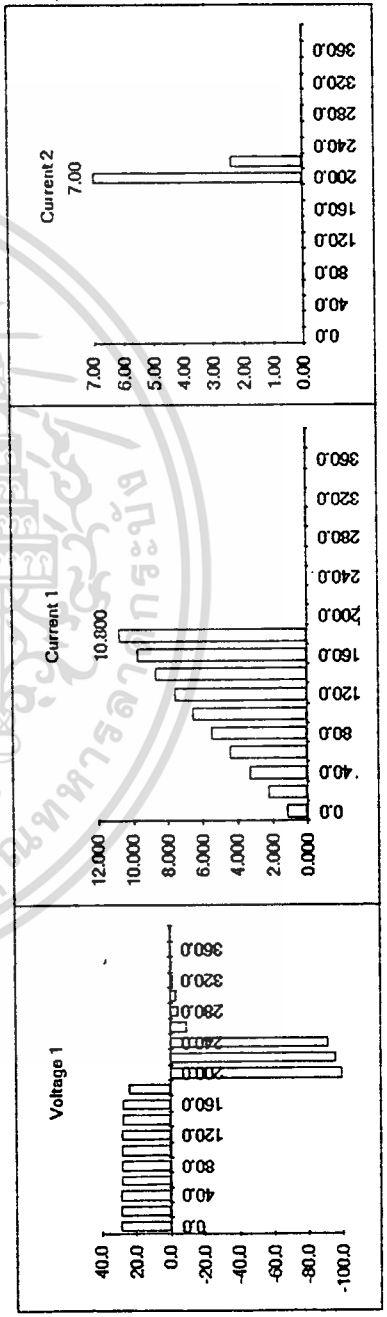


comment ----->: **2500 Hz** Gap: **1.15 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	10.0	29.0	1.200	104.0	0.00	34.800	0.000
Core type :	20.0	30.0	28.8	2.267	104.0	0.00	65.356	0.000
Core A :	40.0	50.0	28.7	3.333	104.0	0.00	95.556	0.000
n1= n2 :	60.0	70.0	28.5	4.400	104.0	0.00	125.400	0.000
Gap length :	80.0	90.0	28.3	5.467	104.0	0.00	154.889	0.000
load :	100.0	110.0	28.2	6.533	104.0	0.00	184.022	0.000
Duty Cycle :	120.0	130.0	28.0	7.600	104.0	0.00	212.800	0.000
Freq :	140.0	150.0	27.8	8.667	104.0	0.00	241.222	0.000
	160.0	170.0	27.7	9.733	104.0	0.00	269.289	0.000
	180.0	190.0	24.0	10.800	104.0	0.00	259.200	0.000
	200.0	210.0	-100.0	0.000	104.0	7.00	0.000	728.000
	220.0	230.0	-96.0	0.000	104.0	2.40	0.000	249.600
	240.0	250.0	-92.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	260.0	270.0	-10.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	280.0	290.0	-5.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	300.0	310.0	-3.5	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	320.0	330.0	-2.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	340.0	350.0	-1.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	360.0	370.0	0.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
	380.0	390.0	0.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>								
Efficiency (%)=							0.03285	0.01955
							82.12667	48.88000



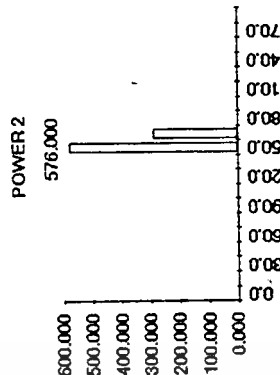
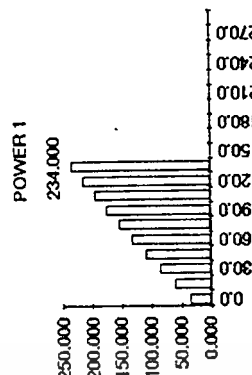
*Linear calculate*  
**P1 = 77.5 W**  
**P2 = 48.36 W**  
**%eff = 62.4%**



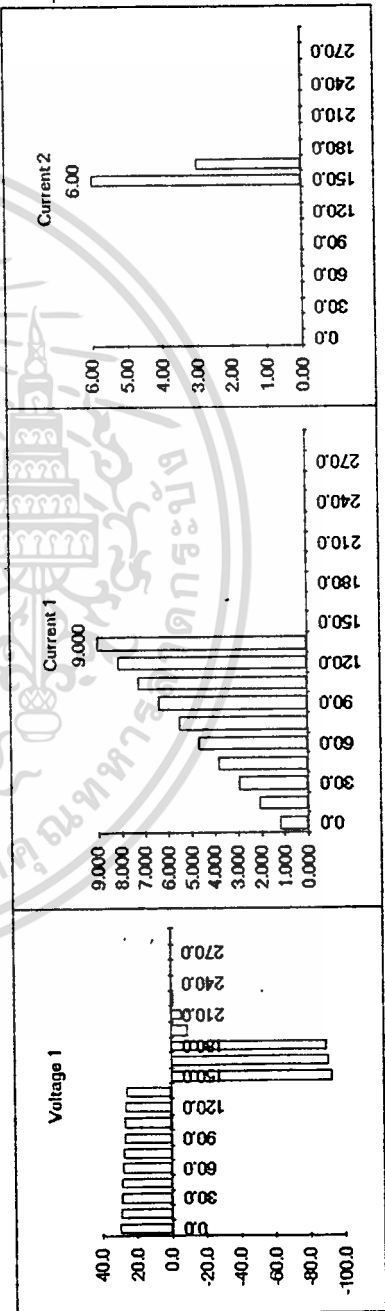
3333 Hz Gap: 1.15 mm.

comment ----->

	1.00E-06	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>	0.0	30.0	1.200	96.0	0.00	36.000	0.000
Transformer No :	15.0	29.6	2.067	96.0	0.00	61.081	0.000
Core type : silicon steel	30.0	29.1	2.933	96.0	0.00	85.393	0.000
Core A : 3.63E-04 sq m	45.0	28.7	3.800	96.0	0.00	108.933	0.000
n1 = n2 : 36	60.0	28.2	4.667	96.0	0.00	131.704	0.000
Gap length : 1.15E-03 m	75.0	27.8	5.533	96.0	0.00	153.704	0.000
load : 200 ohm	90.0	27.3	6.400	96.0	0.00	174.933	0.000
Duty Cycle : 50 %	105.0	26.9	7.267	96.0	0.00	195.393	0.000
Freq : 3333 Hz	120.0	26.4	8.133	96.0	0.00	215.081	0.000
	135.0	26.0	9.000	96.0	0.00	234.000	0.000
<b>Calc for B</b>	150.0	157.5	-93.0	96.0	6.00	0.000	576.000
I max = 9.20 A	165.0	172.5	-91.5	96.0	3.00	0.000	288.000
Volt = 28.00 V	180.0	187.5	-90.0	96.0	0.00	0.000	0.000
di/dt = 5.78E+04 A/s	195.0	202.5	-10.0	96.0	0.00	0.000	0.000
L = 4.847E-04 H	210.0	217.5	-6.0	96.0	0.00	0.000	0.000
Reluctance = 2.67E+08 A/mwb	225.0	232.5	-2.0	96.0	0.00	0.000	0.000
Core Area = 3.63E-04 sq m	240.0	247.5	0.0	96.0	0.00	0.000	0.000
B max = 0.3413 T	255.0	262.5	0.0	96.0	0.00	0.000	0.000
	270.0	277.5	0.0	96.0	0.00	0.000	0.000
	285.0	292.5	0.0	96.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EEE</b>	Energy in 1 cycle (JOULES)						
Efficiency (%) = 61.88%	Energy in 1 sec (WATT)						
	0.02095	69.81111	43.20000				

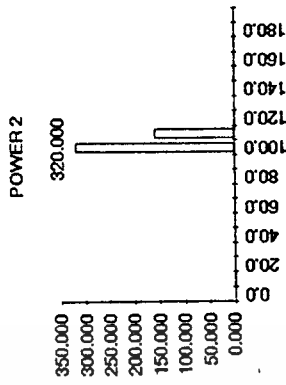
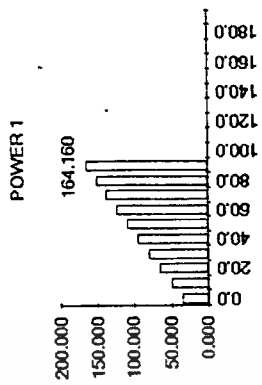


Linear calculate  
 P1 = 70.1 W  
 P2 = 41.98 W  
 %eff = 59.9%

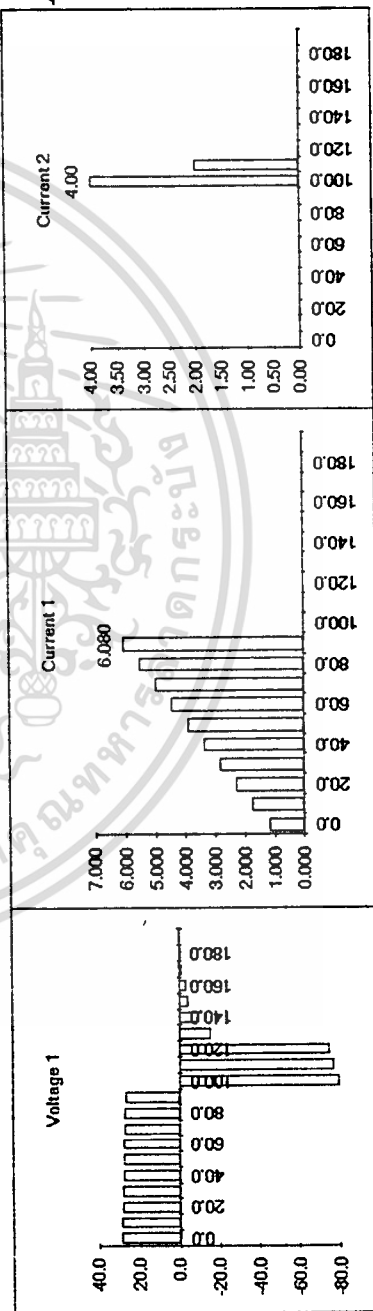


comment -----> **5000** Hz Gap: **1.15** mm.

	1.00E-06	V1	I1(A)	V2	I2(A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>							
Transformer No : <b>2</b>	0.0	29.0	1.200	80.0	0.00	34.800	0.000
Core type : <b>silicon steel</b>	10.0	28.8	1.742	80.0	0.00	50.137	0.000
Core A : <b>3.63E-04</b> sq m	20.0	28.6	2.284	80.0	0.00	65.234	0.000
n1 = n2 : <b>36</b>	30.0	28.3	2.827	80.0	0.00	80.089	0.000
Gap length : <b>1.15E-03</b> m	40.0	28.1	3.369	80.0	0.00	94.703	0.000
load : <b>200</b> ohm	50.0	27.9	3.911	80.0	0.00	109.077	0.000
Duty Cycle : <b>50</b> %	60.0	27.7	4.453	80.0	0.00	123.209	0.000
Freq : <b>5000</b> Hz	70.0	27.4	4.996	80.0	0.00	137.100	0.000
	80.0	27.2	5.538	80.0	0.00	150.751	0.000
	90.0	27.0	6.080	80.0	0.00	164.160	0.000
<b>Calc for B</b>	100.0	95.0	6.080	80.0	0.00	164.160	0.000
I max = <b>6.40</b> A	110.0	115.0	0.000	80.0	4.00	0.000	320.000
Volt = <b>28.00</b> V	120.0	125.0	0.000	80.0	2.00	0.000	160.000
di/dt = <b>5.42E+04</b> A/s	130.0	135.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
L = <b>5.164E-04</b> H	140.0	145.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
Reluctance = <b>2.51E+06</b> A/wb	150.0	155.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
Core Area = <b>3.63E-04</b> sq m	160.0	165.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
B max = <b>0.2530</b> T	170.0	175.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
	180.0	185.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
	190.0	195.0	0.000	80.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>							
Efficiency (%) = <b>47.56%</b>						0.01009	0.00480

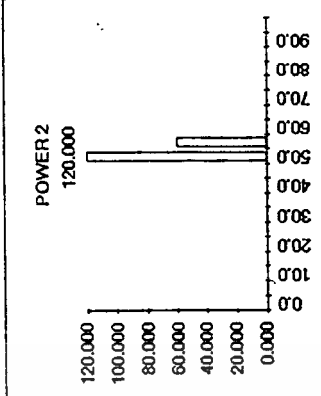
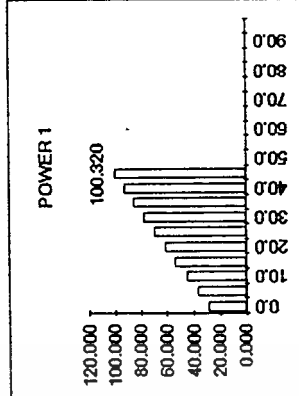


*Linear calculate*  
 P1 = 50.55 W  
 P2 = 24 W  
 %eff = 47.5%

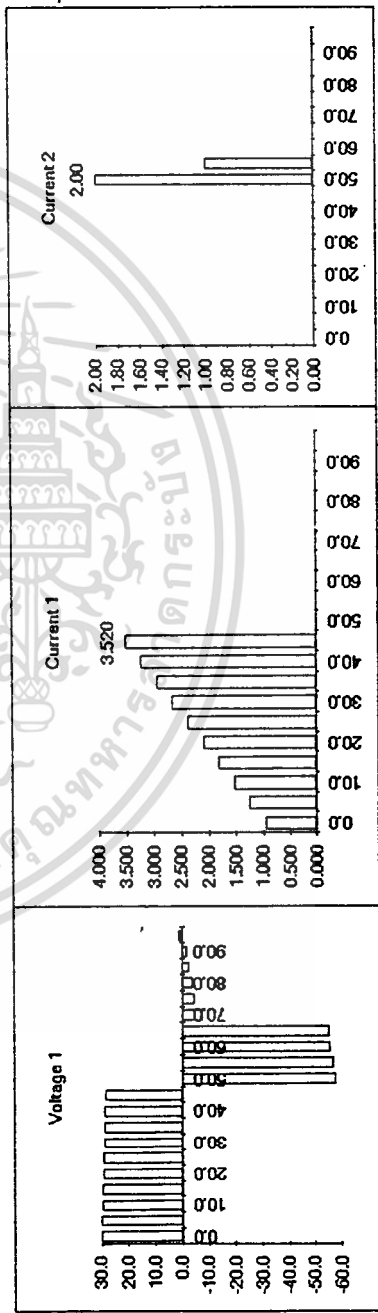


comment ----->: **10000** Hz Gap: **1.15** mm.

	1.00E-06	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>	0.0	30.0	0.960	60.0	0.00	28.800	0.000
Transformer No :	5.0	29.8	1.244	60.0	0.00	37.126	0.000
Core type : silicon steel	10.0	29.7	1.529	60.0	0.00	45.357	0.000
Core A : 3.63E-04 sq m	15.0	29.5	1.813	60.0	0.00	53.493	0.000
n1= n2 : 36	20.0	29.3	2.098	60.0	0.00	61.535	0.000
Gap length : 1.15E-03 m	25.0	29.2	2.382	60.0	0.00	69.481	0.000
load : 200 ohm	30.0	29.0	2.667	60.0	0.00	77.333	0.000
Duty Cycle : 50 %	35.0	28.8	2.951	60.0	0.00	85.090	0.000
Freq : 10000 Hz	40.0	28.7	3.236	60.0	0.00	92.753	0.000
	45.0	28.5	3.520	60.0	0.00	100.320	0.000
<b>Calc for B</b>	50.0	52.5	-58.0	60.0	2.00	0.000	120.000
I max = 3.68 A	55.0	57.5	-57.0	60.0	1.00	0.000	60.000
Volt = 29.25 V	60.0	62.5	-56.0	60.0	0.00	0.000	0.000
di/dt = 5.69E+04 A/s	65.0	67.5	-55.5	60.0	0.00	0.000	0.000
L = 5.142E-04 H	70.0	72.5	-8.0	60.0	0.00	0.000	0.000
Reluctance = 2.52E+06 A/Wb	75.0	77.5	-5.0	60.0	0.00	0.000	0.000
Core Area = 3.63E-04 sq m	80.0	82.5	-4.0	60.0	0.00	0.000	0.000
B max = 0.1448 T	85.0	87.5	-3.0	60.0	0.00	0.000	0.000
	90.0	92.5	-2.0	60.0	0.00	0.000	0.000
	95.0	97.5	-1.0	60.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>							
Efficiency (%) =						0.00326	0.00090
						32.56444	9.00000

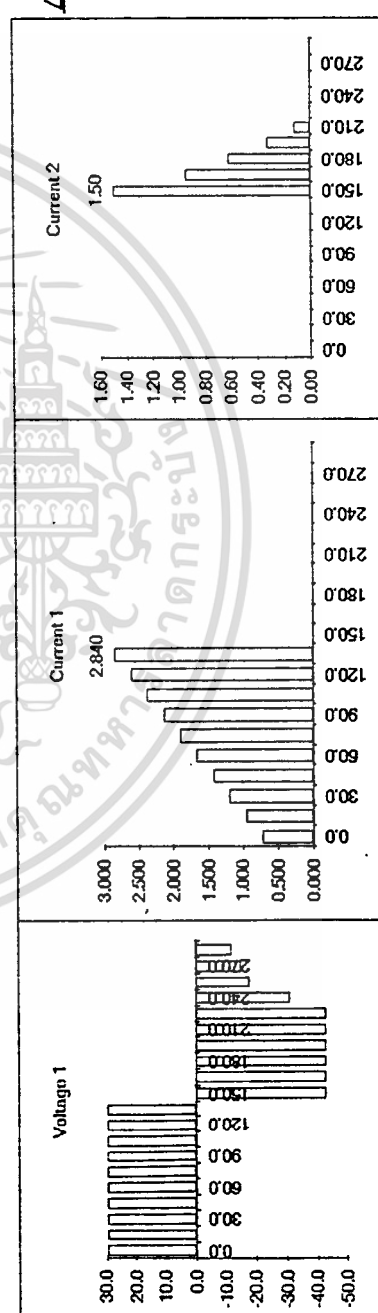
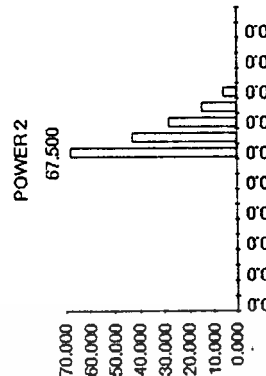
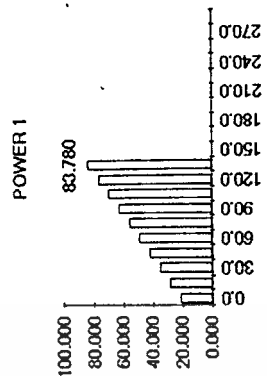


*Linear calculate*  
 P1 = 32.6 W  
 P2 = 9 W  
 %ell = 27.6%



comment -----> 3333 Hz Gap: 0.00 mm.

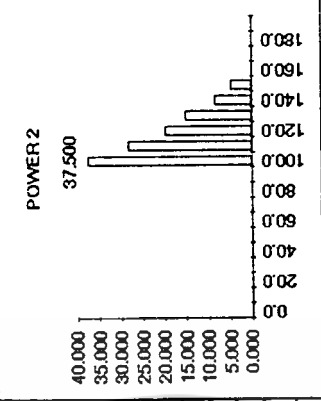
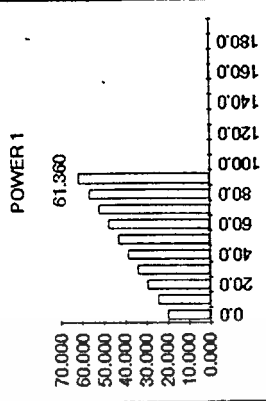
	1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
DETAIL DATA	0.0	7.5	29.5	0.720	45.0	0.00	21.240	0.000
Transformer No :	15.0	22.5	29.5	0.956	45.0	0.0	28.189	0.000
Core type :	30.0	37.5	29.5	1.191	45.0	0.0	35.138	0.000
Core A :	45.0	52.5	29.5	1.427	45.0	0.0	42.087	0.000
n1= n2 :	60.0	67.5	29.5	1.662	45.0	0.0	49.036	0.000
Gap length :	75.0	82.5	29.5	1.898	45.0	0.0	55.984	0.000
load :	90.0	97.5	29.5	2.133	45.0	0.0	62.933	0.000
Duty Cycle :	105.0	112.5	29.5	2.369	45.0	0.0	69.882	0.000
Freq :	120.0	127.5	29.5	2.604	45.0	0.0	76.831	0.000
	135.0	142.5	29.5	2.840	45.0	0.0	83.780	0.000
	150.0	157.5	-43.0	0.000	45.0	1.50	0.000	67.500
	165.0	172.5	-43.0	0.000	45.0	0.95	0.000	42.750
	180.0	187.5	-43.0	0.000	45.0	0.63	0.000	28.125
	195.0	202.5	-43.0	0.000	45.0	0.33	0.000	14.625
	210.0	217.5	-43.0	0.000	45.0	0.13	0.000	5.625
	225.0	232.5	-43.0	0.000	45.0	0.00	0.000	0.000
	240.0	247.5	-31.0	0.000	45.0	0.00	0.000	0.000
	255.0	262.5	-18.0	0.000	45.0	0.00	0.000	0.000
	270.0	277.5	-15.0	0.000	45.0	0.00	0.000	0.000
	285.0	292.5	-12.0	0.000	45.0	0.00	0.000	0.000
Calc for EFF								
Efficiency (%)=								
							0.00788	0.00238
							26.25500	7.93125



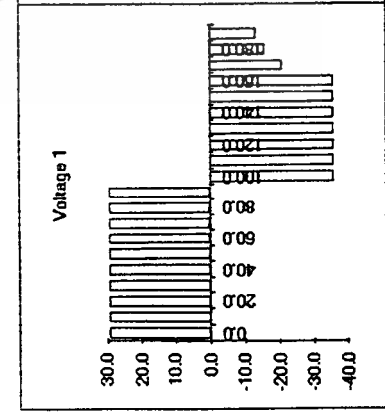
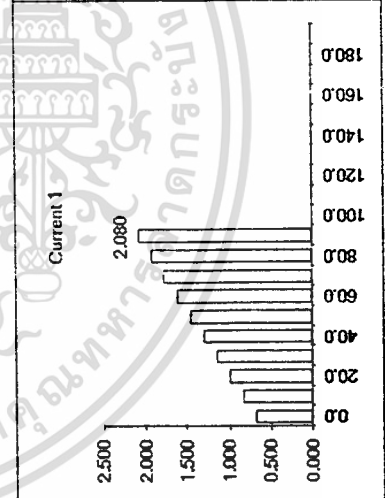
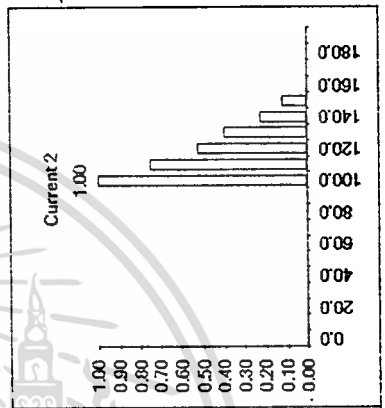
Linear calculate  
 P1 = 26.55 W  
 P2 = 8.969 W  
 %eff = 33.8%

comment -----> **5000 Hz** Gap : **0.00 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	5.0	29.5	0.680	37.5	0.00	20.060	0.000
Core type :	10.0	15.0	29.5	0.836	37.5	0.00	24.649	0.000
Core A :	20.0	25.0	29.5	0.991	37.5	0.00	29.238	0.000
n1= n2 :	30.0	35.0	29.5	1.147	37.5	0.00	33.927	0.000
Gap length :	40.0	45.0	29.5	1.302	37.5	0.00	38.416	0.000
load :	50.0	55.0	29.5	1.458	37.5	0.00	43.004	0.000
Duty Cycle :	60.0	65.0	29.5	1.613	37.5	0.00	47.593	0.000
Freq :	70.0	75.0	29.5	1.769	37.5	0.00	52.182	0.000
	80.0	85.0	29.5	1.924	37.5	0.00	56.771	0.000
	90.0	95.0	29.5	2.080	37.5	0.00	61.360	0.000
	100.0	105.0	-36.0	0.000	37.5	1.00	0.000	37.500
	110.0	115.0	-36.0	0.000	37.5	0.75	0.000	28.125
	120.0	125.0	-36.0	0.000	37.5	0.53	0.000	19.688
	130.0	135.0	-36.0	0.000	37.5	0.40	0.000	15.000
	140.0	145.0	-36.0	0.000	37.5	0.23	0.000	8.438
	150.0	155.0	-36.0	0.000	37.5	0.13	0.000	4.688
	160.0	165.0	-36.0	0.000	37.5	0.00	0.000	0.000
	170.0	175.0	-21.0	0.000	37.5	0.00	0.000	0.000
	180.0	185.0	-16.0	0.000	37.5	0.00	0.000	0.000
	190.0	195.0	-13.5	0.000	37.5	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>								
Efficiency (%) =							0.00407	0.00113
							20.35500	5.67188



**Linear calculate**  
P1 = 20.36 W  
P2 = 5.719 W  
%eff = 28.1%



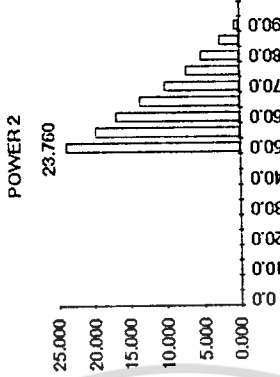
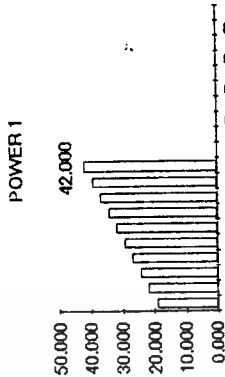
10000 Hz Gap : 0.00 mm.

comment:-->

**DETAIL DATA**

Transformer No : 3  
 Core type : silicon steel  
 Core A : 1.61E-04 sq m  
 n1= n2 : 38  
 Gap length : 0.00E+00 m  
 load : 200 ohm  
 Duty Cycle : 50 %  
 Freq : 10000 Hz

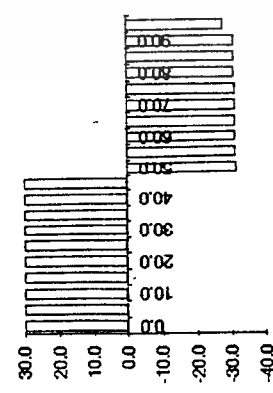
1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
0.0	2.5	30.0	0.640	33.0	0.00	19.200	0.000
5.0	7.5	30.0	0.724	33.0	0.00	21.733	0.000
10.0	12.5	30.0	0.809	33.0	0.00	24.267	0.000
15.0	17.5	30.0	0.893	33.0	0.00	26.800	0.000
20.0	22.5	30.0	0.978	33.0	0.00	29.333	0.000
25.0	27.5	30.0	1.062	33.0	0.00	31.867	0.000
30.0	32.5	30.0	1.147	33.0	0.00	34.400	0.000
35.0	37.5	30.0	1.231	33.0	0.00	36.933	0.000
40.0	42.5	30.0	1.316	33.0	0.00	39.467	0.000
45.0	47.5	30.0	1.400	33.0	0.00	42.000	0.000
50.0	52.5	-31.5	0.000	33.0	0.72	0.000	23.760
55.0	57.5	-31.4	0.000	33.0	0.60	0.000	19.800
60.0	62.5	-31.4	0.000	33.0	0.51	0.000	16.830
65.0	67.5	-31.3	0.000	33.0	0.41	0.000	13.550
70.0	72.5	-31.3	0.000	33.0	0.31	0.000	10.230
75.0	77.5	-31.2	0.000	33.0	0.22	0.000	7.260
80.0	82.5	-31.1	0.000	33.0	0.16	0.000	5.280
85.0	87.5	-31.1	0.000	33.0	0.08	0.000	2.640
90.0	92.5	-31.0	0.000	33.0	0.02	0.000	0.660
95.0	97.5	-28.0	0.000	33.0	0.00	0.000	0.000



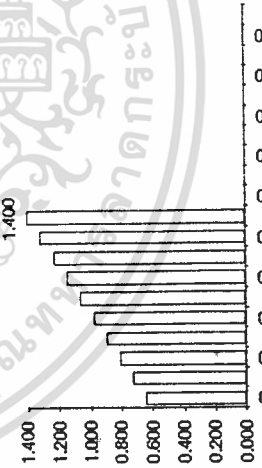
Calc for EFF Efficiency (%) = 32.68%

Energy in 1 cycle (JOULES)  
 Energy in 1 sec (WATT)

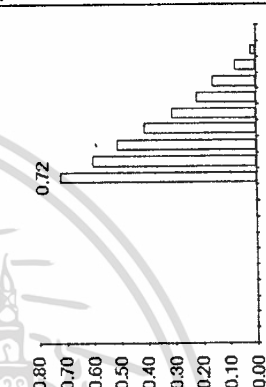
Voltage 1



Current 1



Current 2



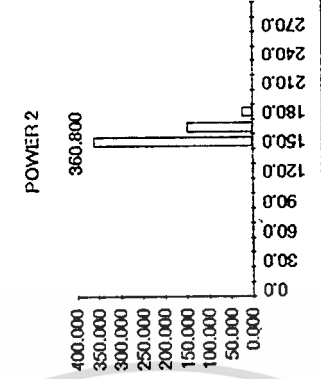
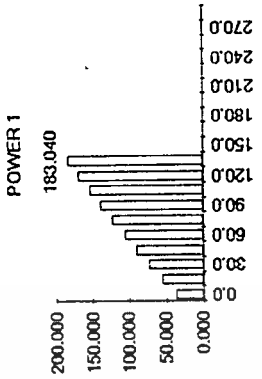
Linear calculate

P1 = 15.3 W  
 P2 = 4.435 W

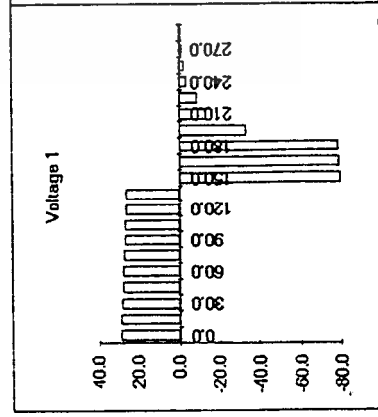
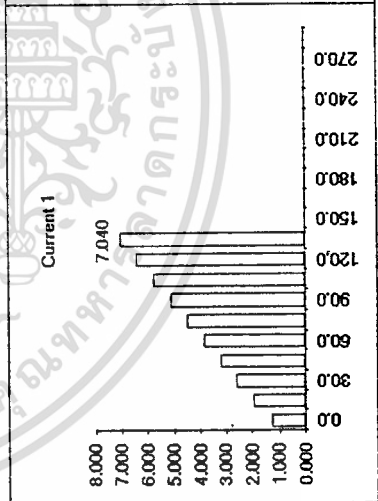
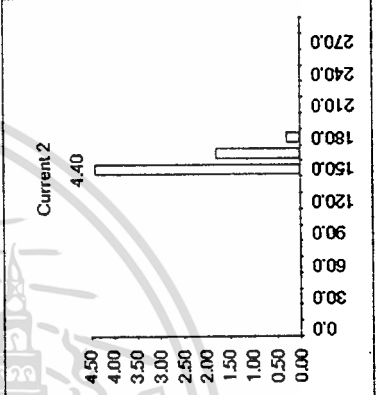
%eff = 29.0%

comment -----> 3333 Hz Gap : 0.30 mm.

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	7.5	29.0	1.280	82.0	0.00	37.120	0.000
Core type :	15.0	22.5	28.7	1.920	82.0	0.00	55.040	0.000
Core A :	30.0	27.5	28.3	2.560	82.0	0.00	72.533	0.000
Core A :	45.0	52.5	28.0	3.200	82.0	0.00	89.600	0.000
n1= n2 :	60.0	67.5	27.7	3.840	82.0	0.00	106.240	0.000
Gap length :	75.0	82.5	27.3	4.480	82.0	0.00	122.453	0.000
load :	90.0	97.5	27.0	5.120	82.0	0.00	138.240	0.000
Duty Cycle :	105.0	112.5	26.7	5.760	82.0	0.00	153.600	0.000
Freq :	120.0	127.5	26.3	6.400	82.0	0.00	168.533	0.000
	135.0	142.5	26.0	7.040	82.0	0.00	183.040	0.000
	150.0	157.5	-80.0	0.000	82.0	4.40	0.000	360.800
	165.0	172.5	-79.5	0.000	82.0	1.80	0.000	147.600
	180.0	187.5	-79.0	0.000	82.0	0.30	0.000	24.600
	195.0	202.5	-34.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
	210.0	217.5	-14.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
	225.0	232.5	-9.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
	240.0	247.5	-4.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
	255.0	262.5	-3.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
	270.0	277.5	-2.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
	285.0	292.5	-1.0	0.000	82.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>								
I max =	7.20							
Volt =	27.50							
di/dt =	4.27E+04							
L =	6.446E-04							
Reluctance =	2.24E+06							
Core Area =	1.61E-04							
B max =	0.7572							
<b>Calc for EFF</b>								
Efficiency (%)=	47.32%							



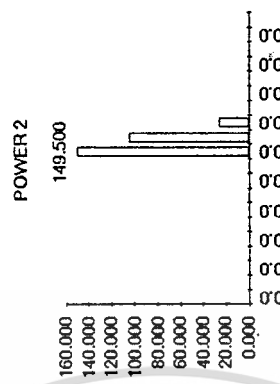
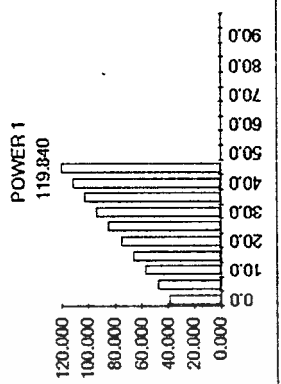
Linear calculate  
 P1 = 56.08 W  
 P2 = 25.57 W  
 %cell = 45.6%



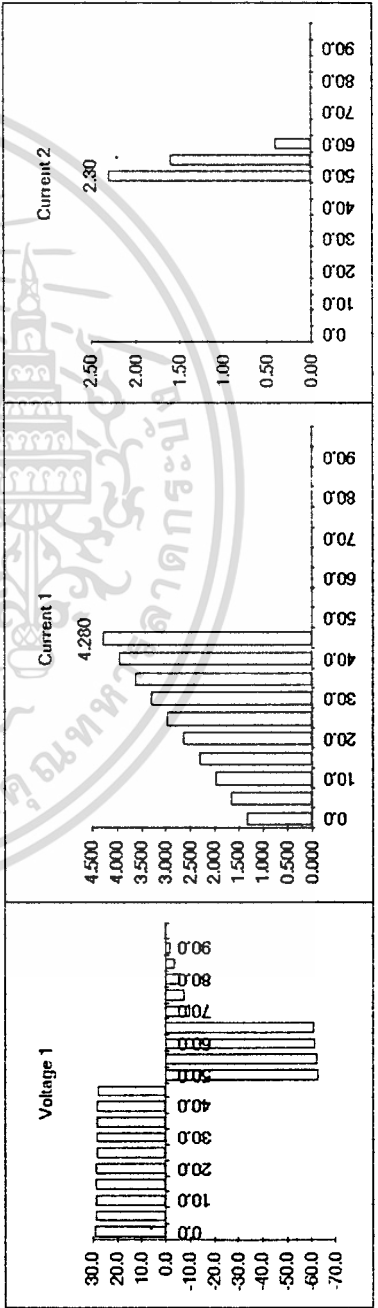


comment -----> **10000 Hz** Gap : **0.30 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	2.5	29.0	1.320	65.0	0.00	38.280	0.000
Core type :	5.0	7.5	28.9	1.649	65.0	0.00	47.635	0.000
Core A :	10.0	12.5	28.8	1.978	65.0	0.00	56.916	0.000
n1= n2 :	15.0	17.5	28.7	2.307	65.0	0.00	66.124	0.000
Gap length :	20.0	22.5	28.6	2.636	65.0	0.00	75.260	0.000
load :	25.0	27.5	28.4	2.964	65.0	0.00	84.322	0.000
Duty Cycle :	30.0	32.5	28.3	3.293	65.0	0.00	93.311	0.000
Freq :	35.0	37.5	28.2	3.622	65.0	0.00	102.227	0.000
	40.0	42.5	28.1	3.951	65.0	0.00	111.070	0.000
	45.0	47.5	28.0	4.280	65.0	0.00	119.840	0.000
<b>Calc for B</b>	50.0	52.5	-63.0	0.000	65.0	2.30	0.000	149.500
I max =	55.0	57.5	-62.3	0.000	65.0	1.60	0.000	104.000
Volt =	60.0	62.5	-61.6	0.000	65.0	0.40	0.000	26.000
di/dt =	65.0	67.5	-61.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
L =	70.0	72.5	-10.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
Reluctance =	75.0	77.5	-8.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
Core Area =	80.0	82.5	-6.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
B max =	85.0	87.5	-4.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
	90.0	92.5	-2.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
	95.0	97.5	0.0	0.000	65.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for EFF</b>								
Efficiency (%)=							0.00397	0.00140
							39.74926	13.97500

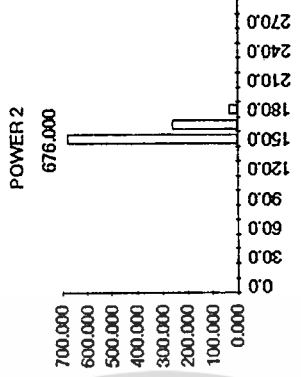
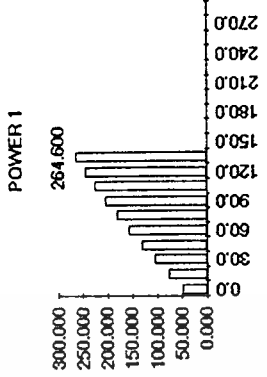


*Linear calculate*  
**P1 = 43.69 W**  
**P2 = 14.37 W**  
**%eff = 32.9%**

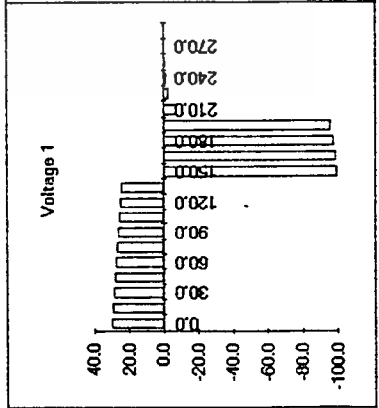
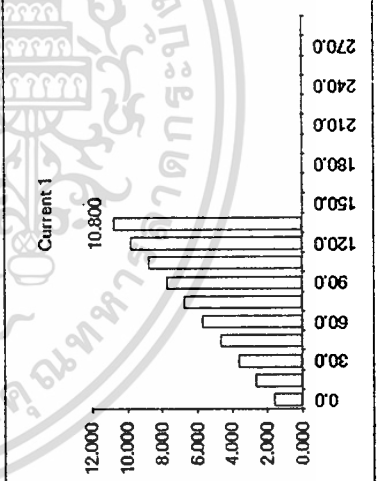
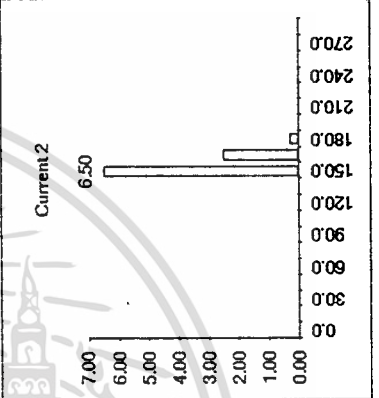


comment ----->: **3333 Hz** Gap: **0.75 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No.:	0.0	7.5	30.0	1.600	104.0	0.00	48.000	0.000
Core type:	15.0	22.5	29.4	2.622	104.0	0.00	77.064	0.000
Core type: silicon steel								
Core A:	30.0	37.5	28.8	3.644	104.0	0.00	104.879	0.000
Core A = 1.61E-04 sq m								
n1= n2:	45.0	52.5	28.2	4.667	104.0	0.00	131.444	0.000
n1= 38 turn								
Gap length:	60.0	67.5	27.6	5.689	104.0	0.00	156.760	0.000
Gap length = 7.50E-04 m								
load:	75.0	82.5	26.9	6.711	104.0	0.00	180.827	0.000
load = 200 ohm								
Duty Cycle:	90.0	97.5	26.3	7.733	104.0	0.00	203.644	0.000
Duty Cycle = 50 %								
Freq:	105.0	112.5	25.7	8.756	104.0	0.00	225.212	0.000
Freq = 3333 Hz								
<b>Calc for B</b>								
I max =	135.0	142.5	24.5	10.800	104.0	0.00	264.600	0.000
I max = 11.00 A								
Voll =	150.0	157.5	-100.0	0.000	104.0	6.50	0.000	676.000
Voll = 27.25 V								
di/dt =	165.0	172.5	-99.0	0.000	104.0	2.50	0.000	260.000
di/dt = 6.81E+04 A/s								
L =	180.0	187.5	-98.0	0.000	104.0	0.30	0.000	31.200
L = 3.999E-04 H								
Reluctance =	195.0	202.5	-96.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
Reluctance = 3.61E+06 A/mwb								
Core Area =	210.0	217.5	-8.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
Core Area = 1.61E-04 sq m								
B max =	225.0	232.5	-3.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
B max = 0.7177 T								
<b>Calc for EEE</b>								
Efficiency (%) =	240.0	247.5	-2.0	0.000	104.0	0.00	0.000	0.000
Efficiency (%) = 59.05%								
Energy in 1 cycle (JOULES)								
Energy in 1 sec (WATT)								
							0.02457	0.01451
							81.898151	48.36000



*Linear calculate*  
**P1 = 80.87 W**  
**P2 = 49.94 W**  
**%eff = 61.8%**



comment -----> 5000 Hz Gap : 0.75 mm.

1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	5.0	29.0	1.600	96.0	0.00	46.400	0.000
10.0	15.0	28.7	2.400	96.0	0.00	68.800	0.000
20.0	25.0	28.3	3.200	96.0	0.00	90.667	0.000
30.0	35.0	28.0	4.000	96.0	0.00	112.000	0.000
40.0	45.0	27.7	4.800	96.0	0.00	132.800	0.000
50.0	55.0	27.3	5.600	96.0	0.00	153.067	0.000
60.0	65.0	27.0	6.400	96.0	0.00	172.800	0.000
70.0	75.0	26.7	7.200	96.0	0.00	192.000	0.000
80.0	85.0	26.3	8.000	96.0	0.00	210.667	0.000
90.0	95.0	26.0	8.800	96.0	0.00	228.800	0.000
100.0	105.0	95.0	0.000	96.0	5.40	0.000	518.400
110.0	115.0	92.0	0.000	96.0	4.00	0.000	384.000
120.0	125.0	90.0	0.000	96.0	0.01	0.000	0.960
130.0	135.0	11.0	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000
140.0	145.0	-5.0	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000
150.0	155.0	-4.0	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000
160.0	165.0	-3.0	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000
170.0	175.0	-2.5	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000
180.0	185.0	-1.0	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000
190.0	195.0	0.0	0.000	96.0	0.00	0.000	0.000

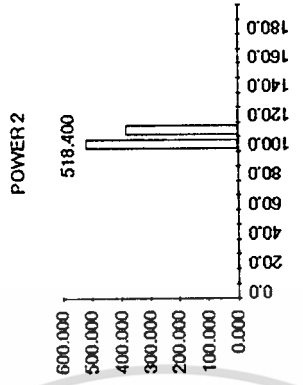
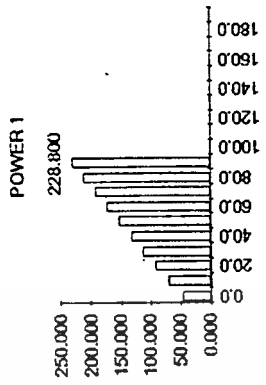
Energy in 1 cycle (Joules)	
0.01408	0.00903
70.40000	45.16800

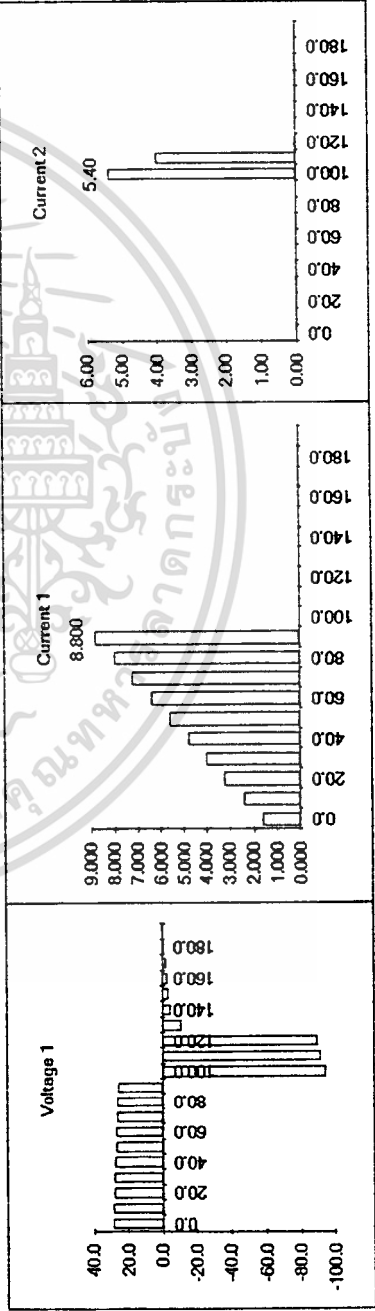
Calc for B	
I max =	9.20 A
Volt =	27.50 V
di/dt =	8.00E+04 A/s
L =	3.438E-04 H
Reluctance =	4.20E+06 A/mb
Core Area =	1.61E-04 sq m
B max =	0.5160 T

Calc for EEE	
Efficiency (%) =	64.16%



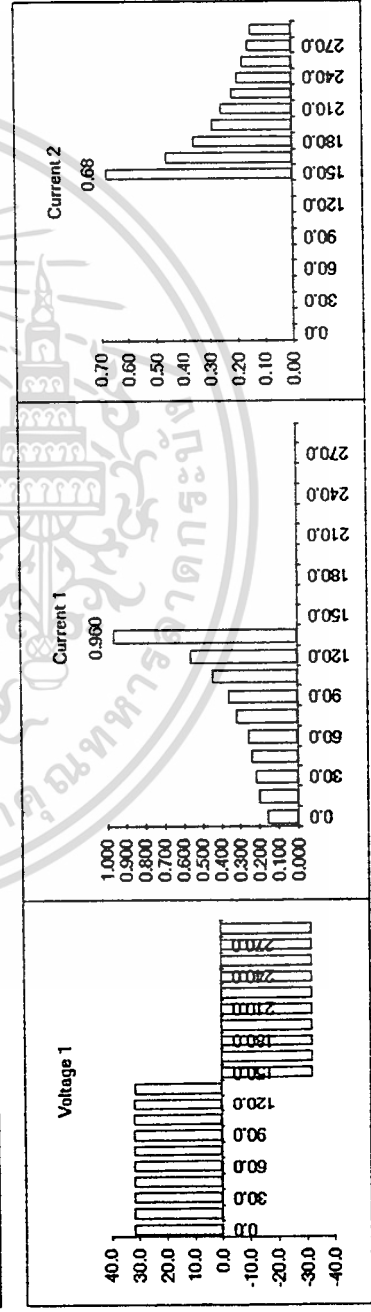
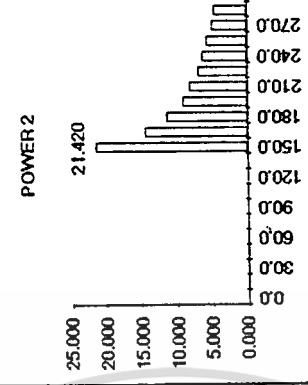
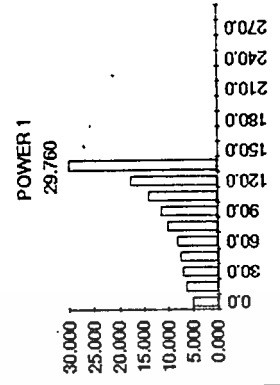
Linear calculate  
 P1 = 72.08 W  
 P2 = 43.78 W  
 %eff = 60.7%





comment ----->: **3333 Hz** Gap: **0.00** mm.

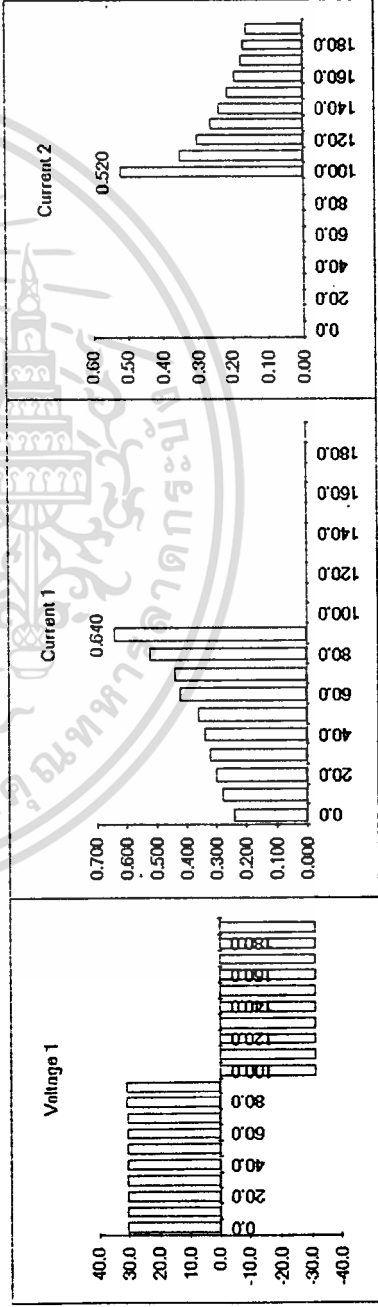
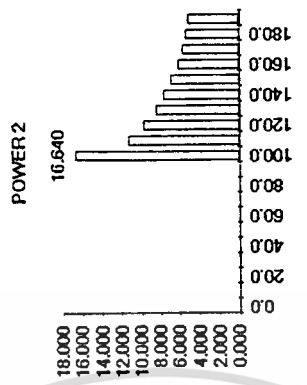
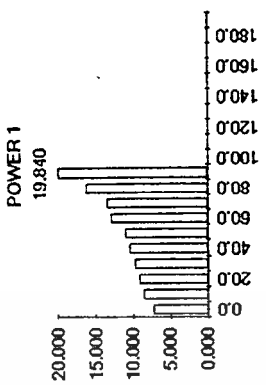
1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	7.5	31.5	0.160	31.5	0.00	5.040	0.000
15.0	22.5	31.5	0.200	31.5	0.00	6.300	0.000
30.0	37.5	31.5	0.220	31.5	0.00	6.930	0.000
45.0	52.5	31.5	0.240	31.5	0.00	7.560	0.000
60.0	67.5	31.5	0.260	31.5	0.00	8.190	0.000
75.0	82.5	31.5	0.320	31.5	0.00	10.080	0.000
90.0	97.5	31.5	0.360	31.5	0.00	11.340	0.000
105.0	112.5	31.5	0.440	31.5	0.00	13.860	0.000
120.0	127.5	31.5	0.560	31.5	0.00	17.640	0.000
135.0	142.5	31.0	0.960	31.5	0.00	29.760	0.000
150.0	157.5	-32.2	0.000	31.5	0.68	0.000	21.420
165.0	172.5	-32.2	0.000	31.5	0.46	0.000	14.490
180.0	187.5	-32.2	0.000	31.5	0.36	0.000	11.340
195.0	202.5	-32.2	0.000	31.5	0.29	0.000	9.135
210.0	217.5	-32.2	0.000	31.5	0.26	0.000	8.190
225.0	232.5	-32.2	0.000	31.5	0.22	0.000	6.930
240.0	247.5	-32.2	0.000	31.5	0.20	0.000	6.300
255.0	262.5	-32.2	0.000	31.5	0.18	0.000	5.670
270.0	277.5	-32.2	0.000	31.5	0.16	0.000	5.040
285.0	292.5	-32.2	0.000	31.5	0.15	0.000	4.725
		Energy in 1 cycle (JOULES)				0.00175	0.00140
		Energy in 1 sec (WATT)				5.83500	4.66200



Calc for EFF  
Efficiency (%) = **79.90%**

comment ----->: **5000 Hz** Gap: **0.00** mm.

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No.:	0.0	5.0	30.5	0.240	32.0	0.00	7.320	0.000
Core type:	10.0	15.0	30.5	0.280	32.0	0.00	8.540	0.000
Core A:	20.0	25.0	30.5	0.300	32.0	0.00	9.150	0.000
n1= n2:	30.0	35.0	30.5	0.320	32.0	0.00	9.760	0.000
Gap length:	40.0	45.0	30.5	0.340	32.0	0.00	10.370	0.000
load:	50.0	55.0	30.5	0.360	32.0	0.00	10.980	0.000
Duty Cycle:	60.0	65.0	30.5	0.420	32.0	0.00	12.810	0.000
Freq:	70.0	75.0	30.5	0.440	32.0	0.00	13.420	0.000
	80.0	85.0	31.0	0.520	32.0	0.00	16.120	0.000
	90.0	95.0	31.0	0.640	32.0	0.00	19.840	0.000
	100.0	105.0	-31.5	0.000	32.0	0.520	0.000	16.640
	110.0	115.0	-31.5	0.000	32.0	0.352	0.000	11.264
	120.0	125.0	-31.5	0.000	32.0	0.304	0.000	9.728
	130.0	135.0	-31.5	0.000	32.0	0.264	0.000	8.448
	140.0	145.0	-31.5	0.000	32.0	0.240	0.000	7.680
	150.0	155.0	-31.5	0.000	32.0	0.216	0.000	6.912
	160.0	165.0	-31.5	0.000	32.0	0.192	0.000	6.144
	170.0	175.0	-31.5	0.000	32.0	0.176	0.000	5.632
	180.0	185.0	-31.5	0.000	32.0	0.168	0.000	5.376
	190.0	195.0	-31.5	0.000	32.0	0.160	0.000	5.120
<b>Calc. for EFF</b>								
Efficiency (%)=							0.00118	0.000083
							5.91550	4.14720



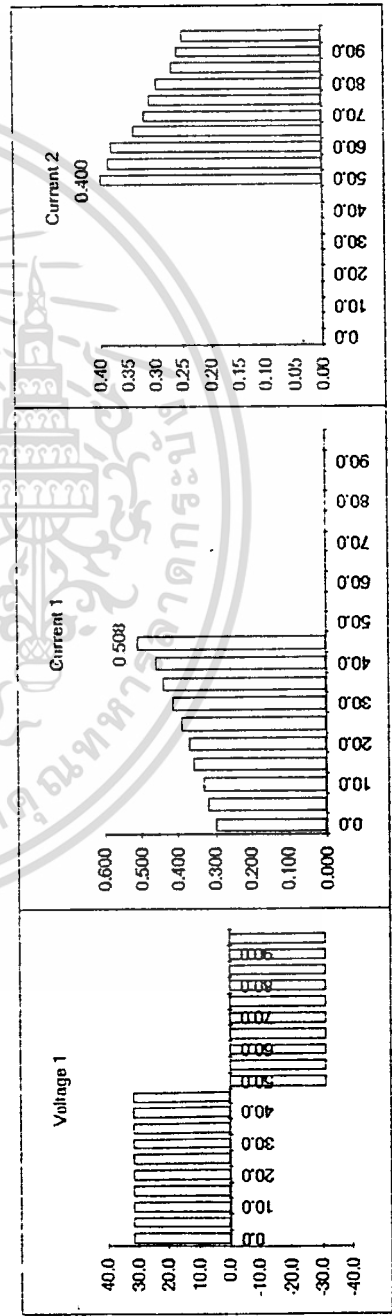
comment ----->

**10000 Hz**      Gap : **0.00 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	2.5	31.5	0.300	32.0	0.00	9.450	0.000
Core type :	5.0	7.5	31.5	0.320	32.0	0.00	10.080	0.000
Core A :	10.0	12.5	31.5	0.332	32.0	0.00	10.458	0.000
Core A :	15.0	17.5	31.5	0.356	32.0	0.00	11.214	0.000
n1= n2 :	20.0	22.5	31.5	0.368	32.0	0.00	11.592	0.000
Gap length :	25.0	27.5	31.5	0.388	32.0	0.00	12.222	0.000
load :	30.0	32.5	31.5	0.412	32.0	0.00	12.978	0.000
Duty Cycle :	35.0	37.5	31.5	0.440	32.0	0.00	13.860	0.000
Freq :	40.0	42.5	31.5	0.460	32.0	0.00	14.490	0.000
	45.0	47.5	31.5	0.508	32.0	0.00	16.002	0.000
	50.0	52.5	-31.5	0.000	32.0	0.400	0.000	12.800
	55.0	57.5	-31.5	0.000	32.0	0.386	0.000	12.352
	60.0	62.5	-31.5	0.000	32.0	0.380	0.000	12.160
	65.0	67.5	-31.5	0.000	32.0	0.340	0.000	10.880
	70.0	72.5	-31.5	0.000	32.0	0.320	0.000	10.240
	75.0	77.5	-31.5	0.000	32.0	0.310	0.000	9.920
	80.0	82.5	-31.5	0.000	32.0	0.296	0.000	9.472
	85.0	87.5	-31.5	0.000	32.0	0.270	0.000	8.640
	90.0	92.5	-31.5	0.000	32.0	0.260	0.000	8.320
	95.0	97.5	-31.5	0.000	32.0	0.250	0.000	8.000
<b>Calc for EFE</b>								
Efficiency (%)=							0.00061	0.00051
							6.11730	5.13920

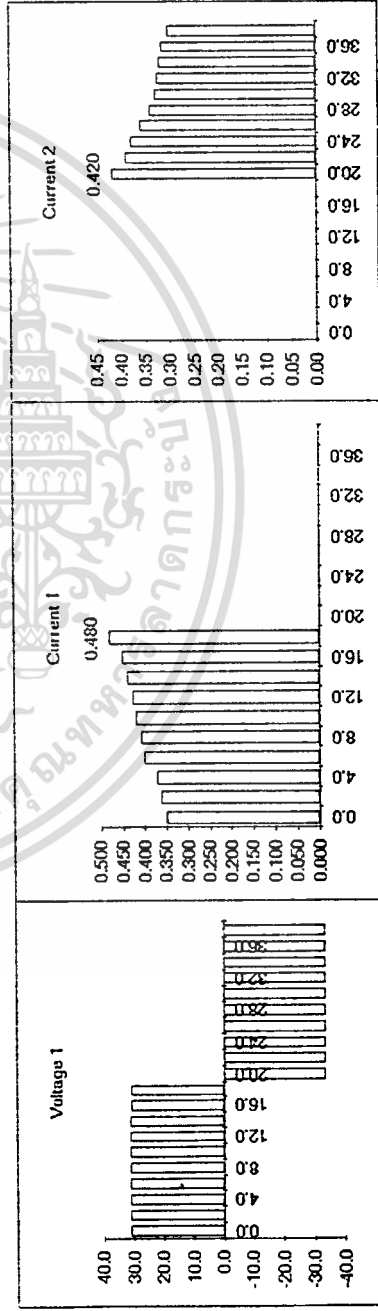
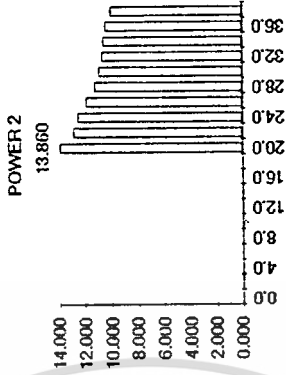
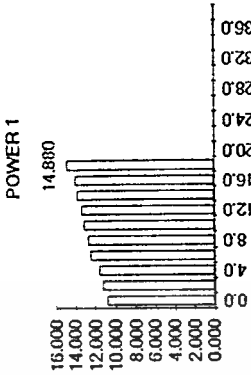
POWER 1

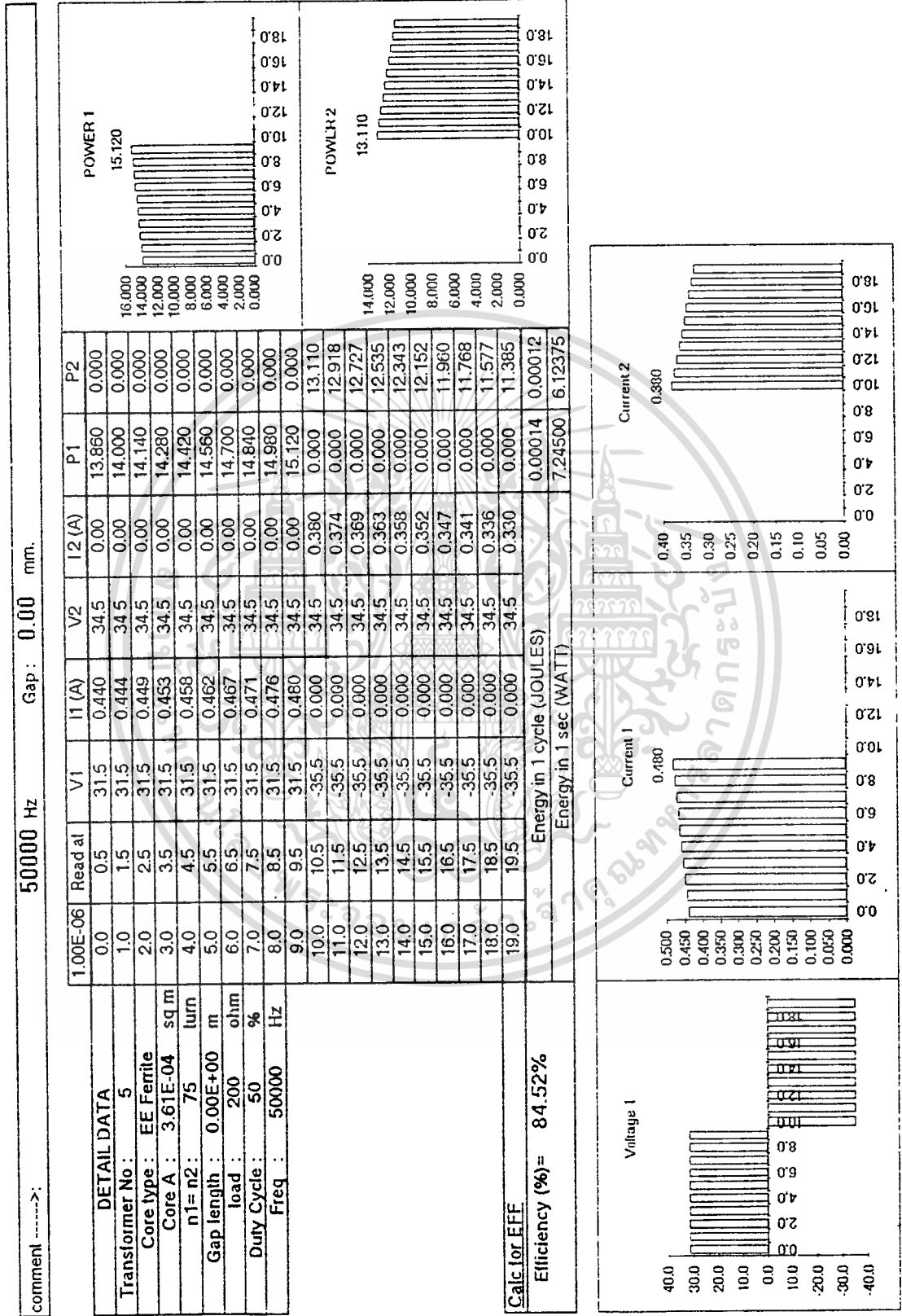
POWER 2



comment -----> 25000 Hz Gap : 0.00 mm.

DETAIL DATA	1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
Transformer No : 5	0.0	1.0	31.2	0.348	33.0	0.00	10.858	0.000
Core type : EE Ferrite	2.0	3.0	31.2	0.360	33.0	0.00	11.232	0.000
Core A : 3.61E-04 sq m	4.0	5.0	31.2	0.372	33.0	0.00	11.606	0.000
n1= n2: 75 turn	6.0	7.0	31.2	0.400	33.0	0.00	12.480	0.000
Gap length : 0.00E+00 m	8.0	9.0	31.2	0.408	33.0	0.00	12.730	0.000
load : 200 ohm	10.0	11.0	31.2	0.420	33.0	0.00	13.104	0.000
Duty Cycle : 50 %	12.0	13.0	31.2	0.428	33.0	0.00	13.354	0.000
Freq : 25000 Hz	14.0	15.0	31.2	0.440	33.0	0.00	13.728	0.000
	16.0	17.0	31.0	0.452	33.0	0.00	14.012	0.000
	18.0	19.0	31.0	0.480	33.0	0.00	14.880	0.000
	20.0	21.0	-33.7	0.000	33.0	0.420	0.000	13.860
	22.0	23.0	-33.7	0.000	33.0	0.390	0.000	12.870
	24.0	25.0	-33.7	0.000	33.0	0.360	0.000	12.540
	26.0	27.0	-33.7	0.000	33.0	0.360	0.000	11.880
	28.0	29.0	-33.7	0.000	33.0	0.340	0.000	11.220
	30.0	31.0	-33.7	0.000	33.0	0.330	0.000	10.890
	32.0	33.0	-33.7	0.000	33.0	0.324	0.000	10.692
	34.0	35.0	-33.7	0.000	33.0	0.320	0.000	10.560
	36.0	37.0	-33.7	0.000	33.0	0.316	0.000	10.428
	38.0	39.0	-33.7	0.000	33.0	0.304	0.000	10.032
Calc for EEE	Energy in 1 cycle (Joules)							
Efficiency (%) = 89.83%	Energy in 1 sec (Watt)							





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comment -----> 3333 Hz Gap : 0.15 mm.

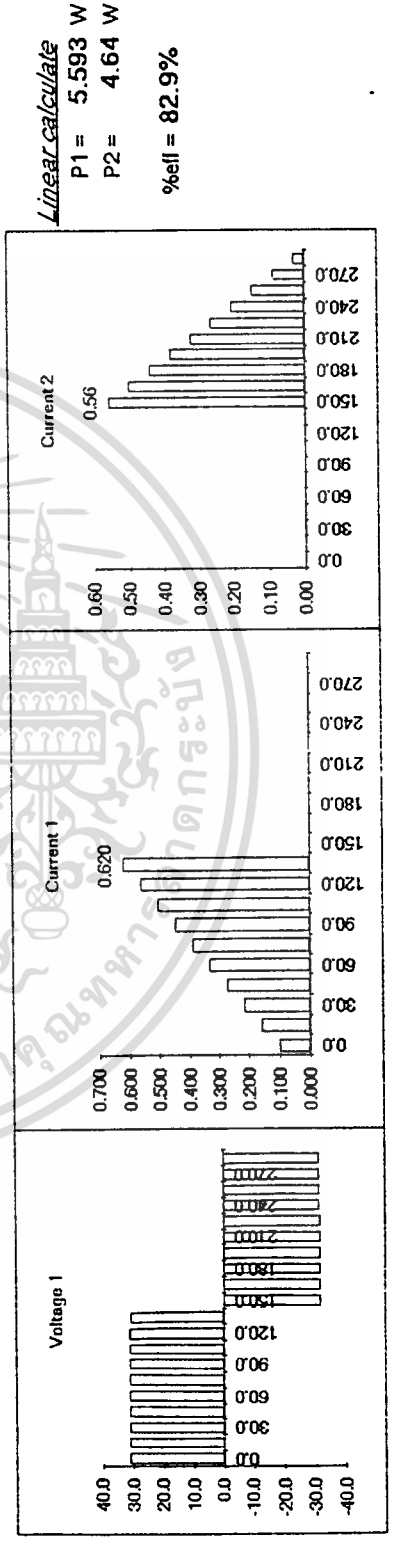
	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>	0.0	7.5	312	0.100	32.0	3.120	0.000
Transformer No :	15.0	22.5	312	0.158	32.0	4.923	0.000
Core type :	30.0	37.5	312	0.216	32.0	6.725	0.000
Core A :	45.0	52.5	312	0.273	32.0	8.528	0.000
n1= n2 :	60.0	67.5	312	0.331	32.0	10.331	0.000
Gap length :	75.0	82.5	312	0.389	32.0	12.133	0.000
load :	90.0	97.5	312	0.447	32.0	13.936	0.000
Duty Cycle :	105.0	112.5	312	0.504	32.0	15.739	0.000
Freq :	120.0	127.5	312	0.562	32.0	17.541	0.000
	135.0	142.5	310	0.620	32.0	19.220	0.000
	150.0	157.5	320	0.000	32.0	0.000	17.920
	165.0	172.5	319	0.000	32.0	0.000	16.036
	180.0	187.5	319	0.000	32.0	0.000	14.151
	195.0	202.5	318	0.000	32.0	0.000	12.267
	210.0	217.5	318	0.000	32.0	0.000	10.382
	225.0	232.5	317	0.000	32.0	0.000	8.498
	240.0	247.5	317	0.000	32.0	0.000	6.613
	255.0	262.5	316	0.000	32.0	0.000	4.729
	270.0	277.5	316	0.000	32.0	0.000	2.844
	285.0	292.5	315	0.000	32.0	0.000	0.960
<b>Calc for EFF</b>						0.00168	0.00142
Efficiency (%)=						5.60980	4.72000

	Energy in 1 cycle (JOULES)
POWER 1	19.220
POWER 2	17.920

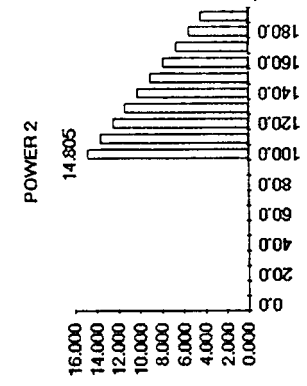
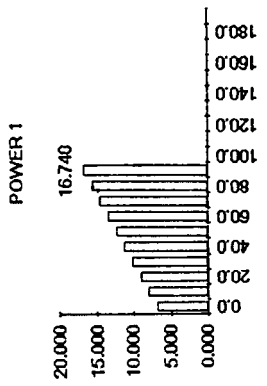
  

	Energy in 1 sec (WATT)
Current 1	0.620
Current 2	0.56



comment -----> 5000 Hz Gap : 0.15 mm.

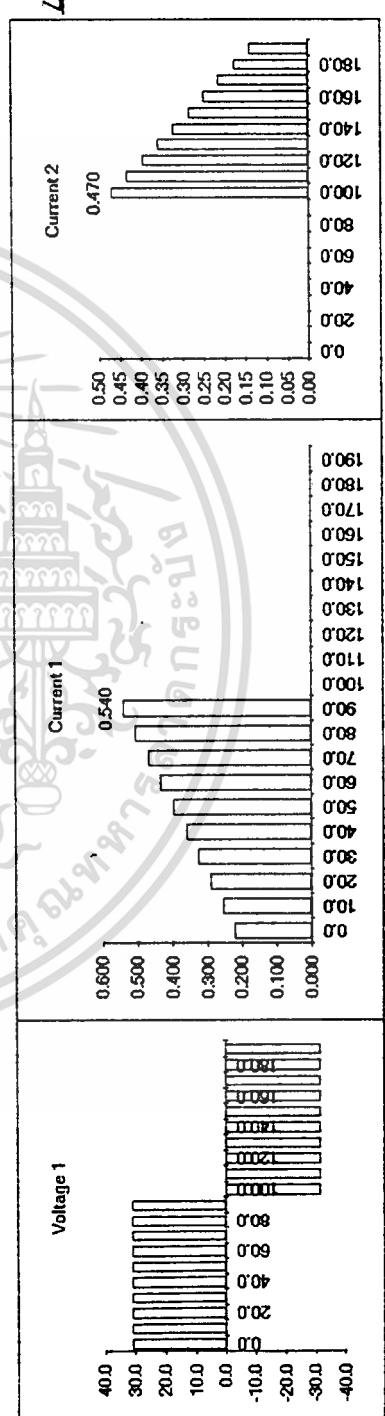
1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	5.0	31.0	0.220	31.5	0.00	6.820	0.000
10.0	15.0	31.0	0.256	31.5	0.00	7.922	0.000
20.0	25.0	31.0	0.291	31.5	0.00	9.024	0.000
30.0	35.0	31.0	0.327	31.5	0.00	10.127	0.000
40.0	45.0	31.0	0.362	31.5	0.00	11.229	0.000
50.0	55.0	31.0	0.398	31.5	0.00	12.331	0.000
60.0	65.0	31.0	0.433	31.5	0.00	13.433	0.000
70.0	75.0	31.0	0.469	31.5	0.00	14.536	0.000
80.0	85.0	31.0	0.504	31.5	0.00	15.638	0.000
90.0	95.0	31.0	0.540	31.5	0.00	16.740	0.000
100.0	105.0	-32.0	-8.5	31.5	0.470	0.000	14.805
110.0	115.0	-32.0	-40.5	31.5	0.433	0.000	13.650
120.0	125.0	-32.0	-72.5	31.5	0.397	0.000	12.495
130.0	135.0	-32.0	-104.5	31.5	0.360	0.000	11.340
140.0	145.0	-32.0	-136.5	31.5	0.323	0.000	10.185
150.0	155.0	-32.0	-168.5	31.5	0.287	0.000	9.030
160.0	165.0	-32.0	-200.5	31.5	0.250	0.000	7.875
170.0	175.0	-32.0	-232.5	31.5	0.213	0.000	6.720
180.0	185.0	-32.0	-264.5	31.5	0.177	0.000	5.565
190.0	195.0	-32.0	-296.5	31.5	0.140	0.000	4.410
Energy in 1 cycle (Joules)							
Energy in 1 sec (Watt)							



1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	5.0	31.0	0.220	31.5	0.00	6.820	0.000
10.0	15.0	31.0	0.256	31.5	0.00	7.922	0.000
20.0	25.0	31.0	0.291	31.5	0.00	9.024	0.000
30.0	35.0	31.0	0.327	31.5	0.00	10.127	0.000
40.0	45.0	31.0	0.362	31.5	0.00	11.229	0.000
50.0	55.0	31.0	0.398	31.5	0.00	12.331	0.000
60.0	65.0	31.0	0.433	31.5	0.00	13.433	0.000
70.0	75.0	31.0	0.469	31.5	0.00	14.536	0.000
80.0	85.0	31.0	0.504	31.5	0.00	15.638	0.000
90.0	95.0	31.0	0.540	31.5	0.00	16.740	0.000
100.0	105.0	-32.0	-8.5	31.5	0.470	0.000	14.805
110.0	115.0	-32.0	-40.5	31.5	0.433	0.000	13.650
120.0	125.0	-32.0	-72.5	31.5	0.397	0.000	12.495
130.0	135.0	-32.0	-104.5	31.5	0.360	0.000	11.340
140.0	145.0	-32.0	-136.5	31.5	0.323	0.000	10.185
150.0	155.0	-32.0	-168.5	31.5	0.287	0.000	9.030
160.0	165.0	-32.0	-200.5	31.5	0.250	0.000	7.875
170.0	175.0	-32.0	-232.5	31.5	0.213	0.000	6.720
180.0	185.0	-32.0	-264.5	31.5	0.177	0.000	5.565
190.0	195.0	-32.0	-296.5	31.5	0.140	0.000	4.410

**Calc for B**  
 I max = 0.58 A  
 Volt = 31.00 V  
 di/dt = 3.56E+03 A/s  
 L = 8.72E-03 H  
 Reluctance = 6.45E+05 A/mwb  
 Core Area = 3.61E-04 sq m  
 B max = 0.1868 T

**Calc for EEE**  
 Efficiency (%) = 81.6%

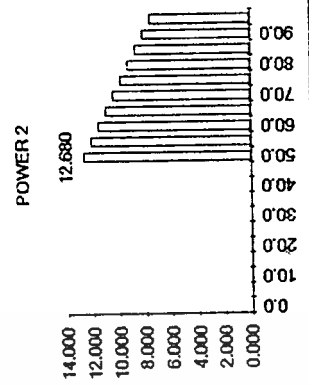
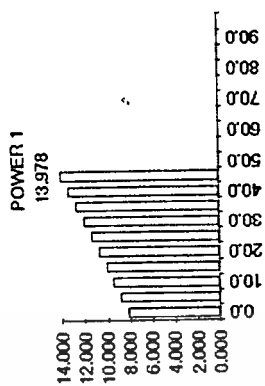


*Linear calculate*  
 P1 = 6.045 W  
 P2 = 4.725 W  
 %eff = 78.2%

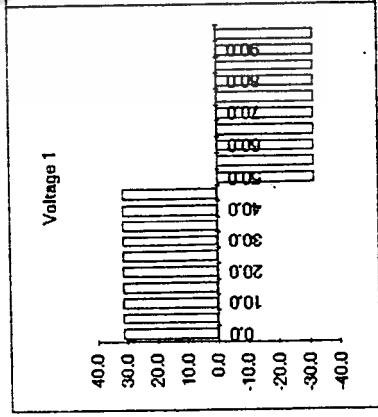
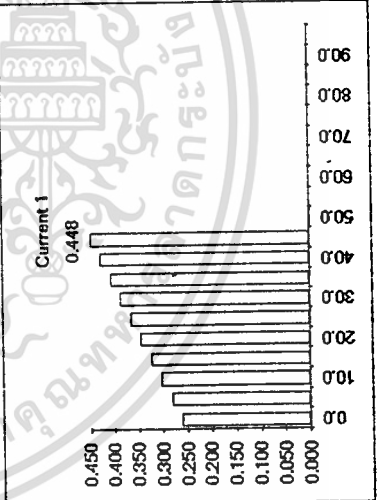
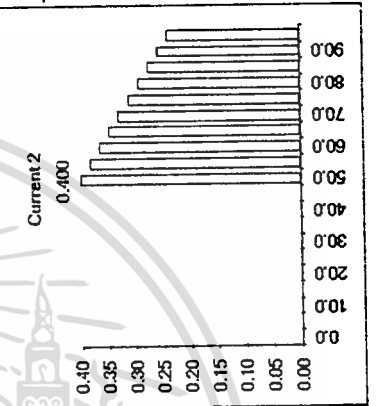
10000 Hz Gap : 0.15 mm.

comment ----->

DETAIL DATA		1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
Transformer No :	5	0.0	2.5	31.2	0.261	31.7	0.00	8.143	0.000
Core type :	EE Ferrite	5.0	7.5	31.2	0.282	31.7	0.00	8.791	0.000
Core A :	3.61E-04	10.0	12.5	31.2	0.303	31.7	0.00	9.440	0.000
n1= n2 :	75	15.0	17.5	31.2	0.323	31.7	0.00	10.088	0.000
Gap length :	1.50E-04	20.0	22.5	31.2	0.344	31.7	0.00	10.736	0.000
load :	200	25.0	27.5	31.2	0.365	31.7	0.00	11.385	0.000
Duty Cycle :	50	30.0	32.5	31.2	0.386	31.7	0.00	12.033	0.000
Freq :	10000	35.0	37.5	31.2	0.406	31.7	0.00	12.681	0.000
		40.0	42.5	31.2	0.427	31.7	0.00	13.329	0.000
		45.0	47.5	31.2	0.448	31.7	0.00	13.978	0.000
		50.0	52.5	-32.0	0.000	31.7	0.400	0.000	12.680
		55.0	57.5	-32.0	0.000	31.7	0.382	0.000	12.116
		60.0	62.5	-32.0	0.000	31.7	0.364	0.000	11.553
		65.0	67.5	-32.0	0.000	31.7	0.347	0.000	10.989
		70.0	72.5	-32.0	0.000	31.7	0.329	0.000	10.426
		75.0	77.5	-32.0	0.000	31.7	0.311	0.000	9.862
		80.0	82.5	-32.0	0.000	31.7	0.293	0.000	9.299
		85.0	87.5	-32.0	0.000	31.7	0.276	0.000	8.735
		90.0	92.5	-32.0	0.000	31.7	0.258	0.000	8.172
		95.0	97.5	-32.0	0.000	31.7	0.240	0.000	7.608
Calc for EFF								0.00055	0.00051
Efficiency (%)=	91.71%							5.53020	5.07200

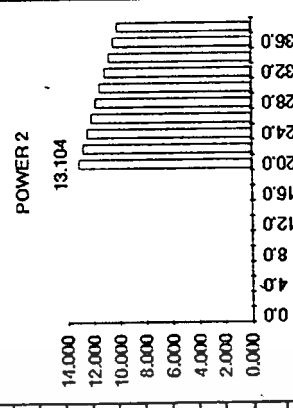
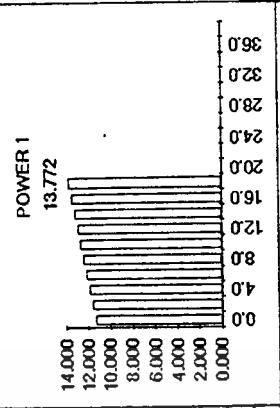


Linear calculate  
 P1 = 5.678 W  
 P2 = 5.072 W  
 %eff = 89.3%

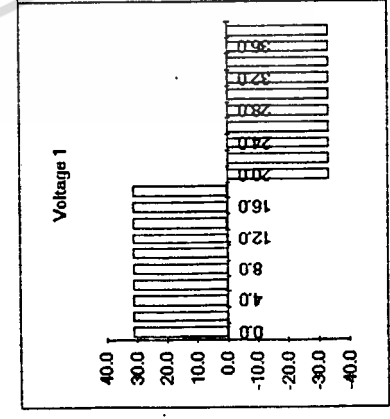
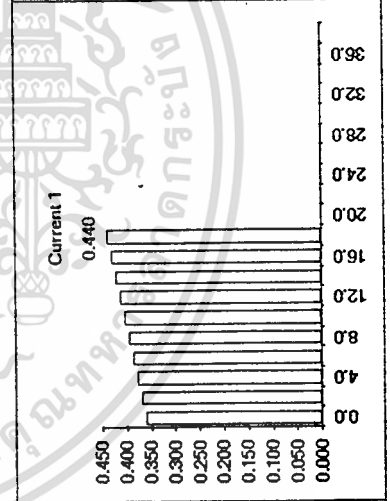
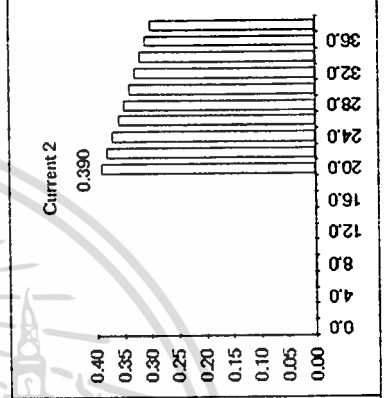


comment -----> 25000 Hz Gap : 0.15 mm.

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>	0.0	1.0	31.3	0.360	33.6	0.00	11.268	0.000
Transformer No :	2.0	3.0	31.3	0.369	33.6	0.00	11.546	0.000
Core type :	4.0	5.0	31.3	0.378	33.6	0.00	11.824	0.000
Core A :	6.0	7.0	31.3	0.387	33.6	0.00	12.103	0.000
n1= n2 :	8.0	9.0	31.3	0.396	33.6	0.00	12.381	0.000
Gap length :	10.0	11.0	31.3	0.404	33.6	0.00	12.659	0.000
load :	12.0	13.0	31.3	0.413	33.6	0.00	12.937	0.000
Duty Cycle :	14.0	15.0	31.3	0.422	33.6	0.00	13.216	0.000
Freq :	16.0	17.0	31.3	0.431	33.6	0.00	13.494	0.000
	18.0	19.0	31.3	0.440	33.6	0.00	13.772	0.000
	20.0	21.0	-33.5	0.000	33.6	0.390	0.000	13.104
	22.0	23.0	-33.5	0.000	33.6	0.380	0.000	12.768
	24.0	25.0	-33.5	0.000	33.6	0.370	0.000	12.432
	26.0	27.0	-33.5	0.000	33.6	0.360	0.000	12.096
	28.0	29.0	-33.5	0.000	33.6	0.350	0.000	11.760
	30.0	31.0	-33.5	0.000	33.6	0.340	0.000	11.424
	32.0	33.0	-33.5	0.000	33.6	0.330	0.000	11.088
	34.0	35.0	-33.5	0.000	33.6	0.320	0.000	10.752
	36.0	37.0	-33.5	0.000	33.6	0.310	0.000	10.416
	38.0	39.0	-33.5	0.000	33.6	0.300	0.000	10.080
<b>Calc for EFF</b>								
I max =	0.438							
Volt =	31.30							
di/dt =	4.44E+03							
L =	7.043E-03							
Reluctance =	7.99E+05							
Core Area =	3.61E-04							
B max =	0.1139							
<b>Energy in 1 cycle (Joules)</b>								
<b>Efficiency (%) =</b>	<b>92.59%</b>							

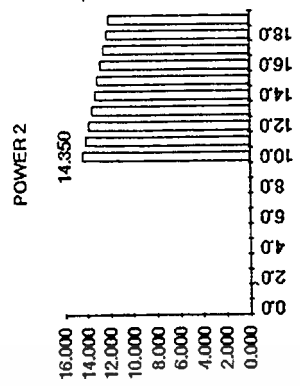
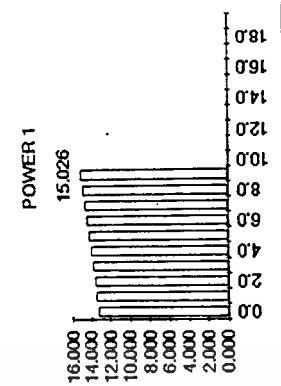


*Linear calculate*  
 P1 = 6.182 W  
 P2 = 5.796 W  
 %eff = 93.8%

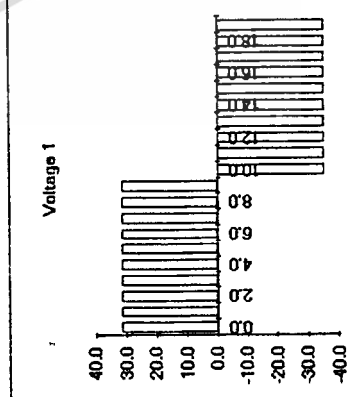
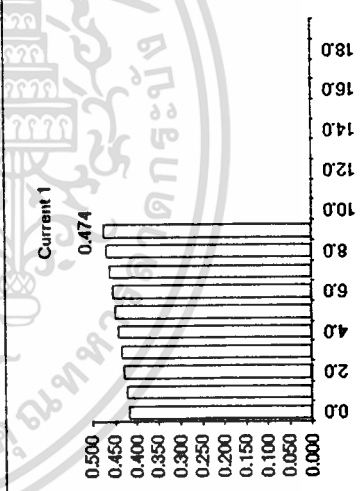
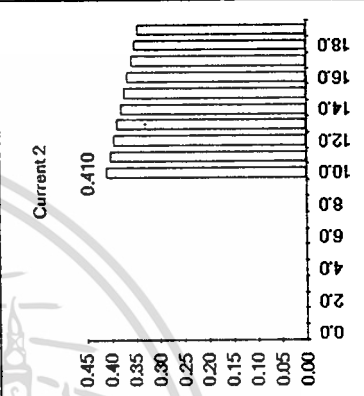


comment -----> 50000 Hz Gap : 0.15 mm.

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	0.5	31.7	0.416	35.0	0.00	13.187	0.000
Core type :	1.0	1.5	31.7	0.422	35.0	0.00	13.391	0.000
Core A :	2.0	2.5	31.7	0.429	35.0	0.00	13.596	0.000
n1= n2:	3.0	3.5	31.7	0.435	35.0	0.00	13.800	0.000
Gap length :	4.0	4.5	31.7	0.442	35.0	0.00	14.004	0.000
load :	5.0	5.5	31.7	0.448	35.0	0.00	14.209	0.000
Duty Cycle :	6.0	6.5	31.7	0.455	35.0	0.00	14.413	0.000
Freq :	7.0	7.5	31.7	0.461	35.0	0.00	14.617	0.000
	8.0	8.5	31.7	0.468	35.0	0.00	14.822	0.000
	9.0	9.5	31.7	0.474	35.0	0.00	15.026	0.000
	10.0	10.5	-35.3	0.000	35.0	0.410	0.000	14.350
	11.0	11.5	-35.3	0.000	35.0	0.403	0.000	14.093
	12.0	12.5	-35.3	0.000	35.0	0.396	0.000	13.837
	13.0	13.5	-35.3	0.000	35.0	0.388	0.000	13.580
	14.0	14.5	-35.3	0.000	35.0	0.381	0.000	13.323
	15.0	15.5	-35.3	0.000	35.0	0.373	0.000	13.067
	16.0	16.5	-35.3	0.000	35.0	0.366	0.000	12.810
	17.0	17.5	-35.3	0.000	35.0	0.359	0.000	12.553
	18.0	18.5	-35.3	0.000	35.0	0.351	0.000	12.297
	19.0	19.5	-35.3	0.000	35.0	0.344	0.000	12.040
<b>Calc for B</b>	<b>Energy in 1 cycle (JOULES)</b>							
I max =	<b>Energy in 1 sec (WATT)</b>							
Volt =								
di/dt =								
L =								
Reluctance =								
Core Area =								
B max =								
<b>Calc for EEE</b>								
Efficiency (%) =	<b>93.54%</b>							



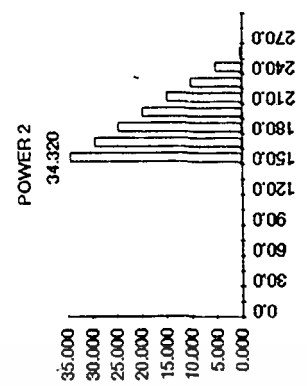
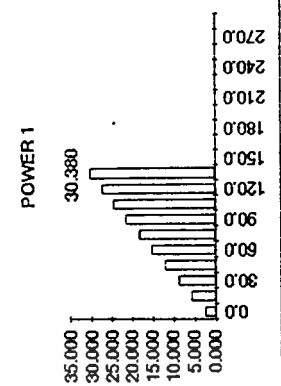
Linear calculate  
 P1 = 7.069 W  
 P2 = 6.65 W  
 %eff = 94.1%



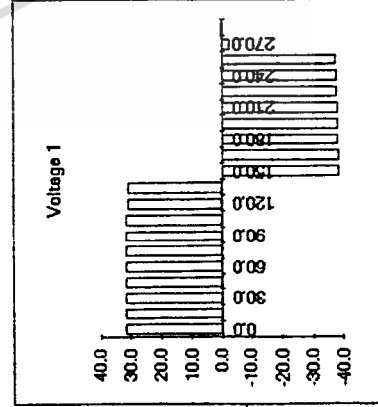
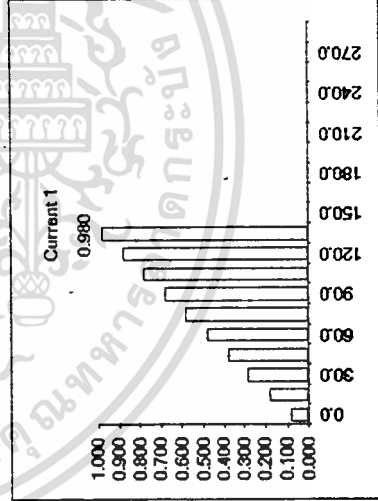
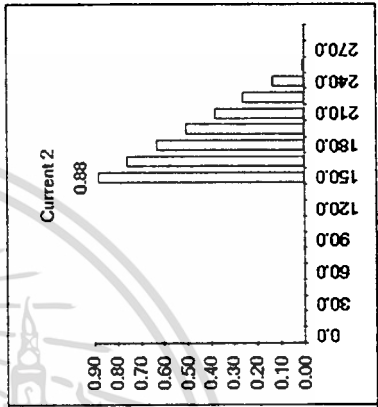
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

comment ----->: **3333 Hz** Gap: **0.30 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	11 (A)	V2	12 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No:	5	7.5	31.5	0.080	39.0	0.00	2.520	0.000
Core type:	EE Ferrite	22.5	31.5	0.180	39.0	0.00	5.670	0.000
Core A:	3.61E-04	37.5	31.5	0.280	39.0	0.00	8.820	0.000
n1=n2:	75	52.5	31.5	0.380	39.0	0.00	11.970	0.000
Gap length:	3.00E-04	60.0	31.5	0.480	39.0	0.00	15.120	0.000
load:	200	75.0	31.5	0.580	39.0	0.00	18.270	0.000
Duty Cycle:	50	90.0	31.5	0.680	39.0	0.00	21.420	0.000
Freq:	3333	106.0	31.0	0.780	39.0	0.00	24.570	0.000
		120.0	31.0	0.880	39.0	0.00	27.280	0.000
		135.0	31.0	0.980	39.0	0.00	30.380	0.000
		150.0	-39.0	0.000	39.0	0.88	0.000	34.320
		165.0	-38.9	0.000	39.0	0.76	0.000	29.473
		180.0	-38.7	0.000	39.0	0.63	0.000	24.626
		195.0	-38.6	0.000	39.0	0.51	0.000	19.779
		210.0	-38.4	0.000	39.0	0.38	0.000	14.931
		225.0	-38.3	0.000	39.0	0.26	0.000	10.084
		240.0	-38.1	0.000	39.0	0.13	0.000	5.237
		255.0	-38.0	0.000	39.0	0.01	0.000	0.390
		270.0	-3.0	0.000	39.0	0.00	0.000	0.000
		285.0	0.1	0.000	39.0	0.00	0.000	0.000
<b>Calc for B</b>								
I max =	1.04							
Volt =	31.40							
di/dt =	6.67E+03							
L =	4.710E-03							
Reluctance =	1.19E+06							
Core Area =	3.61E-04							
B max =	0.1809							
<b>Calc for EFE</b>								
Efficiency (%) =	83.63%							



*Linear calculate*  
 P1 = 8.417 W  
 P2 = 6.875 W  
 %eff = 81.7%



comment -----> 5000 Hz Gap : 0.30 mm.

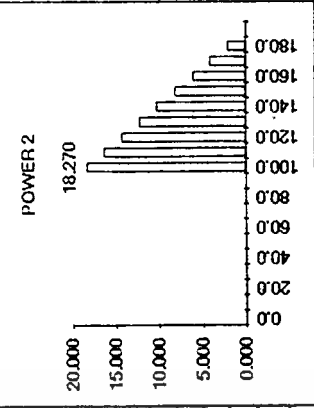
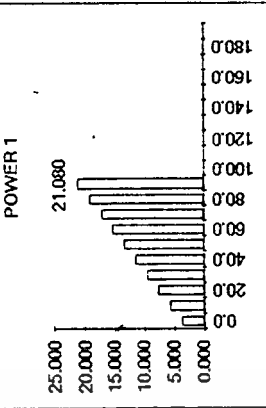
1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
0.0	5.0	31.0	0.120	31.5	0.00	3.720	0.000
10.0	15.0	31.0	0.182	31.5	0.00	5.649	0.000
20.0	25.0	31.0	0.244	31.5	0.00	7.578	0.000
30.0	35.0	31.0	0.307	31.5	0.00	9.507	0.000
40.0	45.0	31.0	0.369	31.5	0.00	11.436	0.000
50.0	55.0	31.0	0.431	31.5	0.00	13.364	0.000
60.0	65.0	31.0	0.493	31.5	0.00	15.293	0.000
70.0	75.0	31.0	0.556	31.5	0.00	17.222	0.000
80.0	85.0	31.0	0.618	31.5	0.00	19.151	0.000
90.0	95.0	31.0	0.680	31.5	0.00	21.080	0.000
100.0	105.0	-32.0	0.000	31.5	0.580	0.000	18.270
110.0	115.0	-32.0	0.000	31.5	0.516	0.000	16.240
120.0	125.0	-32.0	0.000	31.5	0.451	0.000	14.210
130.0	135.0	-32.0	0.000	31.5	0.387	0.000	12.180
140.0	145.0	-32.0	0.000	31.5	0.322	0.000	10.150
150.0	155.0	-32.0	0.000	31.5	0.258	0.000	8.120
160.0	165.0	-32.0	0.000	31.5	0.193	0.000	6.090
170.0	175.0	-32.0	0.000	31.5	0.129	0.000	4.060
180.0	185.0	-32.0	0.000	31.5	0.064	0.000	2.030
190.0	195.0	-32.0	0.000	31.5	0.000	0.000	0.000

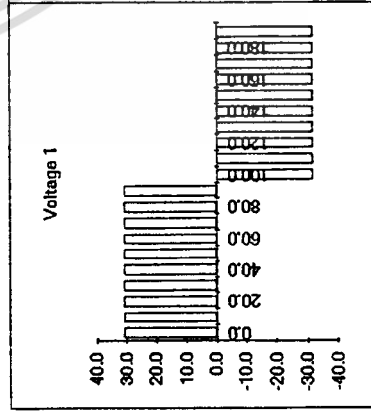
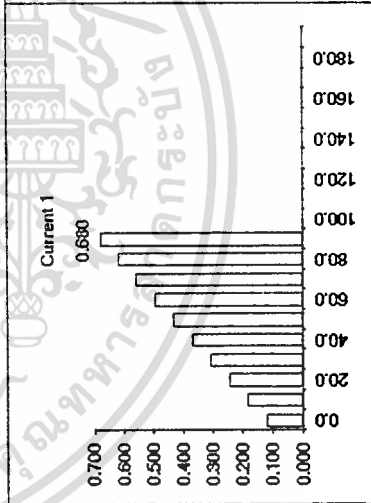
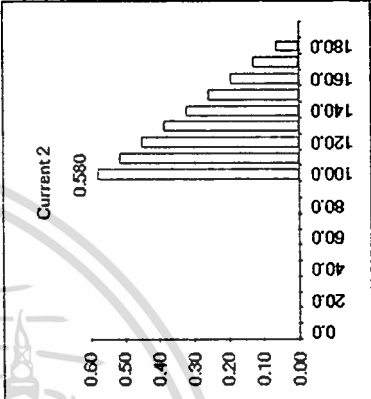
Energy in 1 cycle (Joules)	
0.00124	0.00091
6.20000	4.56750

Energy in 1 sec (WATT)	
0.00124	0.00091
6.20000	4.56750



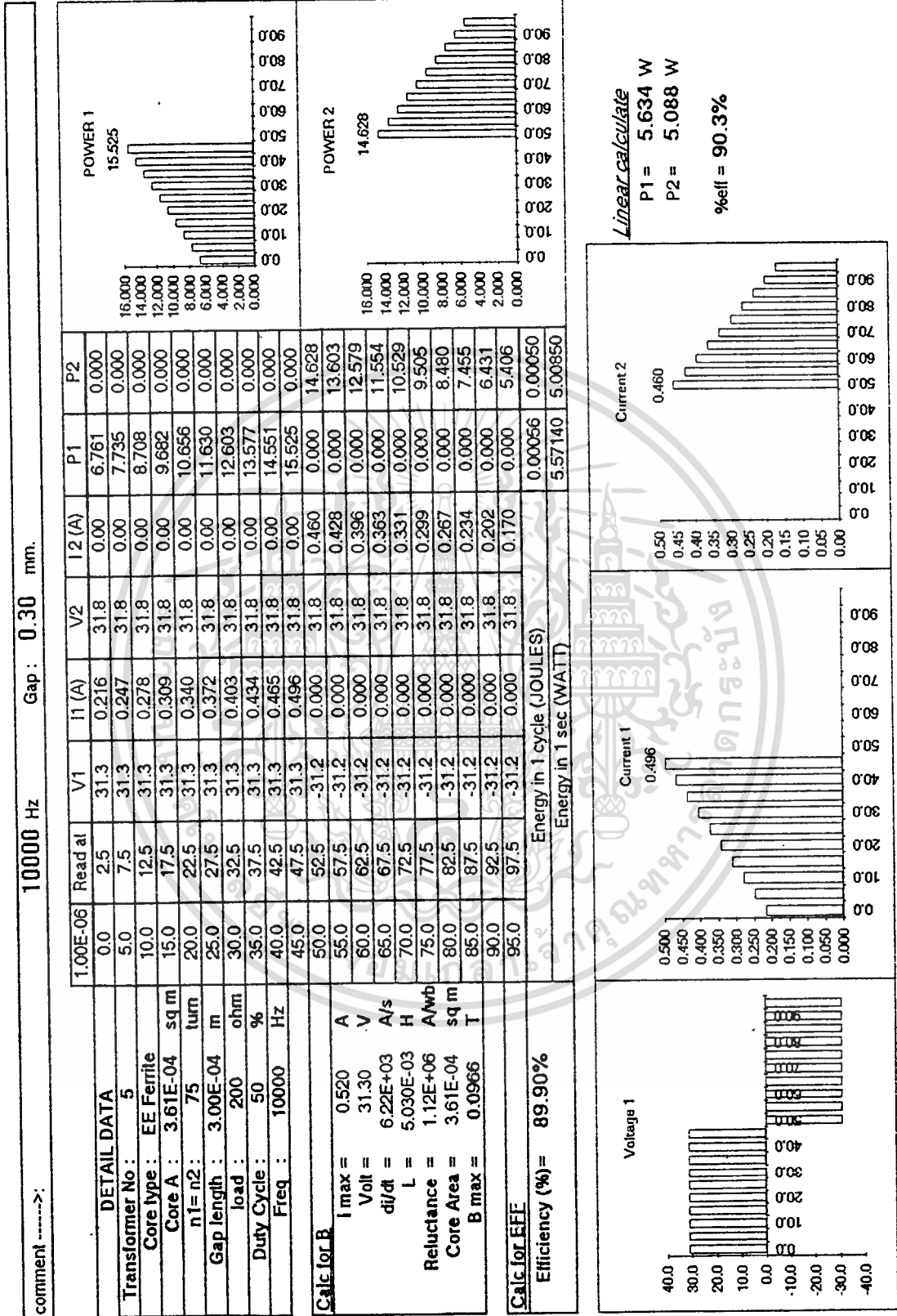
Linear calculate  
 P1 = 6.2 W  
 P2 = 4.489 W  
 %eff = 72.4%



**DETAIL DATA**  
 Transformer No : 5  
 Core type : EE Ferite  
 Core A : 3.61E-04 sq m  
 n1=n2 : 75  
 Gap length : 3.00E-04 m  
 load : 200 ohm  
 Duty Cycle : 50 %  
 Freq : 5000 Hz

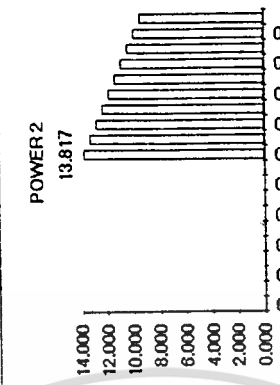
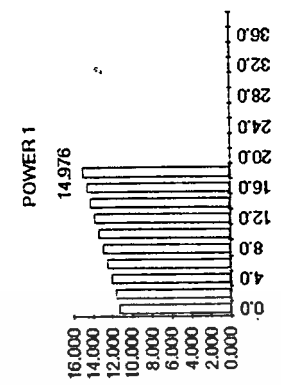
**Calc for B**  
 I max = 0.72 A  
 Volt = 31.00 V  
 di/dt = 6.22E+03 A/s  
 L = 4.982E-03 H  
 Reluctance = 1.13E+06 A/wb  
 Core Area = 3.61E-04 sq m  
 B max = 0.1325 T

**Calc for EFF**  
 Efficiency (%) = 73.67%

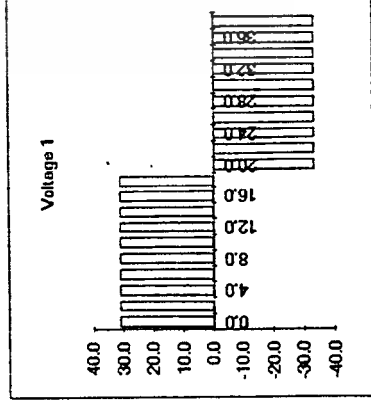
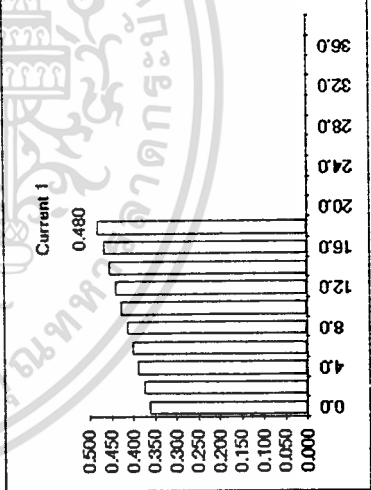
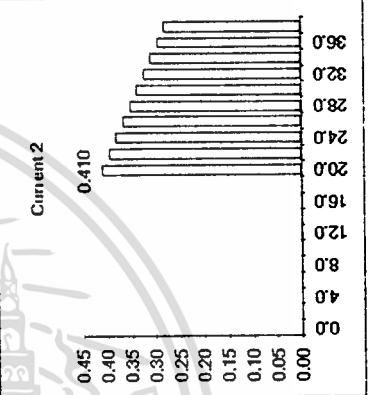


comment -----> **25000 Hz** Gap : **0.30 mm.**

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	1.0	312	0.360	33.7	0.00	11.232	0.000
Core type :	2.0	3.0	312	0.373	33.7	0.00	11.648	0.000
Core A :	4.0	5.0	312	0.387	33.7	0.00	12.064	0.000
n1 = n2 :	6.0	7.0	312	0.400	33.7	0.00	12.480	0.000
Gap length :	8.0	9.0	312	0.413	33.7	0.00	12.896	0.000
load :	10.0	11.0	312	0.427	33.7	0.00	13.312	0.000
Duty Cycle :	12.0	13.0	312	0.440	33.7	0.00	13.728	0.000
Freq :	14.0	15.0	312	0.453	33.7	0.00	14.144	0.000
	16.0	17.0	312	0.467	33.7	0.00	14.560	0.000
	18.0	19.0	312	0.480	33.7	0.00	14.976	0.000
	20.0	21.0	33.5	0.000	33.7	0.410	0.000	13.817
	22.0	23.0	33.5	0.000	33.7	0.396	0.000	13.330
	24.0	25.0	33.5	0.000	33.7	0.381	0.000	12.843
	26.0	27.0	33.5	0.000	33.7	0.367	0.000	12.357
	28.0	29.0	33.5	0.000	33.7	0.352	0.000	11.870
	30.0	31.0	33.5	0.000	33.7	0.338	0.000	11.383
	32.0	33.0	33.5	0.000	33.7	0.323	0.000	10.896
	34.0	35.0	33.5	0.000	33.7	0.309	0.000	10.410
	36.0	37.0	33.5	0.000	33.7	0.294	0.000	9.923
	38.0	39.0	33.5	0.000	33.7	0.280	0.000	9.436
<b>Calc for EFE</b>								
I max =								
Volt =								
di/dt =								
L =								
Reluctance =								
Core Area =								
B max =								
Efficiency (%) =								
							0.00026	0.00023
							6.55200	5.81325

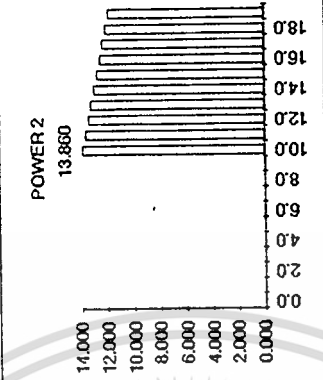
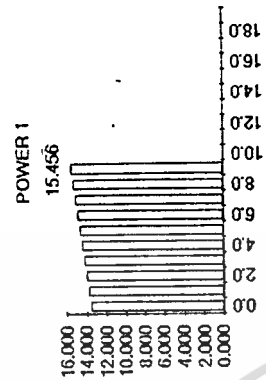


*Linear calculate*  
**P1 = 6.302 W**  
**P2 = 5.729 W**  
**%eff = 90.9%**

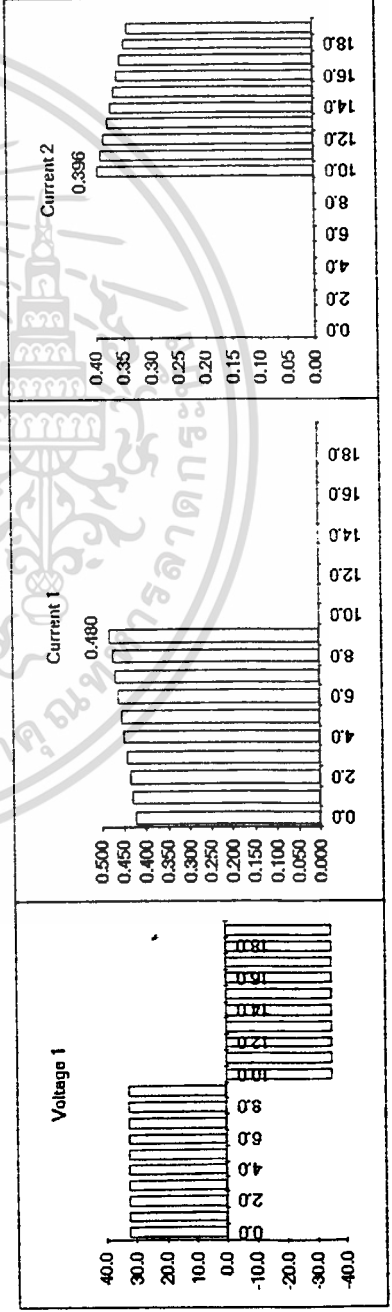


comment ----->: **50000 Hz** Gap: **0.30 mm**.

	1.00E-06	Read at	V1	I1 (A)	V2	I2 (A)	P1	P2
<b>DETAIL DATA</b>								
Transformer No :	0.0	0.5	32.2	0.422	35.0	0.00	13.588	0.000
Core type :	1.0	1.5	32.2	0.428	35.0	0.00	13.796	0.000
Core A :	2.0	2.5	32.2	0.435	35.0	0.00	14.003	0.000
n1= n2 :	3.0	3.5	32.2	0.441	35.0	0.00	14.211	0.000
Gap length :	4.0	4.5	32.2	0.448	35.0	0.00	14.418	0.000
load :	5.0	5.5	32.2	0.454	35.0	0.00	14.626	0.000
Duty Cycle :	6.0	6.5	32.2	0.461	35.0	0.00	14.833	0.000
Freq :	7.0	7.5	32.2	0.467	35.0	0.00	15.041	0.000
	8.0	8.5	32.2	0.474	35.0	0.00	15.248	0.000
	9.0	9.5	32.2	0.480	35.0	0.00	15.456	0.000
<b>Calc for B</b>	10.0	10.5	35.5	0.000	35.0	0.396	0.000	13.860
i max =	11.0	11.5	35.5	0.000	35.0	0.390	0.000	13.642
Volt =	12.0	12.5	35.5	0.000	35.0	0.384	0.000	13.424
di/dt =	13.0	13.5	35.5	0.000	35.0	0.377	0.000	13.207
L =	14.0	14.5	35.5	0.000	35.0	0.371	0.000	12.989
Reluctance =	15.0	15.5	35.5	0.000	35.0	0.365	0.000	12.771
Core Area =	16.0	16.5	35.5	0.000	35.0	0.359	0.000	12.553
B max =	17.0	17.5	35.5	0.000	35.0	0.352	0.000	12.336
	18.0	18.5	35.5	0.000	35.0	0.346	0.000	12.118
	19.0	19.5	35.5	0.000	35.0	0.340	0.000	11.900
<b>Calc for EEE</b>								
Efficiency (%) =							7.26110	6.44000



*Linear calculate*  
 P1 = 7.245 W  
 P2 = 6.475 W  
 %eff = 89.4%



### จากตารางผลการทดลอง

**หมายเหตุ** 1. สำหรับแกนเฟอร์ไรต์ที่ไม่มีช่องอากาศจะได้กราฟของกระแสเป็นลักษณะไม่เชิงเส้น ฉะนั้นจึงใช้วิธี linear calculation ไม่ได้

### สรุปผลและวิเคราะห์

1. เมื่อพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงแต่ละตัวจะเห็นได้ว่า หม้อแปลงที่ใช้แกนเฟอร์ไรต์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ใช้แกนซิลิกอนสตீลหลายๆ เนื่องจากแกนซิลิกอน สตீลมีค่า core loss มาก โดยสังเกตจากอุณหภูมิของแกนเหล็ก

ดังนั้น สำหรับงานที่ใช้ความถี่สูงจึงควรใช้แกนเฟอร์ไรต์ แม้ว่าจะมีราคาแพงกว่าและค่า B อิมิตัวต่ำกว่าแกน ซิลิกอนสตீล ก็ตาม

2. เมื่อพิจารณากราฟของกระแสของหม้อแปลงที่มีและไม่มีช่องอากาศ จะเห็นได้ว่าหม้อแปลงที่มีช่องอากาศจะมีกราฟลักษณะเป็นเชิงเส้น เนื่องจากคุณสมบัติของอากาศซึ่งมีค่าความซึมซาบ ( $\mu$  : permeability) คงที่นั่นเอง ซึ่งการที่กราฟของกระแสเป็นแบบเชิงเส้นจะมีผลดีต่อการใช้งานในทางปฏิบัติ

3. ในกรณีหม้อแปลงที่มีช่องอากาศ ทำการเปรียบเทียบค่า reluctance ที่ได้จากการทดลอง ( $R = N^2/L$ ) และที่ได้จากการปฏิบัติ ( $R = 2g/\mu A$ ) ซึ่งค่า  $\mu$  ของอากาศมีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-7}$

### 3.2.2 การทดลองที่ 2 ผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลง

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ขนาดโหลด , ขนาดช่องอากาศ , ความถี่ ฯลฯ ต่อคุณสมบัติของหม้อแปลง
2. เพื่อศึกษาลักษณะการอิมิตัวของหม้อแปลง

#### วิธีการทดลอง

1. ทำการทดลองในลักษณะเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยใช้หม้อแปลงตัวที่ 1

1.1 ใช้โหลดเป็นหลอดไฟ 3 ดวง ขนาดช่องอากาศ 0.15 mm ความถี่ 5000 Hz ทำการปรับค่าแรงดันป้อนเข้าเท่ากับ 44 , 33 , 22 v ตามลำดับ บันทึกผลลงในตารางที่ 3.1

(สำหรับวิธี linear calculation )

1.2 ใช้โหนดเป็นหลอดไฟ 3 ดวง ขนาดช่องอากาศ 0.15 mm ความถี่ 5000 Hz ทักการปรับค่าแรงดันป้อนเข้าเท่ากับ 47.5 v บันทึกผลลงในตารางที่ 3.2 ทักการทดลองเช่นเดิม โดยเปลี่ยนขนาดช่องอากาศเป็น 0.15 , 0.30 mm ตามลำดับ

1.3 ใช้โหนดเป็นหลอดไฟ 3 ดวง ขนาดช่องอากาศ 0.45 mm ความถี่ 5000 Hz ทักการปรับค่าแรงดันป้อนเข้าเท่ากับ 28 v บันทึกผลลงในตารางที่ 3.3 ทักการทดลองเช่นเดิม โดยเปลี่ยนโหนดเป็น 6 , 9 , 12 หลอด ตามลำดับ

1.4 ใช้โหนดเป็นหลอดไฟ 3 ดวง ขนาดช่องอากาศ 0.15 mm ความถี่ 2500 Hz ทักการปรับค่าแรงดันป้อนเข้าเท่ากับ 22.5 v บันทึกผลลงในตารางที่ 3.4 ทักการทดลองเช่นเดิม โดยเปลี่ยนความถี่เป็น 5000 , 10000 Hz ตามลำดับ

1.5 ใช้โหนดเป็นหลอดไฟ 3 ดวง ขนาดช่องอากาศ 0.15 mm ความถี่ 1250 Hz ค่อยๆปรับแรงดันป้อนเข้าจนกระทั่งกราฟของกระแสทางด้านปฐมภูมิเริ่มไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งก็คือ จุดที่หม้อแปลงอิมตัวนั่นเอง บันทึกผลต่างๆลงในตารางที่ 3.5 ทักการทดลองเช่นเดิมโดย เปลี่ยนความถี่เป็น 25000 , 5000 , 10000 Hz ตามลำดับ

1.6 ใช้โหนดเป็นหลอดไฟ 3 ดวง ขนาดช่องอากาศ 0.15 mm ความถี่ 5000 Hz ค่อยๆปรับแรงดันป้อนเข้าจนกระทั่งกราฟของกระแสทางด้านปฐมภูมิเริ่มไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งก็คือ จุดที่หม้อแปลงอิมตัวนั่นเอง บันทึกผลต่างๆลงในตารางที่ 3.6 ทักการทดลองเช่นเดิมโดย เปลี่ยนโหนดหลอดไฟเป็น 3 , 6 , 9 , 12 ดวงตามลำดับ

2. ทักการทดลองในลักษณะเดียวกับข้อที่ 1.5 โดยใช้หม้อแปลงตัวที่ 7 (เปลี่ยนพื้นที่หน้าตัด A ) โดยบันทึกผลต่าง ๆ ลงในตารางที่ 3.7

3. ทักการทดลองในลักษณะเดียวกับข้อที่ 2 โดยใช้หม้อแปลงตัวที่ 4 (เปลี่ยนจำนวนรอบ) โดย บันทึกผลต่าง ๆ ลงในตารางที่ 3.8

4. จากค่าที่บันทึกในตาราง นำมาคำนวณค่าต่างๆดังนี้

$$L = V / (di/dt)$$

$$R = N^2 / L$$

$$B = NI / AR$$

$$\% \text{eff} = (P_2 / P_1) * 100$$

P1 และ P2 หาได้จากวิธี Linear Calculation ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

และจากสมการที่ 1.8 จะได้ว่า  $P_1 \text{ calc} = 1/2 \times B^2 / \mu \times A \times 2g \times f$  watt

### ผลการทดลอง

TIME UNIT : 1E-06

Transformer no : 1-

Corearea = 2E-04

N1 = N2 = 45

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	B max NI/AR Tesla	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		P2 CALC									
			left	right	left	right	left	right	left	right	on time	on time	Watt	Watt						
3	0.15	5000	44.0	42.0	0.28	2.56	42.0	42.0	2.25	0.00	100	30.522	77.87%	1.886	1.074E+6					
3	0.15	5000	33.0	32.0	0.32	1.88	32.0	32.0	1.75	0.00	100	20.086	78.61%	2.083	9.720E+5					
3	0.15	5000	22.0	21.5	0.32	1.38	21.0	21.0	1.30	0.25	100	10.499	88.24%	2.052	9.869E+5					

ตารางที่ 3.1

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	B max NI/AR Tesla	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		P2 CALC									
			left	right	left	right	left	right	left	right	on time	on time	Watt	Watt						
3	0.45	5000	47.5	45.5	0.40	5.60	72.0	72.0	5.00	0.00	61	98.507	79.20%	0.894	2.265E+6					
3	0.3	5000	47.5	45.5	0.24	4.24	58.0	58.0	3.70	0.00	92	63.624	95.38%	1.163	1.742E+6					
3	0.15	5000	47.5	45.5	0.16	3.04	47.0	47.0	2.75	0.00	92	31.546	80.43%	1.615	1.254E+6					

ตารางที่ 3.2

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	B max NI/AR Tesla	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		P2 CALC									
			left	right	left	right	left	right	left	right	on time	on time	Watt	Watt						
3	0.45	5000	28.0	26.5	0.16	3.20	35.0	35.0	2.85	0.00	70	32.320	76.90%	0.896	2.259E+6					
6	0.45	5000	28.0	26.5	0.48	3.52	26.0	26.0	3.20	0.05	100	39.108	78.07%	0.896	2.259E+6					
9	0.45	5000	28.0	26.5	1.36	4.36	25.5	25.5	4.10	1.00	100	61.611	83.84%	0.908	2.229E+6					
12	0.45	5000	28.0	26.5	2.24	5.44	25.0	25.0	5.10	2.00	100	84.299	85.14%	0.852	2.378E+6					

ตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME UNIT : IE-06

Transformer no : 1  
 Corearea = 2E-04  
 N1 = N2 = 45

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla										
			left	right	left	right	left	right	left	right		on time									
3	0.15	2500	22.5	21.0	0.00	2.56	27.0	27.0	2.50	0.00	155	0.430	13.760	13.078	12.388	95.04%	1.699	1.192E+6			
3	0.15	5000	22.5	22.0	0.28	1.48	22.0	22.0	1.42	0.20	100	0.271	9.765	8.910	9.860	91.24%	1.854	1.092E+6			
3	0.15	10000	22.5	22.3	0.56	1.20	21.0	21.0	1.08	0.50	50	0.207	9.838	8.295	11.523	84.31%	1.748	1.158E+6			

ตารางที่ 34

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla										
			left	right	left	right	left	right	left	right		on time									
3	0.15	1250	12.0	10.8	0.00	2.56	17.0	17.0	2.50	0.00	250	0.450	7.168	6.641	6.807	92.64%	1.781	1.137E+6			
3	0.15	2500	22.5	21.0	0.00	2.56	27.0	27.0	2.50	0.00	155	0.430	13.760	13.078	12.388	95.04%	1.699	1.192E+6			
3	0.15	5000	46.0	44.0	0.12	2.80	43.0	43.0	2.50	0.00	100	0.464	32.627	26.875	28.943	82.37%	1.679	1.206E+6			
3	0.15	10000	72.0	70.0	0.96	2.88	68.0	68.0	2.50	0.50	50	0.526	68.000	51.000	74.257	75.00%	1.849	1.095E+6			

ตารางที่ 35

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla										
			left	right	left	right	left	right	left	right		on time									
3	0.15	5000	46.0	44.0	0.12	2.80	43.0	43.0	2.50	0.00	100	0.464	32.627	26.875	28.943	82.37%	1.679	1.206E+6			
6	0.15	5000	29.5	28.0	1.12	3.04	27.0	27.0	2.70	1.00	100	0.450	29.780	24.975	27.133	83.87%	1.497	1.352E+6			
9	0.15	5000	20.0	19.0	1.76	3.20	17.5	17.5	3.00	1.65	100	0.428	24.120	20.344	24.587	84.34%	1.354	1.495E+6			
12	0.15	5000	13.0	12.0	1.92	3.36	10.5	10.5	3.05	2.20	100	0.288	16.440	13.781	11.139	83.83%	0.868	2.333E+6			

ตารางที่ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transformer no : 7  
 Corearea = 3.52E-04  
 N1 = N2 = 45  
 TIME UNIT : 1E-06

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla	P1 Watt							
			left	right	left	right	left	right	left	right			on time						
3	0.15	1250	21.0	19.5	0.00	2.64	25.0	25.0	2.70	0.00	300	0.511	13.200	12.656	13.728	95.88%	3.068	6.600E+5	
3	0.15	2500	38.0	37.0	0.00	2.48	35.5	35.5	2.40	0.00	200	0.473	23.147	21.300	23.540	92.02%	3.024	6.696E+5	
3	0.15	5000	65.5	64.0	0.40	2.72	59.5	59.5	2.55	0.35	100	0.479	50.360	43.138	48.234	85.66%	2.791	7.256E+5	
3	0.15	10000	87.0	86.0	1.04	2.60	80.5	80.5	2.33	1.00	50	0.455	78.650	66.916	86.978	85.08%	2.772	7.301E+5	

ตารางที่ 37

Transformer no : 4  
 Corearea = 2.25E-04  
 N1 = N2 = 90  
 TIME UNIT : 1E-06

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla	P1 Watt							
			left	right	left	right	left	right	left	right			on time						
3	0.15	1250	16.0	16.0	0.36	1.24	14.3	16.0	1.11	0.32	400	0.445	6.400	5.350	6.656	83.59%	7.273	1.114E+6	
3	0.15	2500	24.5	24.0	0.56	1.24	21.0	22.5	1.05	0.50	200	0.437	10.898	8.394	12.802	77.02%	7.132	1.136E+6	
3	0.15	5000	31.0	30.2	0.77	1.24	27.3	28.0	1.05	0.68	100	0.397	15.345	11.913	21.155	77.63%	6.483	1.249E+6	
3	0.15	10000	38.0	37.2	0.96	1.28	34.0	34.2	1.15	0.80	50	0.371	21.045	16.621	37.023	78.98%	5.875	1.379E+6	

ตารางที่ 38

### สรุปผลและวิเคราะห์

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงแรงดันปฐมภูมิเพียงอย่างเดียวในลักษณะที่ลดลงมีผลทำให้ค่า  $di/dt$  มีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตามสมการ  $v = L di/dt$

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มขนาดของช่องอากาศ มีผลทำให้  $di/dt$  มีค่ามากขึ้น  $i_1$  เริ่มต้น และ  $i_4$  สิ้นสุด มีค่ามากขึ้น ค่า  $P_1$  และ  $P_2$  มีค่ามากขึ้น

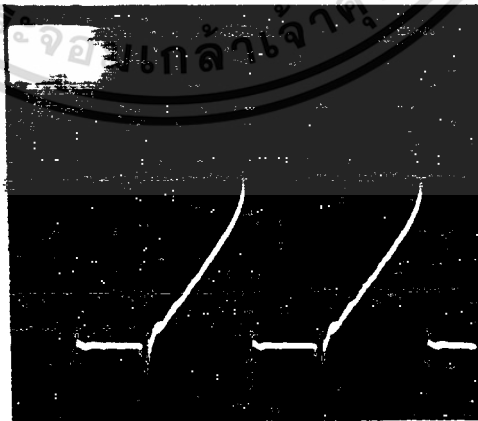
จากตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มขนาดไหลตมากขึ้น (เพิ่มหลอดไฟ) ค่า  $di/dt$  ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่กระแสที่จุดต่างๆมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้  $B$  มีค่ามากขึ้นด้วย และ  $P_1, P_2$  มีค่ามากขึ้นด้วย

จากตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความถี่ไม่มีผลต่อค่า  $di/dt$  แต่กราฟของกระแสจะลอยขึ้น

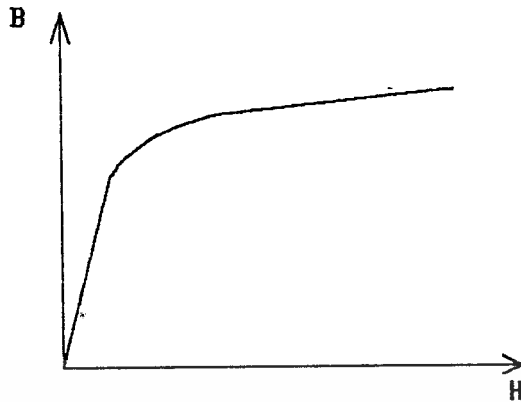
จุดที่มือแปลงอิมิตัว ดูได้จากจุดที่กราฟของกระแส  $i_1$  เริ่มเพิ่มขึ้นไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อค่อยๆปรับแรงดันปฐมภูมิเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากกราฟของ  $B-H$  curve โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อแกนเหล็กอิมิตัว จะมีค่า  $\mu$  ลดลงอย่างรวดเร็ว ( $B = \mu H$ )

$$\text{จาก } R = l / \mu A$$

ค่า  $\mu$  ลดลงอย่างรวดเร็วมีผลทำให้ค่า Reluctance เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้  $di/dt$  เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย โดยพิจารณาจาก  $di/dt = V/L$



รูปที่ 3.4 รูปสัญญาณของกระแสที่จุดอิมิตัว



รูปที่ 3.5 B - H curve

จากตารางที่ 3.5 จะเห็นได้ว่า แรงดันอินพุตที่จุดอิ่มตัวของหม้อแปลงจะแปรตามความถี่ถ้า กราฟของกระแสเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (คือกระแส  $I_2$  ตกกลางเป็นศูนย์ ที่เวลาหมด 1 คาบเวลาพอดี หรือ ตกก่อน)

จากตารางที่ 3.6 ซึ่งเป็นผลของค่าต่าง ๆ ที่จุดอิ่มตัวของหม้อแปลงเมื่อเปลี่ยนแปลง โหลด จะเห็นได้ว่า ค่า  $B_{max}$  แตกต่างกันทุกค่าแม้ว่าจะทำการทดลองที่จุดที่หม้อแปลงอิ่มตัว เหมือนกัน แสดงว่าเราไม่สามารถหาค่า  $B_{max}$  จากสมการ  $B = NI/AR$  ได้ในกรณีที่ กราฟของกระแสเป็นแบบต่อเนื่อง เพราะว่าค่า  $I_1$  ในสมการมาจากค่า  $I_1$  สิ้นสุด และมีผลของ  $B$  จากกระแสตรงด้วย

จากตารางที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขนาดของแกนเหล็ก เป็นผลทำให้หม้อแปลง สามารถจ่ายพลังงานได้มากขึ้น

จากตารางที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนรอบขดลวดใช้ว่าจะทำให้หม้อแปลงสามารถจ่ายพลังงานออกมาได้มากขึ้น แต่กลับได้น้อยลงเนื่องจากจำนวนรอบมีผลต่อค่าเหนี่ยวนของ ขดลวดซึ่งกระทบถึงค่า time constant ( $R/L$ ) ทางด้านพฤติกรรมของหม้อแปลงที่หักกราฟกระแส  $I_2$  ตกกลางซ้ำลง

### 3.2.3 การทดลองที่ 3 การหาพลังงานสูงสุดที่หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์สามารถจ่ายได้ วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาพลังงานสูงสุดที่หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์สามารถจ่ายได้ที่ความถี่หนึ่งๆ
2. เพื่อพิสูจน์ว่าหม้อแปลงที่มีช่องอากาศ เก็บสะสมพลังงานอยู่ในช่องอากาศ ตรงตามทฤษฎี หรือไม่

## วิธีการทดลอง

### 1. ทำการทดลองโดยใช้หม้อแปลงตัวที่ 4

1.1 เลือกต่อโหลดโดยเริ่มจาก ความต้านทาน 330 โอห์ม ถ้าทำการทดลองแล้วปรากฏว่า กราฟของกระแส I2 มีความชันมากเกินไป จึงเปลี่ยนไปใช้โหลดหลอดไฟ 1 ดวง หรือ 2 ดวง หรือ 3 ดวง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำกว่า

1.2 ตั้งช่องอากาศของหม้อแปลงเท่ากับ 0.15 mm

1.3 ปรับความถี่ของสัญญาณขับมอสเฟตที่ 2500 Hz duty cycle เท่ากับ 50%

1.4 ค่อยๆเพิ่มแรงดันด้านปฐมภูมิ ในขณะที่ปรับ duty cycle อยู่เสมอเพื่อให้กระแส I1 เริ่มต้น และ I2 ลีนสุดเป็นศูนย์ จนกระทั่งหม้อแปลงอิมตัว แต่ต้องระวังจากยอดถึงยอด และ ค่ากระแส I1 เกินกว่าค่าพิกัดของมอสเฟต และไม่ควรปรับ duty cycle มากเกินกว่า 80 % และ เมื่อที่เห็นหม้อแปลงอิมตัวที่เสือนไขดังกล่าว ไม่ได้ ให้เปลี่ยนโหลด ตามที่กล่าวไว้ในข้อ 1.1

1.5 บันทึกผลจาก oscilloscope และคำนวณค่าต่างๆในตารางที่ 3.9 ซึ่งที่ขึ้นลักษณะเดียวกับข้อ 1.1

1.6 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อที่ 1.3 ถึง 1.5 ใหม่ โดยเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณขับมอสเฟตเป็น 5000 และ 6666.7 Hz ตามลำดับ

1.7 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อที่ 1.3 ถึง 1.6 ใหม่ โดยเปลี่ยนขนาดช่องอากาศเป็น 0.30 mm

2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 1 โดยเปลี่ยนมาใช้หม้อแปลงตัวที่ 1, 5 และ 7 ตามลำดับ โดยบันทึกผลและคำนวณค่าต่างๆลงในตารางที่ 3.10, 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 1 โดยใช้หม้อแปลงตัวที่ 6 ที่ขนาดช่องอากาศเท่ากับ 0.15 mm เลือกใช้ความถี่ของสัญญาณขับมอสเฟตเท่ากับ 2500, 5000, 10000, 14285, 20000 Hz และปรับขนาดช่องอากาศเป็น 0.3 mm ใช้ความถี่ของสัญญาณขับมอสเฟตเป็น 25000, 5000 และ 10000 Hz ทำการบันทึกผลการทดลองและคำนวณค่าต่างๆลงในตารางที่ 3.13

## ผลการทดลอง

จากการทดสอบหม้อแปลงหาค่าพลังงานสูงสุดที่หม้อแปลงสามารถจ่ายได้มีค่ากัดังต่างๆ ดังตารางต่อไปนี้

TIME UNIT : 1E-06

Transformer no : 4  
 Corearea = 2.25E-04  
 N1 = N2 = 90

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	B max NI/AR Tesla	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t		
			V1		I1		V2		I2		P2		P1								B max	
			left	right	left	right	left	right	left	right	left	right	left	right							left	right
1	0.15	2500	33.5	33.5	0.00	1.24	54.0	54.0	1.20	0.00	150	12.150	12.981	0.414	93.60%	6.754	1.199E+6					
330	0.15	5000	72.5	70.7	0.00	1.20	86.0	86.0	1.08	0.00	90	20.898	23.529	0.389	88.82%	6.563	1.234E+6					
330	0.15	6666.7	130.0	128.0	0.00	1.28	101.0	101.0	1.18	0.00	80	31.781	38.428	0.446	82.70%	7.055	1.148E+6					
330	0.3	2500	35.5	34.5	0.00	2.12	82.0	82.0	1.95	0.00	115	22.986	26.308	0.493	87.37%	4.705	1.722E+6					
330	0.3	5000	76.0	74.5	0.00	2.10	131.0	131.0	1.85	0.00	72	43.623	50.400	0.476	86.55%	4.587	1.766E+6					
330	0.3	6666.7	108.0	108.0	0.00	2.00	125.0	125.0	1.75	0.00	69	50.312	58.320	0.432	86.27%	4.374	1.852E+6					

ตารางที่ 3.9

Transformer no : 1  
 Corearea = 2.25E-04  
 N1 = N2 = 45

TIME UNIT : 1E-06

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	B max NI/AR Tesla	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t		
			V1		I1		V2		I2		P2		P1								B max	
			left	right	left	right	left	right	left	right	left	right	left	right							left	right
2	0.015	2500	19.0	15.0	0.00	3.20	39.0	40.0	2.50	0.00	120	14.750	18.293	0.470	80.63%	1.488	1.361E+6					
1	0.15	5000	33.5	30.0	0.00	3.36	104.0	104.0	2.40	0.00	44	27.456	40.841	0.489	67.23%	1.474	1.374E+6					
1	0.15	6667	47.0	43.0	0.00	3.52	58.0	58.0	2.50	0.00	40	19.333	27.219	0.489	33.79%	1.406	1.440E+6					
2	0.3	2500	18.0	14.0	0.00	4.80	54.0	54.0	3.80	0.00	90	23.085	28.520	0.490	80.94%	1.033	1.960E+6					
2	0.3	5000	36.0	32.0	0.00	4.80	84.0	84.0	3.40	0.00	56	39.984	57.600	0.484	69.42%	1.020	1.985E+6					
2	0.3	6667	52.0	44.0	0.00	4.80	96.0	96.0	3.00	0.00	45	43.200	78.400	0.498	55.10%	1.050	1.929E+6					

ตารางที่ 3.10

TIME UNIT : 1E-06

Transformer no : 5  
 Corearea = 3.52E-04  
 N1 = N2 = 75

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla										
			left	right	left	right	left	right	left	right	left	right	on time								
330	0.15	2500	45.0	42.0	0.00	1.60	78.0	80.0	1.35	0.00	140	18.585	22.360	19.271	83.12%	7.069	7.958E+5				
330	0.15	5000	112.0	108.0	0.00	1.60	114.0	116.0	1.30	0.00	96	35.776	45.483	39.433	78.66%	7.150	7.867E+5				
330	0.15	6667	200.0	195.0	0.00	1.52	126.0	128.0	1.28	0.00	88	47.559	61.779	60.237	76.98%	8.056	6.983E+5				
330	0.3	2500	46.0	42.0	0.00	3.04	112.0	114.0	2.50	0.00	104	36.617	48.741	51.109	75.12%	4.284	1.313E+6				
330	0.3	5000	111.0	106.0	0.00	2.84	157.0	158.0	2.50	0.00	80	78.667	91.732	102.156	85.76%	4.585	1.227E+6				
330	0.3	6667	162.0	154.0	0.00	2.80	187.5	187.5	2.25	0.00	66.4	93.375	122.241	140.185	76.39%	4.717	1.192E+6				

ตารางที่ 3.11

TIME UNIT : 1E-06

Transformer no : 7  
 Corearea = 3.52E-04  
 N1 = N2 = 45

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						P2 Watt	P1 Watt	P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		B max NI/AR Tesla										
			left	right	left	right	left	right	left	right	left	right	on time								
330	0.15	2500	25.0	23.5	0.00	2.34	80.5	80.5	2.40	0.00	90	21.735	21.762	23.650	99.88%	3.213	6.303E+5				
330	0.15	5000	54.5	52.5	0.00	2.40	108.0	108.0	2.30	0.00	65	40.365	43.065	43.660	93.73%	3.009	6.729E+5				
330	0.15	6666.7	82.0	81.0	0.00	2.40	122.0	122.0	2.30	0.00	56	52.379	61.163	65.497	85.64%	3.192	6.344E+5				
330	0.3	2500	21.5	19.5	0.00	3.45	92.0	92.0	3.20	0.00	68	25.024	28.874	38.770	86.67%	1.973	1.026E+6				
330	0.3	5000	54.0	51.0	0.00	4.48	152.0	152.0	4.00	0.00	50	76.000	87.360	103.810	87.00%	1.758	1.152E+6				
330	0.3	6666.7	74.0	71.0	0.00	4.48	175.0	175.0	4.00	0.00	44	102.667	113.971	131.815	90.08%	1.715	1.180E+6				

ตารางที่ 3.12

TIME UNIT : IE-06

Transformer no : 6  
 Corearea = 1.22E-04  
 N1 = N2 = 35

LOAD	GAP mm	FREQ Hz	Primary						Secondary						B max NI/AR Tesla	P1 Watt	P2 Watt	P2 CALC Watt	% EFF	L mH	RELUCT Wb/t
			V1		I1		V2		I2		on time										
			left	right	left	right	left	right	left	right	left	right									
330	0.15	2500	5.3	4.0	0.00	2.64	45.3	46.0	2.20	0.00	38	0.394	5.296	4.783	5.656	90.31%	0.638	1.921E+6			
330	0.15	5000	12.2	10.0	0.00	3.36	64.0	65.0	2.85	0.00	28.5	0.446	15.462	13.131	14.466	84.92%	0.567	2.162E+6			
330	0.15	10000	23.0	22.0	0.00	3.45	86.0	86.0	2.80	0.00	20	0.422	30.820	24.080	25.868	78.13%	0.522	2.348E+6			
330	0.15	14285	33.7	32.0	0.00	3.52	110.0	112.0	2.90	0.00	14.4	0.428	45.527	33.207	38.051	72.94%	0.519	2.361E+6			
330	0.15	20000	48.0	46.5	0.00	3.40	117.0	118.0	2.75	0.00	13.2	0.407	58.806	42.713	48.277	72.63%	0.511	2.393E+6			
x3?	0.3	2500	7.0	4.4	0.00	4.48	25.0	25.0	3.80	0.00	72	0.438	9.674	8.550	13.953	88.38%	0.417	2.933E+6			
x2?	0.3	5000	12.0	9.2	0.00	4.88	51.0	51.0	4.40	0.00	32	0.417	20.769	17.952	25.319	86.44%	0.365	3.357E+6			
x2?	0.3	10000	24.2	22.3	0.00	4.96	82.0	82.0	4.00	0.00	20	0.436	45.500	32.800	55.242	72.09%	0.375	3.267E+6			

ตารางที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลและวิเคราะห์

1. ในการทดลองที่ 3 ทำที่จุดที่หม้อแปลงอิมิตัวและกราฟกระแสเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ฉะนั้นเราจึงสามารถหาค่า  $B_{max}$  ได้

2. จากผลการทดลองตั้งแต่ตารางที่ 3.9 ถึง 3.13 ค่า  $P_2 \text{ calc}$  ใกล้เคียงกับค่า  $P_1$  ซึ่งได้ จากผลการทดลอง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าพลังงานทั้งหมดเก็บสะสมอยู่ในช่องว่างอากาศ โดยมีค่าเท่ากับ  $(B^2/\mu) * A * g$  จุดต่อหนึ่งลูกคลื่น ซึ่งตรงตามทฤษฎีพื้นฐานของวงจรแม่เหล็ก แต่ที่ขนาดของช่องว่างอากาศมากขึ้น สังเกตได้ว่าค่า  $P_2 \text{ calc}$  กับ  $P_1$  ไม่ค่อยตรงกันเท่าไรนัก

3. จากผลการทดลองสรุปได้ว่าหม้อแปลงสามารถส่งถ่ายพลังงานมากที่สุดเมื่อ

- หม้อแปลงทำงานที่จุดอิมิตัว

- หม้อแปลงสามารถคายพลังงานออกได้จนหมด คือกระแสตกลงเป็นศูนย์ และกำลัง

ที่หม้อแปลงสามารถจ่ายได้มากที่สุดมีค่าประมาณเท่ากับ

$$P_{max} = \left( \frac{B_{max}^2}{\mu} Agf \right) - loss \quad \text{วัตต์}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าที่แกนเหล็กขนาดหนึ่งตัวแปรที่มีผลต่อค่ากำลังมากที่สุดมีเพียงสองตัวคือ ความถี่ และ ขนาดช่องอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากความสูญเสียในแกนเหล็กส่วนที่แปรผันได้จะแปรตามความถี่ด้วยนั่นเอง

4. ในการทดสอบหม้อแปลงไม่สามารถเพิ่มขนาดของช่องว่างอากาศขึ้นไปได้อีกด้วย เหตุที่ว่าเมื่อเพิ่มช่องอากาศแล้วจะต้องมีกระแสจ่ายให้กับหม้อแปลงมากขึ้นจึงจะถึงจุดอิมิตัว และรูปสัญญาณจะถูกรบกวนมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ในการทดลองเสียหายได้

$$5. \text{ จากสมการ } B_{max} = \frac{NI}{AR} \text{ ซึ่ง } R = \frac{N^2}{L} = \frac{N^2}{V} \cdot \frac{dt}{di}$$

เมื่อ  $i_1$  เริ่มต้น = 0 ดังนั้น  $I = i_1$  สิ้นสุด

เมื่อ  $t_{on}$  คือช่วงเวลา on-time ของมอสเฟตจะได้ว่า

$$B_{max} = (Ni_1 \text{ สิ้นสุด} / A) \times Vt_{on} / N^2i_1 \text{ สิ้นสุด}$$

$$B_{max} = \frac{Vt_{on}}{AN}$$

## บทที่ 4

### ขอบเขตการใช้งานของชุดทดลอง

ขอบเขตการใช้งานของชุดทดลองชุดนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร ได้แก่ พาวเวอร์มอสเฟต และ ไอซีกำเนิดสัญญาณขับมอสเฟต รวมถึงหม้อแปลงที่นำมาใช้ในการทดสอบต้องมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ระดับแรงดันสูงสุด

ระดับแรงดันตกคร่อมพาวเวอร์มอสเฟตสูงสุดจะต้องไม่สูงเกินกว่า 500 โวลต์ โดยวัดจากยอดถึงยอดซึ่งรวมถึงแรงดันสไปค์ด้วย

#### 4.2 ความถี่สูงสุด-ต่ำสุด

ความถี่ของสัญญาณขับมอสเฟตของชุดทดลองนี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 500 Hz ถึง 120 kHz โดยสามารถปรับช่วงความถี่ได้เป็นช่วง ๆ โดยการเปลี่ยนค่า  $C_t$  และ  $R_t$  ที่ต่ออยู่กับขาที่ 5 และ 6 ของไอซี TL 494 CN แต่ทั้งนี้เมื่อปรับให้ค่าความถี่มีค่าสูงมากจนเกินไปจะไม่สามารถอ่านค่าสัญญาณของกระแสได้(ประมาณมากกว่า 66 kHz) เนื่องจากจะมีสัญญาณรบกวนสูงมาก

#### 4.3 ค่ากระแสสูงสุด

ค่ากระแสสูงสุดที่สามารถยอมให้ไหลผ่านได้จะต้องไม่เกินค่ากระแสสูงสุดของพิกัดมอสเฟต ในกรณี IRF 450 P จะได้ไม่เกิน 12 แอมแปร์ และค่ากระแสเฉลี่ยต้องไม่มากกว่าค่ากระแสที่ทนได้ของชุดลดหม้อแปลง

**ภาคผนวก ก.**  
**ตารางคุณสมบัติของหม้อแปลง**

หม้อแปลงที่นำมาใช้ในการทดลองแต่ละตัวมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

หม้อแปลง ตัวที่	n1=n2 (รอบ)	ชนิดของ แกน	พื้นที่หน้า ตัด(m <sup>2</sup> )	R1 (Ω)	R2 (Ω)
1	45	EI Ferrite	2.250E-4	0.1353	0.1546
2	36	Si steel	3.629E-4	0.2127	0.2025
3	38	Si steel	1.613E-4	0.0927	0.1093
4	90	EI Ferrite	2.250E-4	0.3365	0.2911
5	75	EE Ferrite	3.520E-4	0.2600	0.2883
6	35	EI Ferrite	2.250E-4	0.0903	0.1061
7	45	EE Ferrite	3.520E-4	0.1643	0.1707

## ภาคผนวก ข.

### วัสดุสารแม่เหล็ก(Magnetic Material)

#### เฟอร์โรแมกเนติกส์ ( Ferromagnetic )

การเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติ ferromagnetic มีได้กว้าง นอกจากเหล็กแล้วยังมี นิกเกิล โคบอลท์ รวมทั้งสารประกอบของ แมงกานีส ในความเป็นจริงเป็นไปได้ที่จะใช้เหล็ก( iron ) บริสุทธิ์ แม้ว่าจะมีการใช้ในห้องทดลองแต่เหล็กที่มีสิ่งเจือปนเพียงเล็กน้อยจะมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ ( relative permeability ) ประมาณ 50000 และมี hysteresis loss ต่ำมาก ถึงแม้ว่าจะเป็นไปได้ที่จะผลิตเหล็กที่มีความบริสุทธิ์สูงแต่เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวมันต์ทำให้เกิดข้อเสียดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์เพราะกระแสไหลวน หรือ eddy current

สิ่งเจือปนในเหล็กโดยทั่วไป คือคาร์บอน ,แมงกานีส ,ซิลิกอน ,ทองแดง ,กำมะถัน ,ฟอสฟอรัส และออกซิเจน และผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากสิ่งเจือปนเหล่านี้คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ( permeability ) จะลดลงและค่า hysteresis loss จะเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะถ้าสารเจือปนเหล่านั้นเป็น กำมะถัน ฟอสฟอรัส และ ออกซิเจน จึงต้องมีการลดสารเจือปนเหล่านี้ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่การที่มีซิลิกอนเจือปนอยู่เล็กน้อยประมาณ 5% จะเป็นผลดี และเมื่อมีแมงกานีสเจือปนอยู่ประมาณ 12% เหล็กนั้นจะเปลี่ยนสภาพเป็น non-magnetic steel เพื่อให้สิ่งเจือปนที่มีอยู่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบและเพื่อให้เหล็กนั้นมีคุณสมบัติพิเศษ จึงมีการผสมสารอื่นๆลงไปในเนื้อเหล็ก สารผสมที่สำคัญได้แก่ นิกเกิล ,โคบอลท์ ,อลูมิเนียม ,ซิลิกอน ,ทองแดง ,โครเมียม ,ทังสเตน ,โมลิบดีนัมและวาเนเดียม

คุณสมบัติทางแม่เหล็กของสาร ferromagnetic ไม่ได้ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีเพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตทางกลด้วย ในทางปฏิบัติเราแบ่งสารแม่เหล็กออกเป็น 2 กลุ่มคือสารแม่เหล็กอ่อนและสารแม่เหล็กถาวร

สารแม่เหล็กอ่อนได้แก่ เหล็กอ่อน ,mild steel ,silicon steel ,โลหะผสมnickle iron soft ferrite ในการใช้งานกับไฟกระแสตรงส่วนใหญ่จะใช้ mild steel แต่เมื่อต้องการสารที่มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสูงกว่าจะใช้เหล็กอ่อน สำหรับงานที่สนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงที่ความถี่ที่สูงส่วนใหญ่จะใช้ silicon steel และใช้ nickle iron สำหรับงานที่เฉพาะนอกเหนือออกไป ขณะที่ใช้ soft ferrite สำหรับงานความถี่สูงเนื่องจากการที่ตัวมันมีค่าความต้านทานสูง

สารแม่เหล็กถาวรแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ เหล็กกล้า ,Alnicos ,hard ferrite และโลหะผสม

ของ rare earth cobalt ในปัจจุบันไม่นิยมใช้เหล็กกล้าเพราะมันมีคุณสมบัติที่แย่ ในช่วง 20 ปีที่  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านมาสารเฟอร์ไรท์ค่อยๆเข้ามาแทนที่ Alnicos เนื่องจากราคาถูกกว่า ส่วนโลหะผสม rare earth cobalt ซึ่งเพิ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาเมื่อไม่นานมานี้และถูกนำมาใช้งานมากขึ้นเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักและปริมาณถ้าไม่คำนึงถึงราคามากนัก

### ซิลิกอนสตีล ( SILICON STEEL )

เพื่อลดการสูญเสียจาก eddy current จึงมีการทำ silicon steel ให้เป็นแผ่นบางๆ ( lamination ) เพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของมัน ซึ่งที่ให้อัตราส่วน  $V/R$  ลดลง ( พิจารณา  $loss = I^2R$  ) และการผสมซิลิกอนเข้าไปจะมีผลถึงความต้านทาน โดยจะใส่ลงไประหว่าง 0% ถึง 3.25% ซึ่งมีผลทำให้ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไป 12 ถึง  $48-50 \Omega m \times 10^{-8}$  การเพิ่มซิลิกอนเข้าไปที่หาค่าความหนาแน่นฟลักซ์อิ่มตัวลดลงเป็นผลให้ต้องเลือกใช้แกนที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้น และการเพิ่มสารซิลิกอนเข้าไปมีผลทำให้ hysteresis loss ลดลงด้วย ในตารางที่ ผ.2.1 แสดงคุณสมบัติอย่างคร่าวๆ และการประยุกต์ใช้งานของเหล็กที่ใช้ในทางไฟฟ้าที่มีการผลิตในอังกฤษ

ที่ผิวของแผ่น silicon steel แต่ละแผ่นจะมีฉนวนเคลือบอยู่เพื่อป้องกันการไหลของกระแสระหว่างแผ่นสารที่ใช้เคลือบมี 2 ชนิดคือ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยสารอินทรีย์จะมีราคาถูกกว่าแต่ถ้าในระหว่างการผลิตมีการเผาเหล็กต้องใช้สารอนินทรีย์เป็นฉนวนเคลือบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็กของตัวเหล็ก

ในการผลิตแกนเหล็กประกอบด้วยขั้นตอนซับซ้อน ได้แก่ การหล่อ , การรีดร้อน , การรีดเย็นและกระบวนการทางความร้อน เพื่อให้ได้เหล็กที่มีคาร์บอนและกัมมันต์ต่ำ และปราศจากสารโลหะ มีขนาด grain ที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ดี

### เฟอร์ไรต์ ( Ferrite )

สารเฟอร์ไรต์มีส่วนประกอบของออกไซด์ของเหล็กซึ่งมีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ซึ่งสารเฟอร์ไรต์จะนิยมใช้ทั้งเป็นแกนของแม่เหล็กในอุปกรณ์ทางการสื่อสารและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ในโครงสร้างผลึกของสารแม่เหล็กเหล่านี้จะมีการแยกตัวจากกันระหว่างไอออนของโลหะและไอออนของออกซิเจน มีผลทำให้เกิดความต้านทานทางไฟฟ้าสูงซึ่งจะลดผลของ eddy current โดยออกซิเจนจะวางตัวในแนวไม่ขนานกับโมเมนต์ทางแม่เหล็กของไอออนของโลหะ ค่าอิ่มตัวของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.4-0.6 T(tesla)

สำหรับกระบวนการผลิตมีขั้นตอนดังนี้ ผสมวัตถุดิบทั้งหมด ( ออกไซด์, คาร์บอนเต ฯลฯ ) ในปริมาณที่ได้กำหนดไว้มาเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้ละเอียด ทิ้งให้เป็นเม็ดแล้วนำขึ้นเป็นรูปโดยขึ้นแม่พิมพ์ และนำเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ใช้

เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อออกมาได้ลักษณะคล้ายเซรามิค สีดำเปราะ มีความหนาแน่นประมาณ  $4800 \text{ kg/m}^3$

Soft ferrite มีโครงสร้างประกอบด้วยแร่ spinel ซึ่งคุณสมบัติของมันคือมีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ของตัวมันสูง มีค่าความสูญเสียทางแม่เหล็กต่ำความถี่ 1-100 MHz มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$  ซึ่ง Me เป็นส่วนประกอบระหว่างแมงกานีสและสังกะสี (MnZn ferrite) หรือ นิกเกิลและสังกะสี (NiZn ferrite) เฟอไรต์ชนิดนี้นิยมนำผลิตเป็นแกนเหล็กชนิดต่างๆ เช่น วงแหวน , E core , U core , Pot core เป็นต้น

โดยทั่วไป MnZn ferrite มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสูง ค่าความสูญเสียที่ความถี่สูง ประมาณ 1 MHz และมีค่าความต้านทานประมาณ  $0.05-5 \Omega\text{m}$  ส่วน NiZn ferrite จะมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กต่ำกว่า ( ขึ้นกับอัตราส่วน Ni/Zn ) และจะมีค่าความสูญเสียสูงกว่าที่ความถี่ต่ำกว่า 1MHz

## ภาคผนวก ค.

### ความสูญเสียในหม้อแปลง

ความสูญเสียกำลังงาน (power loss) ในหม้อแปลงประกอบด้วย

#### 1. ความสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวด (CU Loss)

จาก

$$R = \rho l / A$$

โอห์ม

เมื่อมีกระแสไหลในตัวนำ จะทำให้เกิดความสูญเสียกำลังงานเท่ากับ

$$P = i^2 R$$

วัตต์

#### 2. ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss)

จะเกิดกระแส Eddy-Current ขึ้นในตัวนำไฟฟ้าที่เป็นโลหะเมื่อตัวนำนั้นอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา แรงดันที่เหนี่ยวนำในตัวนำทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้น และจะทำให้เกิดความร้อนอย่างรุนแรงได้ ถ้าพื้นที่หน้าตัดของตัวนำนั้นมีขนาดใหญ่และทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กพอเหมาะ กระแสไหลวนใช้ว่าจะมีผลเสียไปหมด อาทิเช่นทำให้ประสิทธิภาพในการเบรคโดยกระแสไหลวนเป็นต้น , การนำไฟฟ้าหลอมโลหะ ในมิเตอร์วัดแรงบิด , และการปรับความเร็วในมิเตอร์ แต่การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากกระแสไหลวนเกือบทั้งหมดถูกจำกัดสำหรับอุปกรณ์กำลังต่ำเท่านั้น ยกเว้นการใช้งานในงานหลอมโลหะ

สำหรับตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและความหนาแน่นฟลักซ์  $B = B_m \sin 2\pi f t$  เทสลา จะได้ว่า ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเท่ากับ

$$P_e = \frac{\pi^2 f^2 B_m^2 t^3}{\rho}$$

เมื่อ  $f$  : ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิร์ต

$B_m$  : ค่ายอดของความหนาแน่นฟลักซ์มีหน่วยเป็นเทสลา

$t$  : ความหนาของตัวนำมีหน่วยเป็นเมตร

$\rho$  : ค่าความต้านทานจำเพาะมีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร

จากสมการในทางปฏิบัติจึงมีการทดแทนเหล็กเป็นแผ่นบางๆซ้อนกันสำหรับแกนซิลิกอนสตีลและในเครื่องจักรหรือหม้อแปลงที่ใช้กระแสสูงจะใช้ลวดทองแดงเส้นเล็กหลายเส้นรวมกันแทนที่จะใช้ลวดเส้นใหญ่เพียงเส้นเดียว ทั้งนี้เพื่อลดความสูญเสียจาก Eddy-current นั้นเอง

#### 3. ความสูญเสียฮิสเทอรีซิส

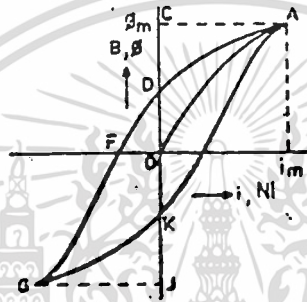
ความสูญเสียฮิสเทอรีซิสจะเกิดขึ้นกับวัสดุชนิด ferro-magnetic (เช่น เหล็ก) ที่อยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลา ซึ่งเป็นผลให้เกิดความร้อนสูงเกินไปจนทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

domain) ในเนื้อสาร เมื่อพิจารณากราฟ B-H curve ในรูปที่ ผ.ค.1 จะได้ว่า ความสูญเสียฮีสเทอรีซิสเท่ากับ

$$P_h = \text{พลังงานที่สูญเสียใน 1 วัฏจักร} \times \text{ความถี่}$$

$$= \text{พื้นที่ปิดของฮีสเทอรีซิส ( GKADG )} \times \text{ความถี่} \quad \text{วัตต์}$$



รูปที่ ผ.ค.1 ความสูญเสียฮีสเทอรีซิสของคุณลักษณะ B - H curve ของสารแม่เหล็ก

#### 4. ความสูญเสียเนื่องจากฉนวน

เมื่อใช้งานอุปกรณ์ทางไฟฟ้าเป็นเวลานานๆ ฉนวนมักเกิดการเสื่อมอันเนื่องมาจากฝุ่น , การออกซิเดชัน , ปฏิกิริยาเคมี , ความร้อน และ การลัดทางกล และ corona discharge ซึ่งเรียกว่า partial discharge จะเกิดความสูญเสียทางฉนวนตลอดเวลาขณะที่อุปกรณ์นั้นได้รับแรงดันอยู่ แม้ว่ายังไม่มีการเสี้ยวไหลในส่วนของตัวนำไฟฟ้าก็ตาม กระแสฉนวนน้อยมากไหลผ่านความต้านทานของฉนวน ที่ให้เกิดความร้อนขึ้น ดังนั้น วัสดุฉนวนที่ดีต้องมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำมากๆ

# Terms and definitions

## 1. Permeability

### 1-1. Initial permeability, $\mu_i$

This is the limit value of B/H where H is indefinitely close to zero ( $H \sim 0$ ) at the virgin magnetization curve of a ferromagnetic substance, and is derived by the following equation:

$$\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H}$$

Where  $\mu_0$ : permeability in vacuum

H: AC magnetic field strength

B: AC magnetic flux density

(Note) The essential permeability of a core material is measured using a toroidal core wound with a coil, and is represented by the following equation:

$$\mu = \frac{L - L_0}{4\pi N^2 A_e} \cdot 10^7$$

Where L: self-inductance of core including coil (mH)

$L_0$ : self-inductance of coil (mH)

N: number of turns

$A_e$ : average cross-sectional area of toroidal core ( $\text{mm}^2$ )

$l_e$ : average magnetic path length of toroidal core (mm)

### 1-2. Effective permeability, $\mu_e$

This is usually defined as the permeability of a core forming a closed circuit where leakage flux is negligibly small.

$$\mu_e = \frac{L - L_0}{4\pi N^2 A_e} \cdot 10^7$$

Where L: self-inductance of core with coil (mH)

N: number of turns

$\frac{l_e}{A_e} = C_1$  = core factor ( $\text{mm}^{-1}$ )

### 1-3. Apparent effective permeability, $\mu_{app}$

This is generally a ratio of two inductances in a closed circuit:

$$\mu_{app} = \frac{L}{L_0}$$

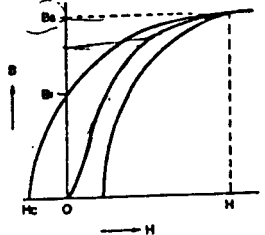
Where L: self-inductance of coil including core

$L_0$ : self-inductance of coil not including core

## 2. Magnetization curves

### 2-1. Saturation magnetic flux density, $B_s$

When the strength of a DC magnetic field H is intensified around a completely demagnetized magnetic core, the magnetic flux density B increases from the initial point "O" as shown in the figure on the right. This is called an initial magnetization curve. The magnetic flux density eventually reaches its upper limit, called the saturation magnetic flux density  $B_s$ , where the value of B is defined as  $B_{10}$  when  $H = 10 \text{ Oe}$ .



### 3. Loss

#### 2-2. Residual magnetic flux density, $B_r$

This is the amount of residual magnetic flux density retained by the core after the DC magnetic field is weakened and finally removed to the level of  $H = 0$ .

#### 2-3. Coercivity, $H_c$

This is the strength of the magnetic field whereby the residual flux density becomes zero under the intensification, in the opposite direction, of the DC magnetic field.

#### 3-1. Loss factor $\tan \delta$

The core loss factors of three different types of losses: hysteresis loss, eddy-current loss and residual loss.

$$\tan \delta = \tan \delta_h + \tan \delta_e + \tan \delta_r \\ = h_1 \sqrt{V} + e_1 f + r_1$$

The loss coefficient  $\tan \delta$  can be also represented by the ratio of resistance to reactance as follows:

$$\tan \delta = \frac{R_m}{\omega L} = \frac{R_{eff} R_w}{\omega L}$$

Where

- $\tan \delta_h$ : hysteresis loss coefficient
- $\tan \delta_e$ : eddy-current loss coefficient
- $\tan \delta_r$ : residual loss coefficient
- $L$ : self inductance of core with coil (mH)
- $V$ : core volume (m<sup>3</sup>)
- $I$ : current (A)
- $h_1$ : hysteresis loss coefficient
- $e_1$ : eddy-current loss coefficient
- $r_1$ : residual loss coefficient
- $f$ : frequency (Hz)
- $R_m$ : resistance of magnetic core ( $\Omega$ )
- $R_{eff}$ : resistance of core and coil ( $\Omega$ )
- $R_w$ : resistance of coil ( $\Omega$ )
- $\omega$ : angular velocity (radian/sec.)

(Note)  $h_1$  is expressed as follows:

$$h_1 = \frac{I}{\omega L} \cdot \sqrt{V} \cdot \frac{R_2 - R_1}{I_2 - I_1} \times 10^3$$

Where  $R_1$  = resistance for current  $I_1$   
 $R_2$  = resistance for current  $I_2$

# Terms and definitions

## 3-2. Relative loss factor $\tan\delta/\mu_i$

This is the amount of loss per unit permeability and is expressed as follows:

$\tan\delta/\mu_i$  (for magnetic materials)

$\tan\delta/\mu_0$  (where gaps are added to the magnetic circuit)

## 3-3. Relative hysteresis loss coefficient, $h_{10}$ (h-one-zero)

This is the value of  $h_1$  when  $\mu_i=1000$  and is used for comparing different materials. It is expressed as:

$$h_{10} = h_1 \cdot \left(\frac{1000}{\mu_i}\right)^2$$

(Note) The relationship between  $h_{10}$  and  $\eta_h$  is represented as follows:

$$h_{10} = 50.1 \eta_h \times 10^3$$

## 3-4. Quality factor, Q

This is the reciprocal of the loss coefficient and is given by:

$$Q = \frac{1}{\tan\delta} = \frac{\omega L}{R_m}$$

(Note) The Q for the coil with the core is expressed as follows:

$$Q_c = \frac{\omega L}{R_{eff}}$$

## 4. Temperature characteristics

### 4-1. Temperature coefficient, $\alpha\mu$

This is the fractional difference of permeability per  $1^\circ\text{C}$  in a temperature range of from  $T_1$  to  $T_2$ .

$$\alpha\mu = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}$$

Where  $\mu_1$ : permeability at temperature  $T_1$

$\mu_2$ : permeability at temperature  $T_2$

### 4-2. Relative temperature coefficient, $\alpha\mu r$

This is the temperature coefficient per unit permeability and is represented by:

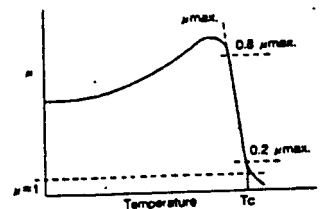
$$\alpha\mu r = \frac{\alpha\mu}{\mu_i}$$

Thus, the temperature coefficient of an actual core is obtained as follows:

$$\alpha\mu = \alpha\mu r \times \mu_0$$

### 4-3. Curie point, $T_c$

As shown by the typical temperature characteristic of permeability in the figure on the right, the Curie point  $T_c$  is defined as the temperature at which the magnetic core changes from the ferromagnetic to the paramagnetic state. It is the temperature obtained at the intersection point of the horizontal line of  $\mu = 1$  and the line passing through the points  $0.8\mu_{max}$  and  $0.2\mu_{max}$ .



5. Disaccommodation factor, DF

This is the factor representing the variation of permeability through time after a complete demagnetization of the core at a constant temperature

$$DF = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\log \frac{t_2}{t_1}} \cdot \frac{1}{\mu_1^2} \quad (t_2 > t_1)$$

Where  $\mu_1$ : initial permeability  $t_1$  minutes after complete demagnetization

$\mu_2$ : initial permeability  $t_2$  minutes after complete demagnetization

(Note) Generally,  $t_1$  to  $t_2$  is set at 10 to 100 minutes.

6. Electrical resistivity,  $\rho$  ( $\Omega$ -m)

This is the electrical resistance per unit length and cross-sectional area of a magnetic core.

7. Density,  $d$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

This is the weight per unit volume of a magnetic core as expressed below

$$d = \frac{W}{V}$$

Where  $W$ : weight of magnetic body (kg)

$V$ : volume of magnetic body ( $\text{m}^3$ )

8. Power loss

Power loss denotes the loss by an electrical transformer, such as a switching regulator, under a magnetization condition featuring a high frequency and a large amplitude. Operating magnetic flux density,  $B$ , is generally expressed as follows:

$$B = \frac{E}{4.44 f N A_e} \times 10^8 \quad (\text{mT})$$

Where  $B$ : magnetic flux density (mT)

$E$ : coil terminal voltage (V)

$f$ : frequency (kHz)

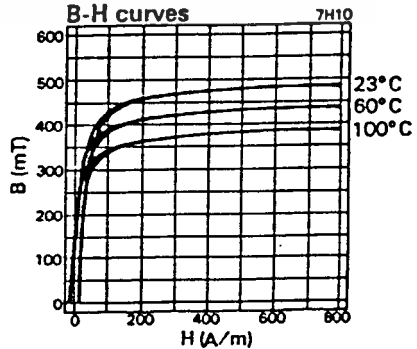
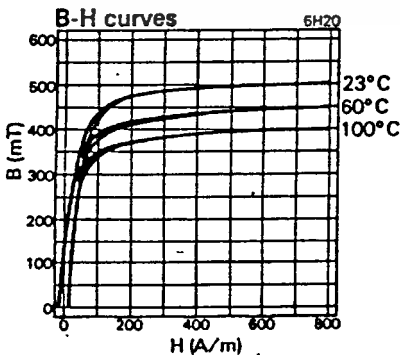
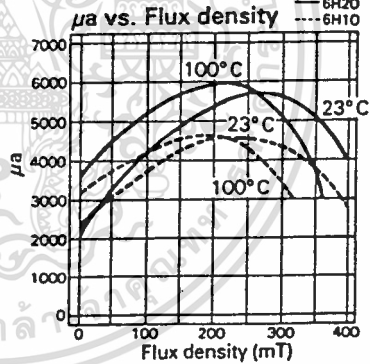
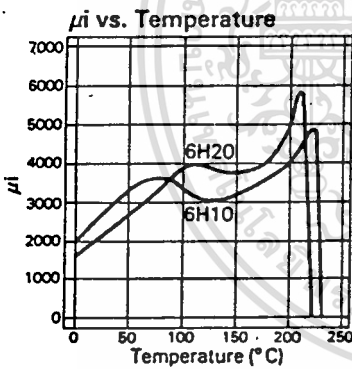
$N$ : number of coil turns

$A_e$ : effective cross-sectional area ( $\text{mm}^2$ )

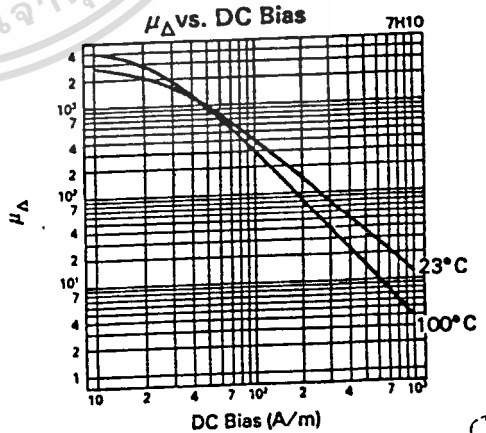
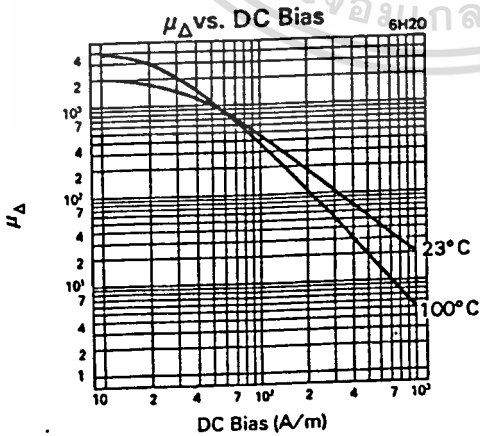
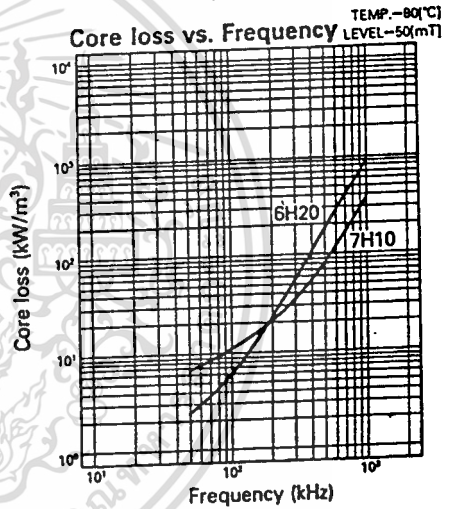
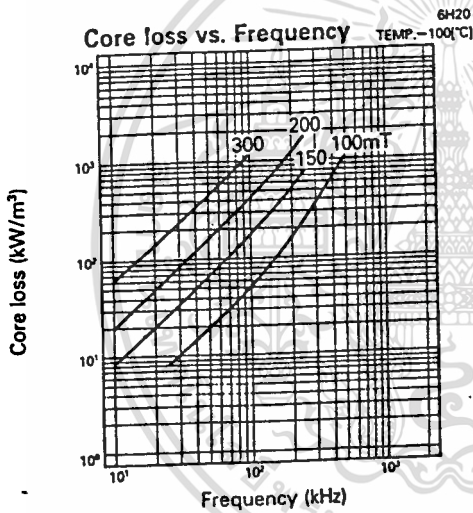
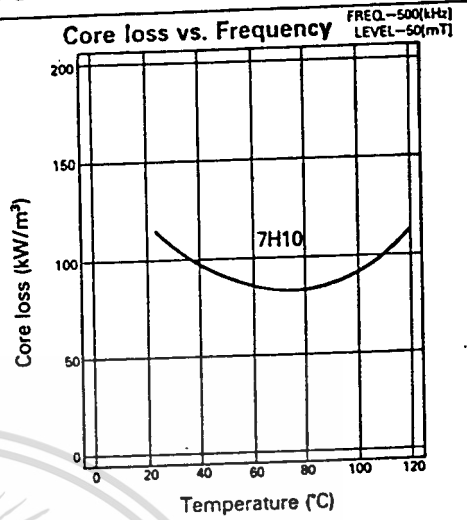
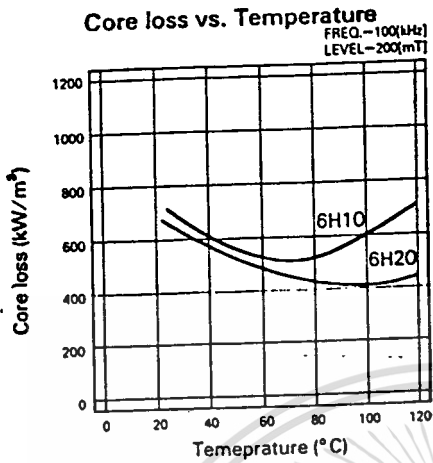
# Standard material characteristics (Power material)

Property	Symbol	Condition	Unit	6H10	6H20	7H10
Initial permeability	$\mu_{ie}$			2500 ± 20%	2300 ± 20%	1500 ± 20%
Saturation magnetic flux density	$B_s$ (800A/m)	23°C	mT	510	510	480
		100°C		390	390	380
Residual magnetic flux density	$B_r$	23°C	mT	110	130	150
Coercivity	$H_c$	23°C	A/m	13	13	30
Relative loss factor	$\tan \delta / \mu_{ie}$	100kHz	$\times 10^{-3}$	< 5	< 5	< 5
		60°C		80	80	—
Core loss	200mT	25kHz	kW/m <sup>3</sup>	60°C	80	—
				80°C	80	65
				100°C	110	55
		100kHz	60°C	500	500	—
			80°C	500	420	—
			100°C	600	400	—
	50mT	500kHz	kW/m <sup>3</sup>	60°C	—	100
				80°C	—	80
				100°C	—	100
		1MHz	60°C	—	400	—
			80°C	—	400	—
			100°C	—	500	—
Temperature coefficient	$\alpha \mu$	20–80°C	$\times 10^{-3}$	8	8	8
Curie temperature	$T_c$	—	°C	> 200	> 200	> 200
Resistivity	$\rho$	—	$\Omega \cdot m$	3	3	5
Density	$d$	—	kg/m <sup>3</sup> × 10 <sup>3</sup>	4.8	4.8	4.8

- Note: 1) The values were obtained with toroidal cores (FR25/15/5).  
 2) The values were obtained at 23±2°C unless otherwise specified.  
 3) Initial permeability was measured at 10kHz, 0.8A/m.



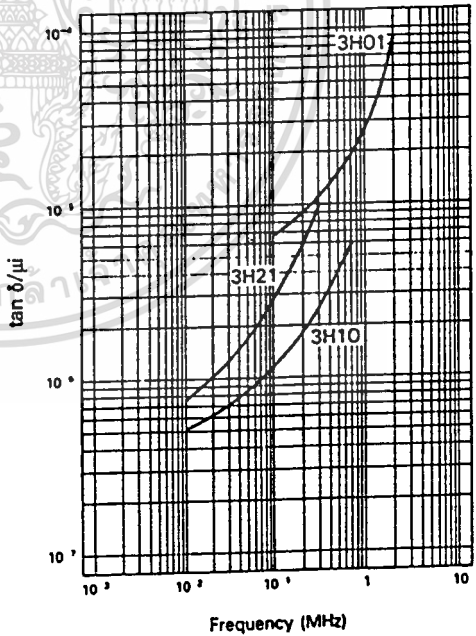
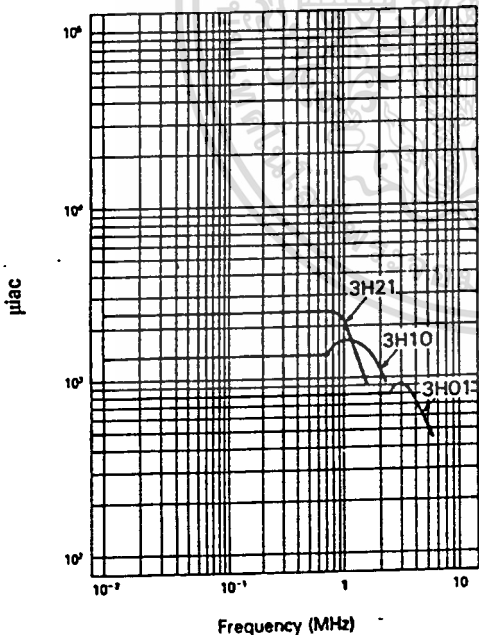
# Material characteristic curves (Power material)



# Standard material characteristics (Linear material)

Property	Symbol	Unit	3H01	3H10	3H20	3H21	
Initial permeability	$\mu_{ic}$		800 $\pm 20\%$	1200 $\pm 20\%$	2200 $\pm 20\%$	2400 $\pm 20\%$	
Relative loss factor	$\frac{\tan \delta}{\mu}$	$\times 10^{-6}$	< 20 (0.5MHz) < 40 (1MHz)	< 1.5 (0.1MHz) < 4 (0.5MHz)	< 2.5 (0.1MHz)	< 3.5 (0.1MHz)	
Temperature coefficient	-30 to 20°C	$\alpha_{\mu}$	$\times 10^{-6}$	0 to 2	0.3 to 2	0.4 to 1.6	0.4 to 2
	20 to 55°C			0 to 2	0.2 to 1	0.4 to 1.2	0.4 to 2
	20 to 70°C			0 to 2	0.2 to 1	0.4 to 1.2	0.4 to 2
Saturation magnetic flux density	Bs	Gauss	3900	4650	4200	4100	
		mT	390	465	420	410	
Residual magnetic flux density	Br	Gauss	1700	1500	800	1100	
		mT	170	150	80	110	
Coercivity	Hc	Oe	0.7	0.5	0.15	0.3	
		A/m	56	40	12	24	
Hysteresis material constant	$\eta_h$	$\frac{\times 10^{-6}}{mT}$	< 1.8 (10kHz)	< 0.4 (100kHz)	< 0.4 (10kHz)	< 0.6 (10kHz)	
Disaccommodation factor	DF	$\times 10^{-5}$	< 20	< 4	< 2	< 3	
Curie temperature	Tc	°C	> 250	> 200	> 160	> 160	
Resistivity	$\rho$	$\Omega \cdot m$	5	5	5	4	
Density	d	$kg/m^3 \times 10^{-3}$	4.6	4.7	4.8	4.8	

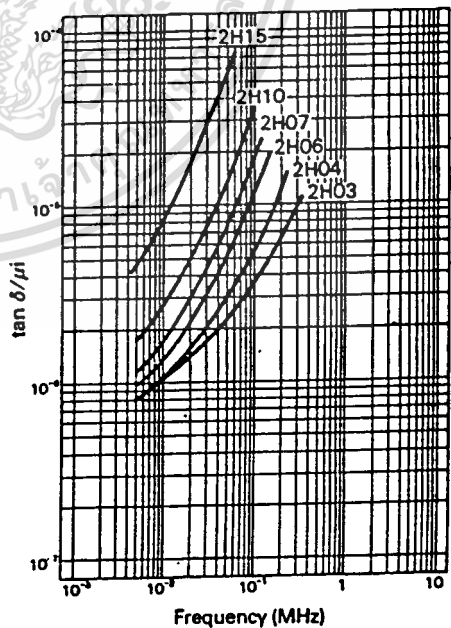
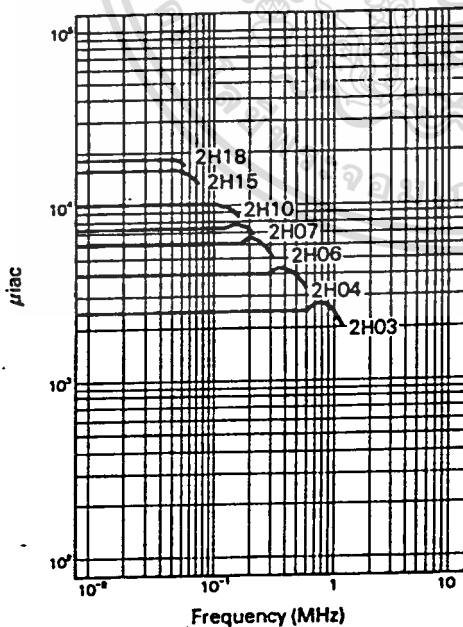
Note: 1) The values were obtained with toroidal cores (FR25/15/5).  
 2) The values were obtained at 23±2°C unless otherwise specified.  
 3) Initial permeability was measured at 10kHz, 0.8A/m.



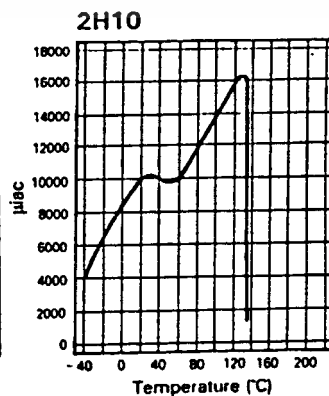
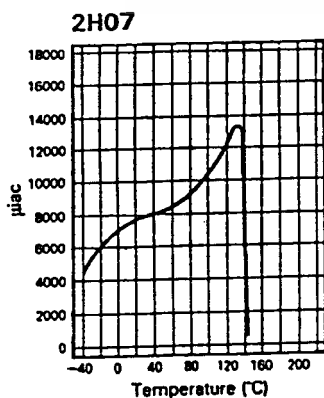
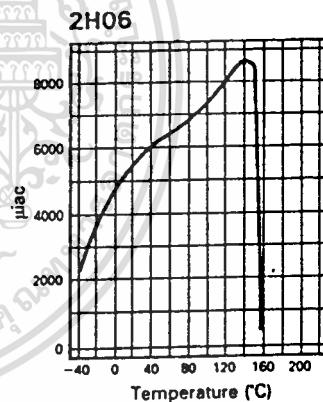
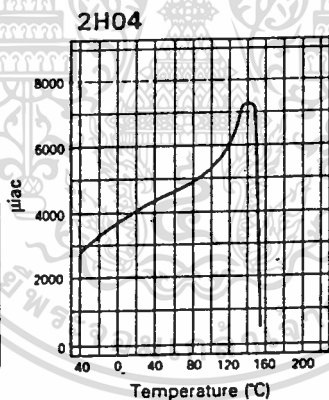
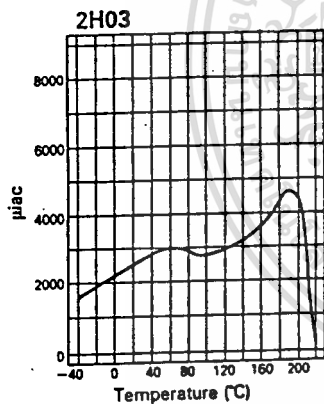
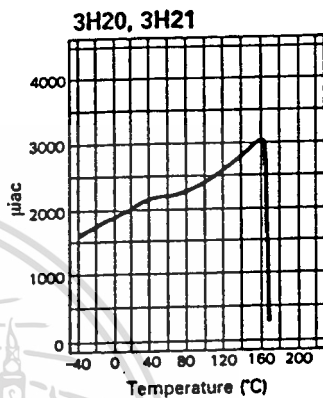
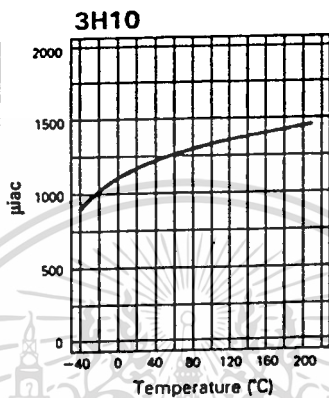
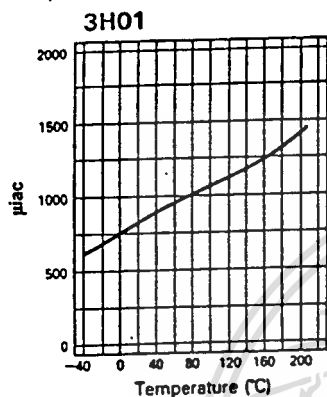
# Standard material characteristics (Linear material)

Property	Symbol	Unit	2H03	2H04	2H06	2H07	2H10	2H15	2H18
Initial permeability	$\mu_{iac}$		2500 $\pm 20\%$	4000 $\pm 20\%$	5500 $\pm 20\%$	7500 $\pm 25\%$	10000 $\pm 30\%$	15000 $\pm 30\%$	18000 $\pm 30\%$
Relative loss factor	$\tan \delta / \mu$	$\times 10^{-4}$	< 4 (100kHz)	< 10 (100kHz)	< 30 (100kHz)	< 5 (10kHz)	< 7.0 (10kHz)	< 15 (10kHz)	< 90 (10kHz)
Temperature coefficient	-30 to 20°C	$\alpha \mu$	$\times 10^{-4}$		0 to 2.0	0 to 2.0	0 to 2.0	0 to 1.5	0 to 1.5
	20 to 55°C								
	20 to 70°C								
Saturation magnetic flux density	Bs	Gauss	4700	4200	4200	4100	4000	4000	4000
		mT	470	420	420	410	400	400	400
Residual magnetic flux density	Br	Gauss	1000	800	800	600	600	600	800
		mT	100	80	80	60	60	60	80
Coercivity	Hc	Oe	0.16	0.10	0.10	0.05	0.025	0.02	0.02
		A/m	12.8	8	8	4	2	1.6	1.6
Hysteresis material constant	$\eta_s$	$\frac{\times 10^{-4}}{\text{mT}}$		< 0.8 (10kHz)	< 0.8 (10kHz)	< 0.6 (10kHz)	< 1.0 (10kHz)	< 2.0 (10kHz)	< 2.0 (10kHz)
Disaccommodation factor	DF	$\times 10^{-4}$		< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 2.0	< 1.0	< 1.0
Curie temperature	Tc	°C	> 200	> 140	> 140	> 130	< 120	< 120	< 120
Resistivity	$\rho$	$\Omega \cdot \text{m}$	1	1	0.2	0.1	0.01	0.01	0.01
Density	d	$\text{kg/m}^3 \times 10^3$	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5.0

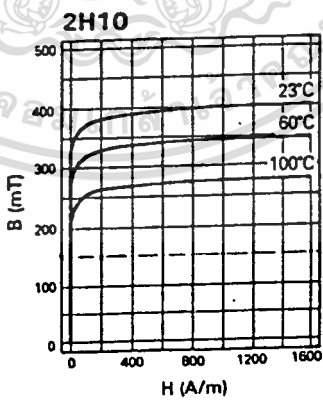
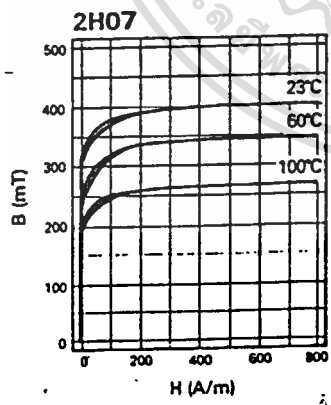
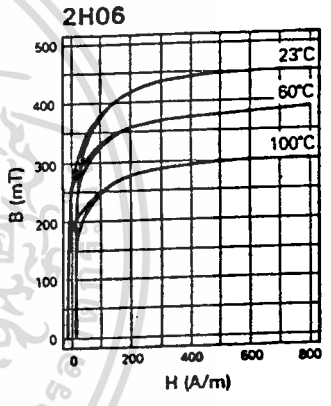
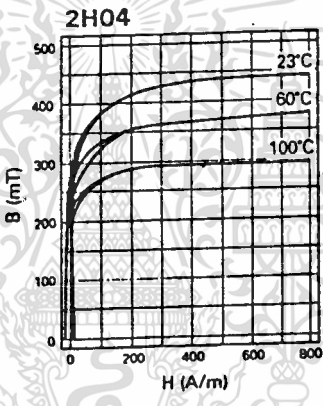
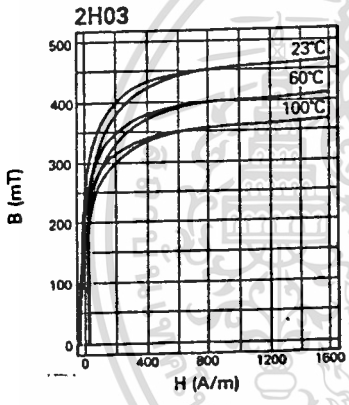
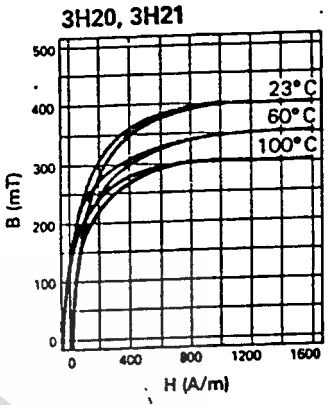
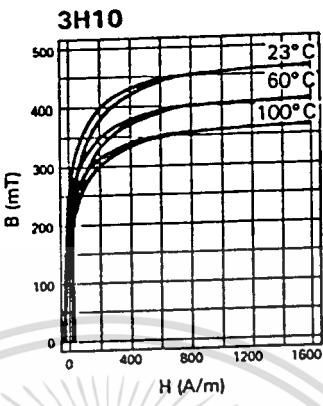
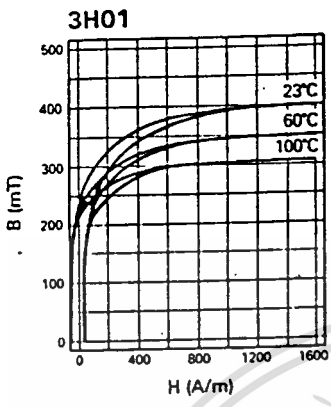
- Note: 1) The values were obtained with toroidal cores (FR25/15/5).  
 2) The values were obtained at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.  
 3) Initial permeability was measured at 10kHz, 0.8A/m.



# Material characteristics curves (Linear material) $\mu_{ac}$ vs. temperature



# Material characteristics curves (Linear material) B vs. H



# FERRITE MATERIALS

บริษัท ฮาร์วาร์ดไทย อินดัสเตรียล จำกัด  
 77/162 อาคารสินค้าพาหุรัด ชั้นที่ 77 เถ. ถ. ทุ่งพระยา  
 แขวงคลองตันใหม่ เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10600  
 โทร. 440-1152-80 แฟกซ์. 440-1188

## Material characteristics

Material	Symbol	Unit	H56 Z	H55 Z	H54 Z	H53 Z	H52 A	H52 B	H52 Z	H51 A	H51 Z
Initial permeability	$\mu$	lac	11 ±20%	17 ±20%	50 ±20%	130 ±20%	250 ±20%	800 ±20%	1200 ±20%	1200 ±20%	1200 ±15%
Relative loss factor	$\frac{\tan \delta}{\mu}$	$\times 10^{-4}$	<200 40MHz <250 100MHz	<160 40MHz <220 100MHz	<60 5 MHz <80 10MHz	<30 1 MHz <120 10MHz	<25 1 MHz <60 5 MHz	<20 0.5MHz <40 1 MHz	<5 0.1MHz <12 0.5MHz	<3 0.1MHz <8 0.5MHz	<1.5 0.1MHz <4 0.5MHz
Temperature factor -30~20 °C 20~55 °C 20~70 °C	$\alpha$	$\mu r$			4~20	3~10 3~10	0~5	0~2	1.5~7 1.5~7		0.3~2 0.2~1
Saturation flux density	Bs	Gauss	2000	2100	2500	2900	3300	3900	3800	4650	4650
		mT	200	210	250	290	330	390	380	465	465
Residual flux density	Br	Gauss	1100	1200	1300	1600	2200	1700	1600	1500	1500
		mT	110	120	130	160	220	170	160	150	150
Coercive force	Hc	Oe	12	10	8.0	3.0	2.0	0.7	0.5	0.5	0.5
		A/m	960	800	640	240	160	56	40	40	40
Hysteresis material constant	$\eta B$	$\frac{\times 10^{-9}}{mT}$						<1.8 10kHz	<0.5 10kHz	<0.6 100kHz	<0.4 100kHz
Disaccommodation factor	DF	$\times 10^{-4}$	<50	<50	<30	<20	<10	<20	<10	<6	<4
Curie temperature	Tc	°C	>450	>450	>400	>350	>300	>250	>230	>200	>200
Resistivity	$\rho$	$\Omega$ -cm	$10^6$	$10^6$	$10^6$	$10^6$	$10^6$	500	500	500	500
Density	d	g/cm <sup>3</sup>	4.3	4.3	4.5	4.5	4.4	4.6	4.7	4.7	4.7

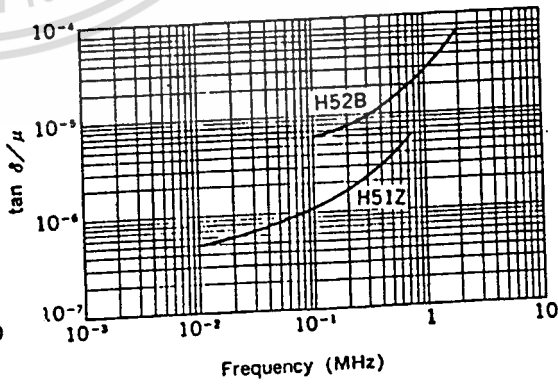
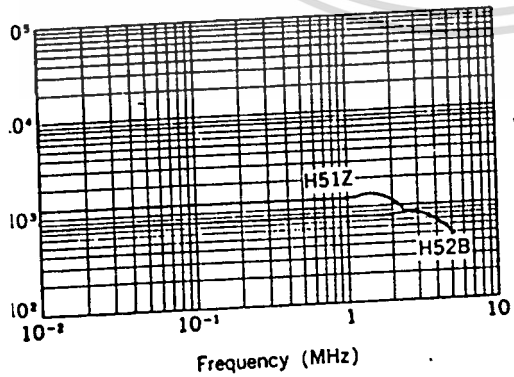
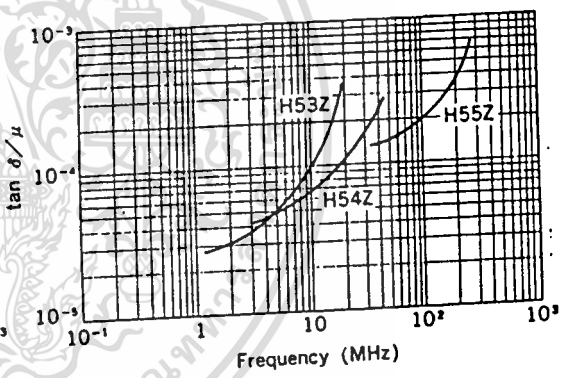
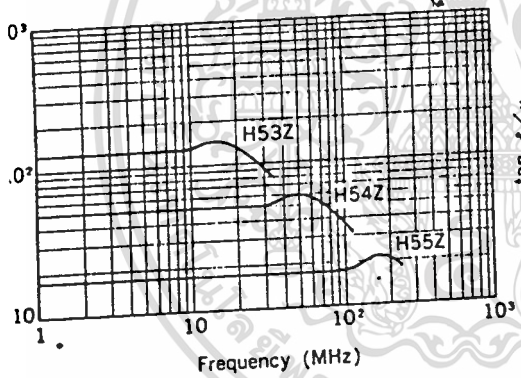
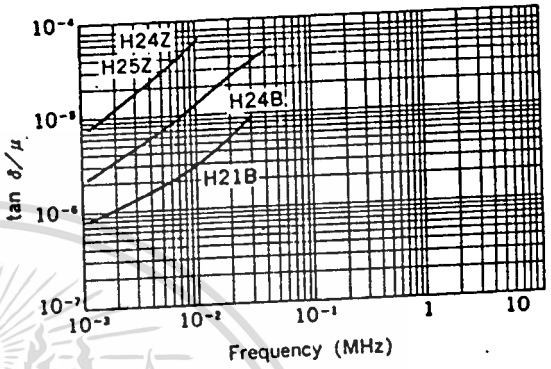
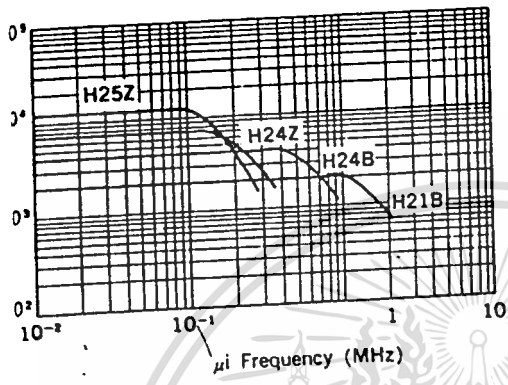
- Note : 1) The values were obtained with toroidal cores (FR 25  $\phi$  / 15  $\phi$  / 5).  
 2) The values were obtained at 23±2 °C unless otherwise specified.  
 3) Initial permeability were measured at 10 kHz, 0.8 A/m.



# RRITE MATERIALS

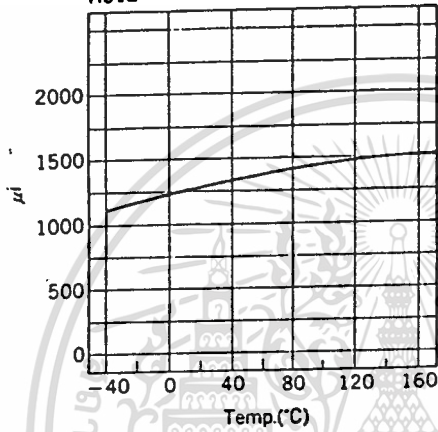
s. frequency

$\tan \delta / \mu$  vs. frequency

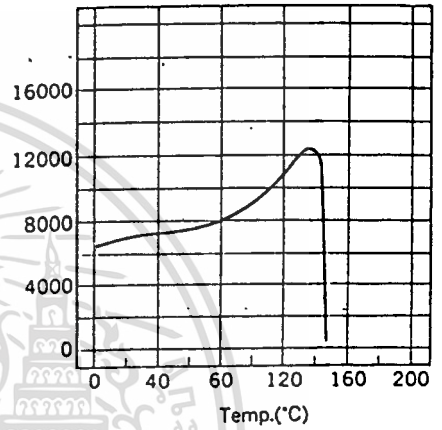


$\mu_i$  vs. temperature

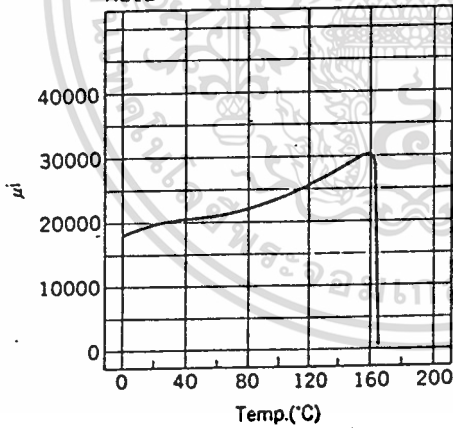
H51Z



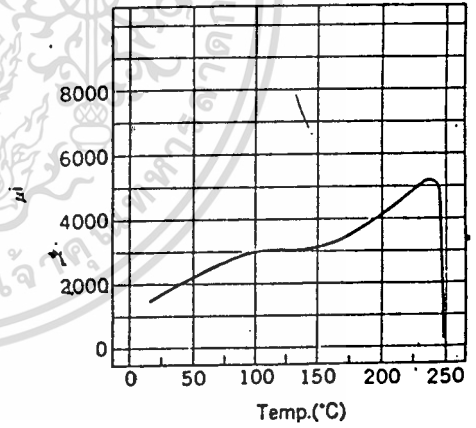
H24Z



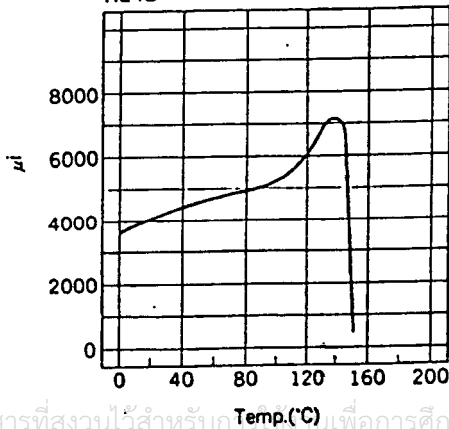
H21B



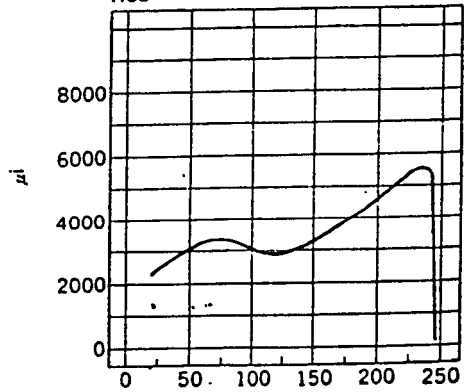
H49N



H24B

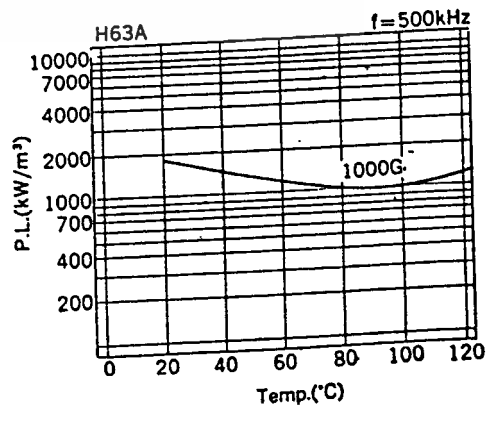
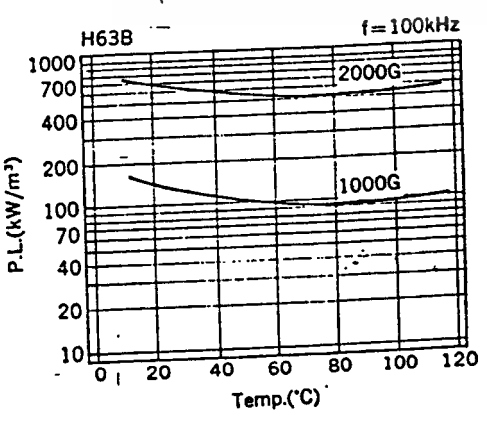
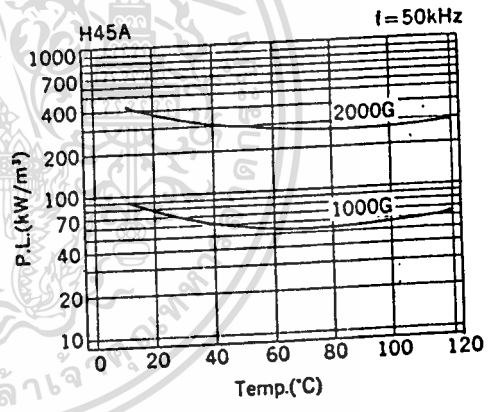
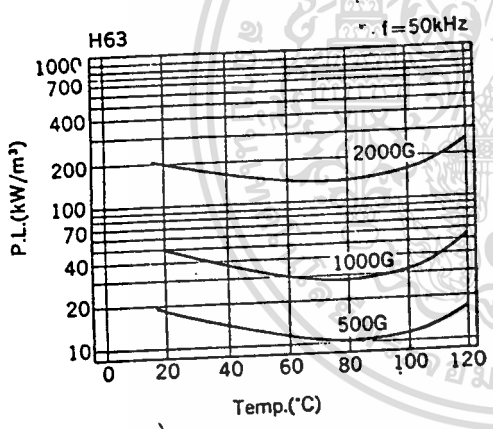
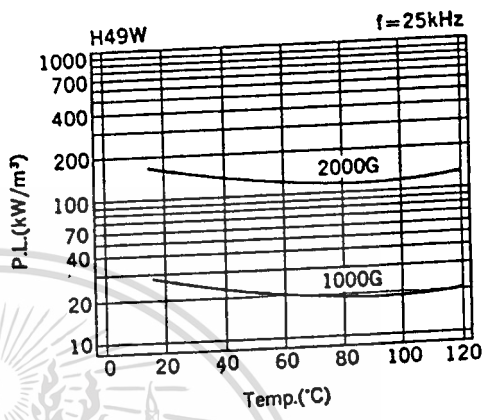
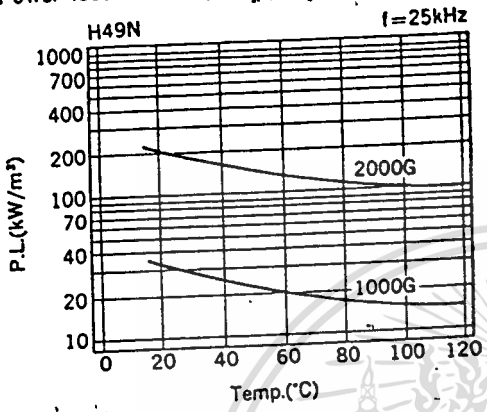


H63

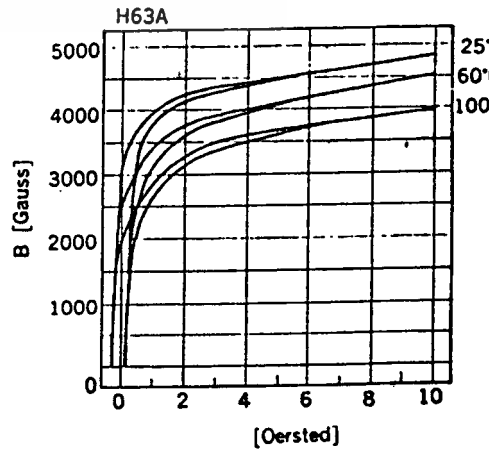
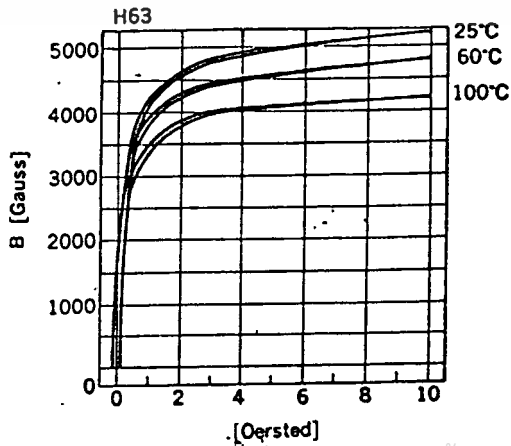
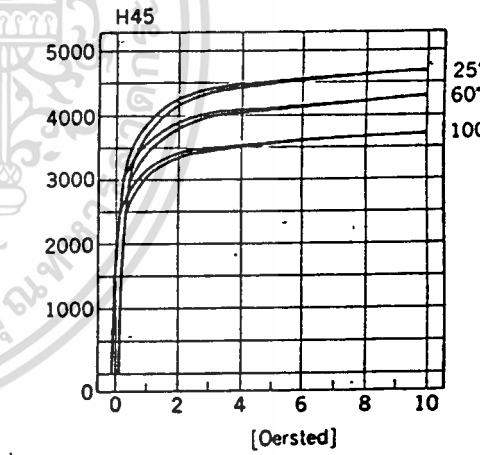
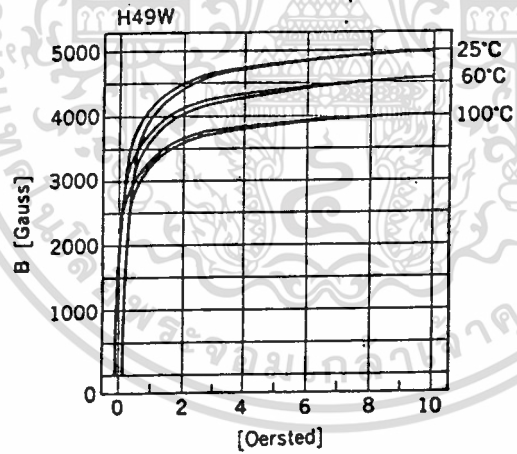
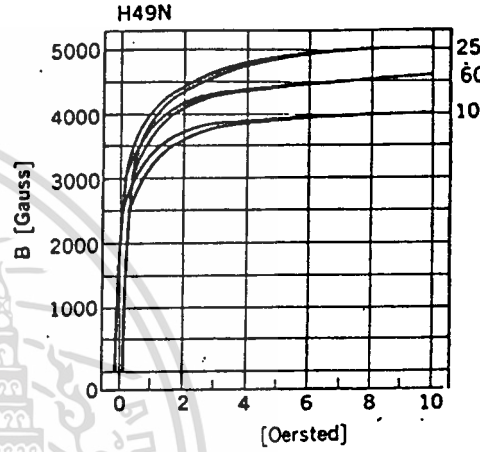
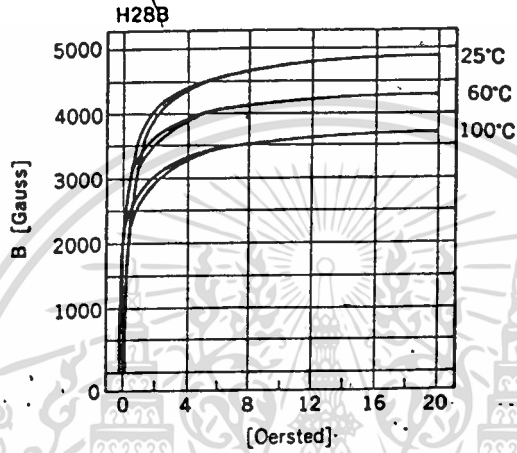


# FERRITE MATERIALS

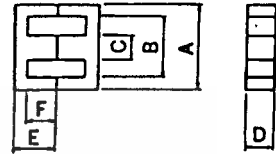
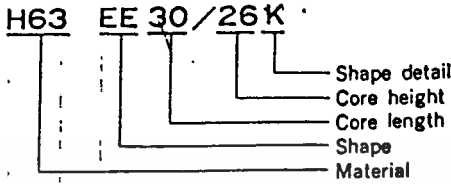
Power loss vs. temperature



Static magnetization curves.



# E CORES



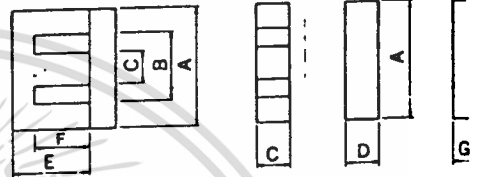
Characteristics		Core name									
		EE16/14K	EE19/16K	EE22/18K	EE30/26K	EE40/34K	EE42/42A-15W	EE42/42A-20W	EE50/42K	EE55/55A	EE60/44K
Dimension	A (mm)	16.0±0.3	19.1±0.3	22.0±0.3	30.0±0.5	40.0±0.5	42.0±0.9	42.0±0.9	50.0±0.7	55.0±1.2	60.0±0.8
	B (mm)	11.7 min.	14.2 min.	12.8 min.	19.5 min.	27.4 min.	29.5 min.	29.5 min.	34.2 min.	37.5 min.	43.8 min.
	C (mm)	4.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.4</sub>	4.7 <sup>+0</sup> <sub>-0.3</sub>	6.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	12.2 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	12.2 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	15.2 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	17.2 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	16.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>
	D (mm)	5.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.4</sub>	5.2 <sup>+0</sup> <sub>-0.4</sub>	6.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	15.2 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	20.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	15.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	21.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	16.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>
	E (mm)	7.1 <sup>+0.2</sup> <sub>-0</sub>	7.8 <sup>+0.3</sup> <sub>-0</sub>	9.2 <sup>+0.3</sup> <sub>-0</sub>	13.0 <sup>+0.3</sup> <sub>-0</sub>	16.7 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>	21.2 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	21.2 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	21.0 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>	27.8 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>	22.0 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>
	F (mm)	5.1 <sup>+0.25</sup> <sub>-0</sub>	5.5 <sup>+0.2</sup> <sub>-0</sub>	5.2 <sup>+0.3</sup> <sub>-0</sub>	8.0 <sup>+0.3</sup> <sub>-0</sub>	10.0 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>	14.8 <sup>+0.7</sup> <sub>-0</sub>	14.8 <sup>+0.7</sup> <sub>-0</sub>	12.5 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>	18.5 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>	13.8 <sup>+0.5</sup> <sub>-0</sub>
Core factor	$\Sigma \frac{l}{A} (\text{cm}^{-1})$	18.0	17.0	9.75	5.28	6.05	5.42	4.22	4.25	3.51	4.50
Effective length	$l_e (\text{cm})$	3.52	3.96	3.97	5.78	7.73	9.70	9.70	9.61	12.40	11.0
Effective area	$A_e (\text{cm}^2)$	0.19	0.23	0.41	1.09	1.28	1.79	2.30	2.26	3.53	2.45
Effective volume	$V_e (\text{cm}^3)$	0.66	0.92	1.62	6.33	9.86	17.36	22.31	21.7	43.77	27.1
Approx. weight	W(g/seat)	3.3	4.6	9.2	33	52	89	116	113	222	140
AL value (nH/N <sup>2</sup> ±25%)	H45	1100	1250	2400	4600	3900	4300	5700	5700	6000	5300
	H49N	850	950	1650	3000	2700	3000	4000	4000	4300	3600
	H49W	1050	1200	2300	4400	3800	4000	5300	5300	6000	4800
	H63	1050	1200	2100	4100	3500	3700	4900	4900	5200	4500

# EI CORES

1124A F

H63 EI 30/26K

Shape detail  
Core height  
Core length  
Shape  
Material

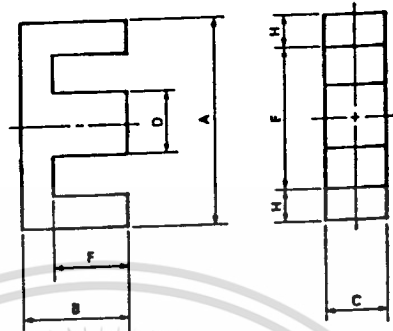


Characteristics		Core name							
		EI 22/19K	EI 25/19	EI 28/20	EI 30/26K	EI 35/29	EI 40/35K	EI 50/42K	EI 60/44
Dimension	A (mm)	22.0±0.3	25.0±0.5	28.0±0.5	30.0±0.4	35.0±0.5	40.0±0.5	50.0±0.7	60.0±0.1
	B (mm)	12.8 min.	18.15 min.	18.6 min.	19.5 min.	24.5 min.	26.8 min.	33.5 min.	43.6 min.
	C (mm)	6.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	6.5±0.25	7.5 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	10.3 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	12.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.7</sub>	15.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.8</sub>	16.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.8</sub>
	D (mm)	6.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	6.5±0.25	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	11.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	10.3 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	12.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.7</sub>	15.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.8</sub>	16.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.8</sub>
	E (mm)	14.3 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	16.3 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	16.5 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	21.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	24.2±0.4	27.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	33.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.7</sub>	35.5 <sup>+0</sup> <sub>-0.7</sub>
	F (mm)	10.3 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	13.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	12.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	16.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	18.2±0.3	20.0 <sup>+0</sup> <sub>-0.5</sub>	24.5 <sup>+0</sup> <sub>-0.7</sub>	27.5 <sup>+0</sup> <sub>-0.7</sub>
	G (mm)	4.5±0.2	3.0±0.2	3.5±0.2	5.5±0.2	5.0±0.2	7.5±0.3	9.0±0.3	8.5±0.3
Core factor	$\Sigma \frac{l}{A} (\text{cm}^{-1})$	9.58	11.7	5.69	5.24	5.59	5.22	4.12	4.43
Effective length	$l_e (\text{cm})$	3.98	4.86	4.84	5.81	6.76	7.69	9.48	10.97
Effective area	$A_e (\text{cm}^2)$	0.41	0.42	0.85	1.11	1.21	1.47	2.30	2.48
Effective volume	$V_e (\text{cm}^3)$	1.64	2.02	4.11	6.45	8.18	11.3	21.8	27.2
Approx. weight	W(g/set)	9.4	10	22	34	37	60	114	139
AL value (nH/N <sup>2</sup> ±25%)	H45	2400	2050	4200	4200	3700	4600	5800	5300
	H49N	1650	1350	2750	2750	2600	3100	3900	3600
	H49W	2300	1950	4050	4050	3500	4500	5600	4800
	H63	2100	1800	3700	3700	3300	4200	5500	4500

Core name  
FR 4 ♦ / 2.2 ♦ / 2  
FR 5 ♦ / 3.2 ♦ / 3  
FR 8 ♦ / 3 ♦ / 6  
FR 11 ♦ / 5 ♦ / 3  
FR 13 ♦ / 7 ♦ / 5  
FR 14 ♦ / 7 ♦ / 7  
FR 15 ♦ / 9 ♦ / 13  
FR 16 ♦ / 10 ♦ / 7  
FR 16 ♦ / 12 ♦ / 7  
FR 19 ♦ / 10 ♦ / 7  
FR 20 ♦ / 12 ♦ / 7  
FR 25 ♦ / 15 ♦ / 7  
FR 31 ♦ / 20 ♦ / 7  
FR 38 ♦ / 19 ♦ / 7  
FR 40 ♦ / 20 ♦ / 7  
FR 50 ♦ / 25 ♦ / 7

# Summary

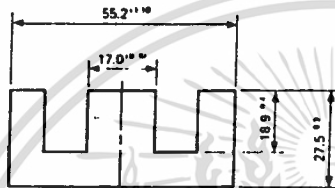
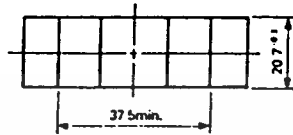
EE CORES



Shape code	Dimensions (mm)							General standard
	A	B	C	D	Emin.	F	H	
EE12.6/13	12.6±0.50	6.40±0.10	3.55±0.15	3.55±0.15	8.9	4.65±0.15	1.70	
EE13/13B	13.0±0.20	6.40±0.10	7.00±0.10	3.55±0.15	8.9	4.65±0.15	1.90	
EE16/14K	16.0±0.30	7.20±0.10	4.80±0.20	3.80±0.20	11.7	5.20±0.15	2.00	JIS
EE19/16K	19.1±0.30	7.95±0.15	5.00±0.20	4.55±0.15	14.2	5.60±0.10	2.30	JIS
EE19/16Z	19.3±0.32	8.10±0.18	4.76±0.13	4.76±0.08	14.1	5.72±0.13	2.38	
EE22/20	22.0±0.30	10.2±0.20	5.75±0.25	4.25±0.25	17.0	7.70±0.20	2.25	
EE25/19A	25.8±0.40	9.65±0.13	6.35±0.20	6.48±0.13	18.8	6.73±0.25	3.30	
EE25/19Z	25.4±0.38	9.53±0.25	6.35±0.25	6.35±0.13	18.7	6.38±0.17	3.18	JIS
EE25/20	25.0±0.30	10.2±0.20	6.40±0.30	6.40±0.30	18.2	6.65±0.15	3.25	
EE30/26K	30.0±0.50	13.2±0.20	10.7±0.30	10.7±0.30	19.5	8.15±0.15	5.00	JIS
EE30/30	30.0±0.50	14.9±0.25	6.90±0.30	6.90±0.20	19.5	10.2±0.25	5.00	
EE34/28A	34.6±0.45	14.2±0.20	9.27±0.25	9.27±0.25	25.4	9.90±0.25	4.38	
EE40/34B	40.0±0.60	16.8±0.40	11.7±0.40	11.7±0.40	26.8	10.7±0.15	6.35	
EE40/34K	40.0±0.50	17.0±0.30	10.7±0.30	10.7±0.30	27.4	10.3±0.30	6.00	JIS
EE40/35A	40.8±0.55	16.6±0.25	12.4±0.30	12.5±0.30	28.6	10.7±0.28	5.85	
EE40/44	40.1±0.60	22.3±0.30	11.7±0.40	11.7±0.40	27.3	15.2±0.20	6.05	
EE42/42-15W	42.2±0.90	21.0±0.20	15.0±0.30	12.0±0.30	29.5	15.2±0.40	6.03	JIS
EE42/42-20W	42.2±0.90	21.0±0.20	19.6±0.40	12.0±0.30	29.5	15.2±0.40	6.03	JIS
EE43/34	42.6±0.85	17.0±0.30	12.6±0.40	12.6±0.30	28.1	10.5±0.30	6.86	
EE47/39A	47.2±0.60	19.6±0.30	15.5±0.40	15.7±0.35	31.8	12.4±0.35	7.44	
EE50/42K	50.0±0.70	21.3±0.30	14.6±0.40	14.6±0.40	34.2	12.8±0.30	7.50	JIS
EE55/55A	55.2±1.10	27.5±0.30	20.7±0.30	17.0±0.30	37.5	18.9±0.40	8.52	JIS
EE56/47A	56.8±0.65	23.6±0.30	18.7±0.45	18.8±0.25	38.1	14.8±0.35	9.02	
EE80/76	80.0±1.00	38.1±0.40	19.8±0.40	19.8±0.40	61.2	28.2±0.30	8.90	

Shape code	Magnetic parameter				Center leg area $A_c$ (mm <sup>2</sup> )	Minimum cross sectional area $A_{min}$ (mm <sup>2</sup> )		Window area $A_w$ (mm <sup>2</sup> )	Approx. weight (g/pr.)	Test data (page)	Bobbin (page)
	$C_1$ (mm <sup>-1</sup> )	$A_e$ (mm <sup>2</sup> )	$l_e$ (mm)	$V_e$ (mm <sup>3</sup> )							
EE12.6/13	2.4057	12.4	29.7	367	12.6	12.1	L	26.3	1.90	—	—
EE13/13B	1.1934	25.1	30.0	752	24.9	23.8	B	26.6	3.70	47	—
EE16/14K	1.8662	18.9	35.2	663	18.2	18.2	C	42.6	3.20	48	59
EE19/16K	1.7168	23.1	39.6	915	22.8	22.8	C	55.7	4.58	49	—
EE19/16Z	1.7715	22.7	40.1	909	22.7	22.7	LBC	55.9	4.56	—	—
EE22/20	1.9594	26.1	51.2	1340	24.4	24.4	C	102	13.8	—	—
EE25/19A	1.2387	39.8	49.2	1960	41.1	37.1	B	85.6	9.96	—	—
EE25/19Z	1.1970	40.2	48.1	1940	40.3	40.0	B	81.0	10.3	50	—
EE25/20	1.1561	42.6	49.3	2100	41.0	41.0	C	80.5	10.3	—	—
EE30/26K	0.52756	110	57.9	6360	114	107	L	75.8	32.2	51	59
EE30/30	1.1538	57.3	66.1	3790	47.6	47.6	C	134	20.7	52	—
EE34/28A	0.85153	82.1	69.9	5750	85.9	79.7	B	164	29.5	—	—
EE40/34B	0.54389	142	77.5	11000	137	137	C	167	52.0	53	—
EE40/34K	0.60782	127	77.4	9860	114	114	C	178	52.0	54	60
EE40/35A	0.52569	149	78.1	11600	155	145	L	178	58.8	—	—
EE40/44	0.66917	145	97.2	14100	137	137	C	248	71.7	—	—
EE42/42-15W	0.54243	180	97.8	17800	180	180	BC	278	86.9	55	—
EE42/42-20W	0.41512	236	97.8	23000	235	235	BC	278	118	56	—
EE43/34	0.47780	165	78.7	13000	159	159	C	171	65.0	—	—
EE47/39A	0.38524	232	89.5	20800	243	223	B	206	106	—	—
EE50/42K	0.42677	226	96.3	21700	213	213	C	261	113	57	60
EE55/55A	0.34989	353	124	43700	352	352	C	400	218	58	—
EE56/47A	0.31597	339	107	36400	352	329	B	292	186	—	—
EE80/76	0.49137	377	185	69700	392	352	L	1480	354	—	—

Note: Minimum cross sectional area B; Back area C; Center leg area L; Side leg area



**Magnetic Parameter**

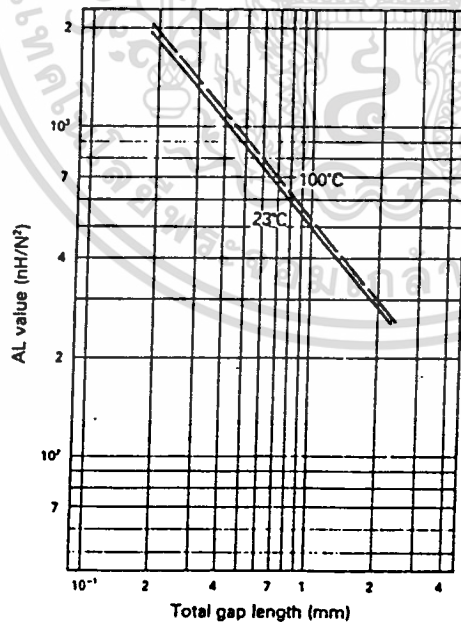
Core constant	$C_1$	0.34989 mm <sup>-1</sup>
Effective magnetic pass length	$l_e$	124 mm
Effective cross sectional area	$A_e$	353 mm <sup>2</sup>
Effective core volume	$V_e$	43700 mm <sup>3</sup>
Center leg area	$A_c$	352 mm <sup>2</sup>
Minimum cross sectional area (Center leg)	$A_{min}$	352 mm <sup>2</sup>
Winding area of core	$A_w$	400 mm <sup>2</sup>

Approx. Weight 218 g/pair

Unit: mm

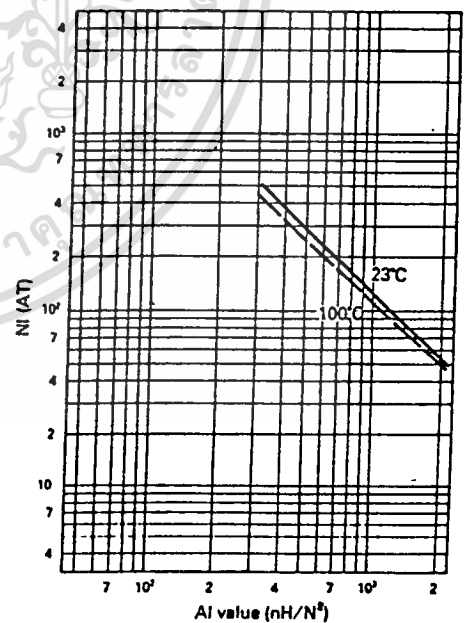
Product code	AL Value (nH/N <sup>2</sup> )	Effective permeability $\mu_e$	Air gap approx.	Core loss (Max.) 100kHz, 200mT (Watt)
6H20 EE55/55A	6,700 ± 25% (5,025–8,375)	1,880	0	21.9

AL value vs. gap length



23°C AL = 489.8 × G<sup>0.78375</sup> (nH/N<sup>2</sup>)  
 G = 2449.5 × AL<sup>1.25883</sup> (mm)  
 100°C AL = 507.1 × G<sup>0.82785</sup> (nH/N<sup>2</sup>)  
 G = 1852.3 × AL<sup>1.20794</sup> (mm)

NI vs. AL value



NI shows the point where the exciting current is 20% away from its extended linear part.

# IRFP450R/451R/452R/453R

## N-Channel Power MOSFET Avalanche Energy Rated

August 1991

### Features

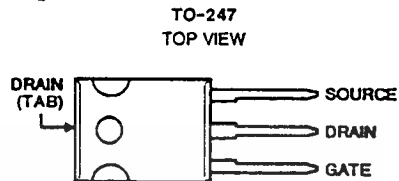
- 12A and 14A, 450V - 500V
- $r_{DS(on)} = 0.4\Omega$  and  $0.5\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated\*
- SOA is Power-Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance

### Description

The IRFP450, IRFP451, IRFP452, and IRFP453 are n-channel enhancement-mode silicon-gate power field-effect transistors. IRFP450R, IRFP451R, IRFP452R and IRFP453R types are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high-power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate-drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

The IRFP types are supplied in the JEDEC TO-247 plastic package.

### Package



### Terminal Diagram

N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE



### Absolute Maximum Ratings ( $T_C = +25^\circ\text{C}$ ), Unless Otherwise Specified

	IRFP450 IRFP450R	IRFP451 IRFP451R	IRFP452 IRFP452R	IRFP453 IRFP453R	UNITS
Drain-Source Voltage (1) .....	$V_{DS}$ 500	450	500	450	V
Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (1) .....	$V_{DGR}$ 500	450	500	450	V
Continuous Drain Current					
$T_C = +25^\circ\text{C}$ .....	$I_D$ 14	14	12	12	A
$T_C = +100^\circ\text{C}$ .....	$I_D$ 8.8	8.8	7.9	7.9	A
Pulsed Drain Current (3) .....	$I_{DM}$ 56	56	48	48	A
Gate-Source Voltage .....	$V_{GS}$ $\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 20$	V
Maximum Power Dissipation					
$T_C = +25^\circ\text{C}$ .....	$P_D$ 180	180	180	180	W
Linear Derating Factor .....	1.44	1.44	1.44	1.44	W/°C
Inductive Current, Clamped .....	$I_{LM}$ 52	52	48	48	A
(See Figure 14, $L = 100\mu\text{H}$ )					
Single Pulse Avalanche Energy Rating (4) .....	$E_{AS}^*$ 860	860	860	860	mJ
Operating and Storage Junction .....	$T_J, T_{STG}$ -55 to +150	-55 to +150	-55 to +150	-55 to +150	°C
Temperature Range					
Maximum Lead Temperature for Soldering .....	$T_L$ 300	300	300	300	°C
(0.063" (1.6mm) from case for 10s)					

#### NOTES:

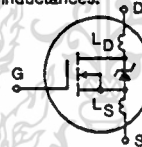
1.  $T_J = +25^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ .
  2. Pulse Test: Pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ .
  3. Repetitive rating: Pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5).
  4.  $V_{DD} = 50\text{V}$ , starting  $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $L = 7.9\text{mH}$ ,  $R_{GS} = 25\Omega$ ,  $I_{PEAK} = 14\text{A}$ . See Figure 15.
- \*R Suffix Types Only

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Proper I.C. handling procedures should be followed.  
Copyright © Harris Corporation 1991

File Number 2331

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics**  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS	
			MIN	TYP	MAX		
Drain-Source Breakdown Voltage IRFP450/452, IRFP450R/452R	BV <sub>DSS</sub>	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$	500	-	-	V	
IRFP451/453, IRFP451R/453R			450	-	-	V	
Gate Threshold Voltage	V <sub>GS(TH)</sub>	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$	2.0	-	4.0	V	
Gate-Source Leakage Forward	I <sub>GSS</sub>	$V_{GS} = 20V$	-	-	500	nA	
Gate-Source Leakage Reverse	I <sub>GSS</sub>	$V_{GS} = -20V$	-	-	-500	nA	
Static Gate Voltage Drain Current	I <sub>DSS</sub>	$V_{DS} = \text{Max Rating}, V_{GS} = 0V$	-	-	250	$\mu A$	
		$V_{DS} = \text{Max Rating} \times 0.8, V_{GS} = 0V, T_J = +125^\circ\text{C}$	-	-	1000	$\mu A$	
On-State Drain Current (Note 2) IRFP450/451, IRFP450R/451R	I <sub>D(ON)</sub>	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)} \text{ Max}, V_{GS} = 10V$	14	-	-	A	
IRFP452/453, IRFP452R/453R			12	-	-	A	
Static Drain-Source On-State Resistance (Note 2) IRFP450/451, IRFP450R/451R	r <sub>DS(ON)</sub>	$V_{GS} = 10V, I_D = 7.9A$	-	0.3	0.4	$\Omega$	
IRFP452/453, IRFP452R/453R			-	0.4	0.5	$\Omega$	
Forward Transconductance (Note 2)	g <sub>fs</sub>	$V_{DS} \geq 50V, I_D = 7.9A$	9.3	13.8	-	S(V)	
Output Capacitance	C <sub>ISS</sub>	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0\text{MHz}$	-	2000	-	pF	
Input Capacitance	C <sub>OSS</sub>	See Figure 10	-	400	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	C <sub>RSS</sub>		-	100	-	pF	
Turn-On Delay Time	t <sub>d(ON)</sub>	$V_{DD} = 250V, I_D = 14A, R_G = 8.1\Omega$ See Figure 16. (MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature)	-	18	27	ns	
Rise Time	t <sub>r</sub>		-	45	68	ns	
Turn-Off Delay Time	t <sub>d(OFF)</sub>		-	68	100	ns	
Fall Time	t <sub>f</sub>		-	41	60	ns	
Total Gate Charge (Gate-Source + Gate-Drain)	Q <sub>g</sub>	$V_{GS} = 10V, I_D = 14A, V_{DS} = 0.8V \text{ Max Rating}$ . See Figure 17 for test circuit. (Gate charge is essentially independent of operating temperature.)	-	82	130	nC	
Gate-Source Charge	Q <sub>gs</sub>		-	12	-	nC	
Gate-Drain ("Miller") Charge	Q <sub>gd</sub>		-	42	-	nC	
Internal Drain Inductance	L <sub>D</sub>	Measured between the contact screw on header that is closer to source and gate pins and center of die.	Modified MOSFET symbol showing the internal device inductances.		-	5.0	nH
Internal Source Inductance	L <sub>S</sub>	Measured from the source lead, 6mm (0.25") from header and source bonding pad.			-	12.5	nH
Junction-to-Case	R <sub>θJC</sub>		-	-	0.70	$^\circ\text{C/W}$	
Case-to-Sink	R <sub>θCS</sub>	Mounting surface flat, smooth and greased	-	0.10	-	$^\circ\text{C/W}$	
Junction-to-Ambient	R <sub>θJA</sub>	Free air operation	-	-	30	$^\circ\text{C/W}$	

**Source Drain Diode Ratings and Characteristics**

Continuous Source Current (Body Diode)	I <sub>S</sub>	Modified MOSFET symbol showing the integral reverse P-N junction rectifier.	-	-	14	A
Pulse Source Current (Body Diode) (Note 3)	I <sub>SM</sub>		-	-	56	A
Diode Forward Voltage (Note 2)	V <sub>SD</sub>	$T_J = +25^\circ\text{C}, I_S = 14A, V_{GS} = 0V$	-	-	1.4	V
Reverse Recovery Time	t <sub>rr</sub>	$T_J = +150^\circ\text{C}, I_F = 13A, dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	1300	-	ns
Reverse Recovered Charge	Q <sub>RR</sub>	$T_J = +150^\circ\text{C}, I_F = 13A, dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	7.4	-	$\mu\text{C}$
Forward Turn-on Time	t <sub>ON</sub>	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by L <sub>S</sub> + L <sub>D</sub> .	-	-	-	-

NOTES: 1.  $T_J = +25^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$

2. Pulse Test: Pulse width  $\leq 300\mu s$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$

3. Repetitive Rating: Pulse width limited by max. junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5)

4.  $V_{DD} = 50V$ , Start  $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $L = 7.9\text{mH}$ ,  $R_{GS} = 25\Omega$ ,  $I_{PEAK} = 14A$  (See Figure 15)

## Performance Curves

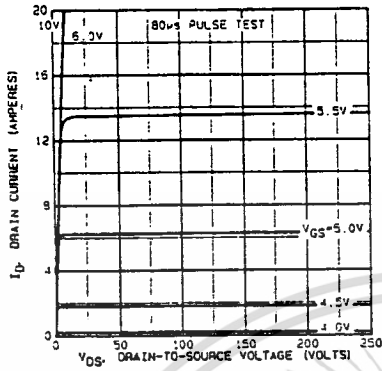


FIGURE 1. TYPICAL OUTPUT CHARACTERISTICS

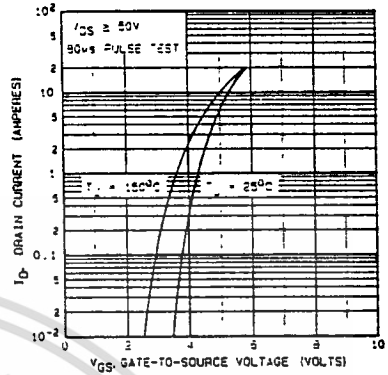


FIGURE 2. TYPICAL TRANSFER CHARACTERISTICS

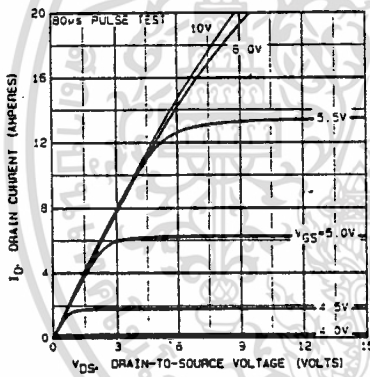


FIGURE 3. TYPICAL SATURATION CHARACTERISTICS

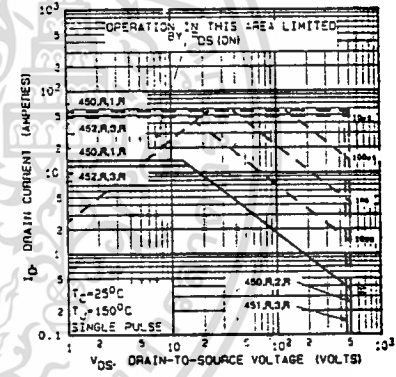


FIGURE 4. MAXIMUM SAFE OPERATING AREA

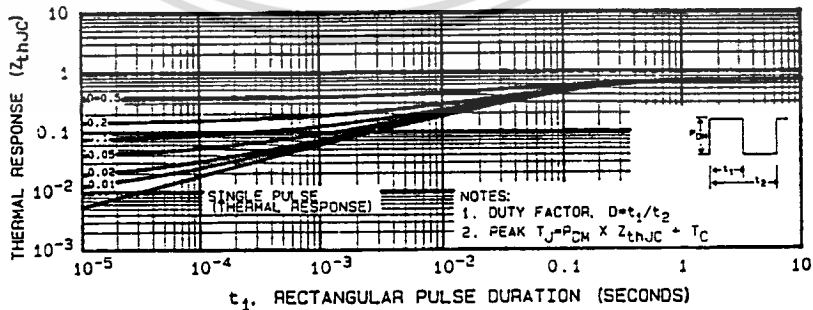


FIGURE 5. MAXIMUM EFFECTIVE TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE, JUNCTION-TO-CASE vs PULSE DURATION

Performance Curves (Continued)

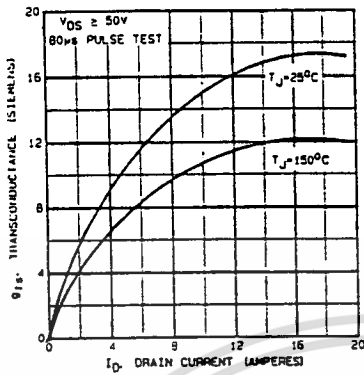


FIGURE 6. TYPICAL TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

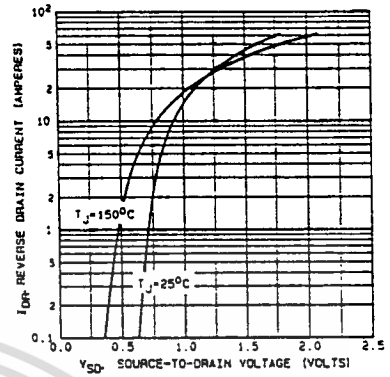


FIGURE 7. TYPICAL SOURCE-DRAIN DIODE FORWARD VOLTAGE

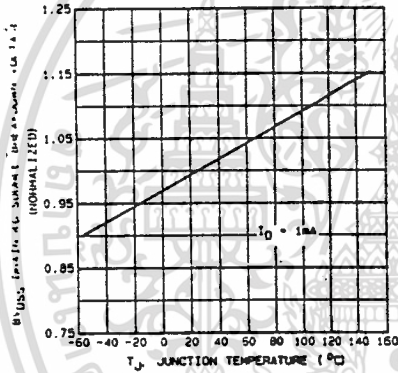


FIGURE 8. BREAKDOWN VOLTAGE vs TEMPERATURE

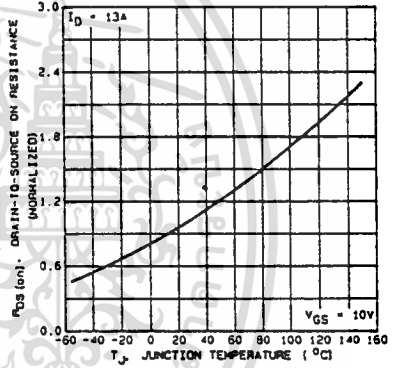


FIGURE 9. NORMALIZED ON-RESISTANCE vs TEMPERATURE

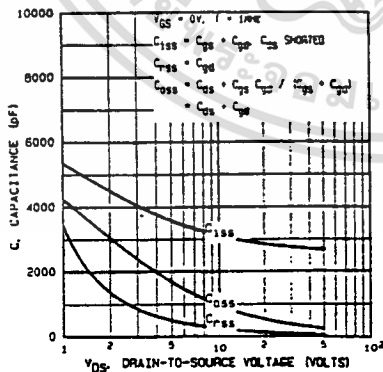


FIGURE 10. TYPICAL CAPACITANCE vs DRAIN-TO-SOURCE VOLTAGE

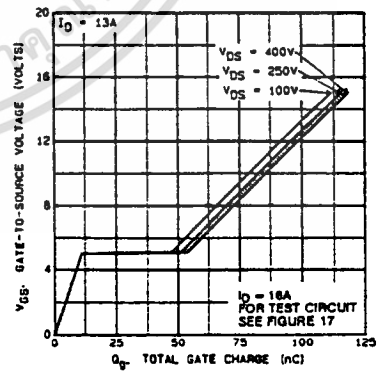


FIGURE 11. TYPICAL GATE CHARGE vs GATE-TO-SOURCE VOLTAGE

Performance Curves (Continued)

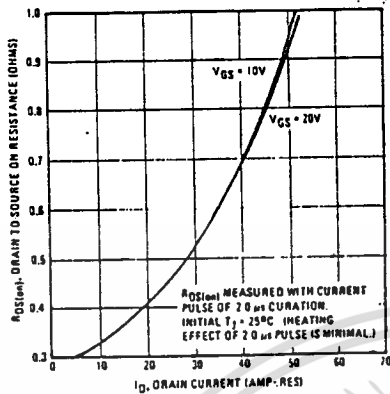


FIGURE 12. TYPICAL ON-RESISTANCE VS. DRAIN CURRENT

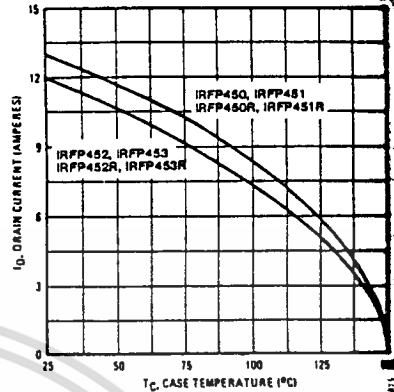


FIGURE 13. MAXIMUM DRAIN CURRENT VS. CASE TEMPERATURE

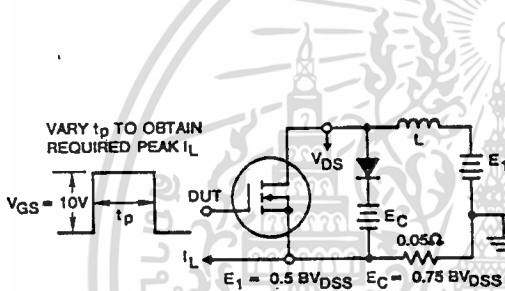


FIGURE 14a. CLAMPED INDUCTIVE TEST CIRCUIT

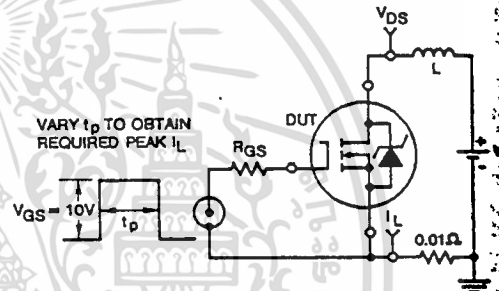


FIGURE 15a. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

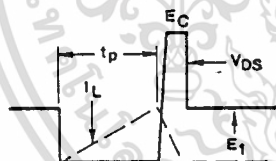


FIGURE 14b. CLAMPED INDUCTIVE WAVEFORMS

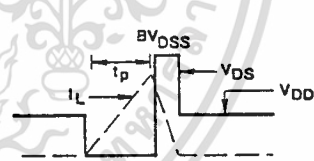


FIGURE 15b. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

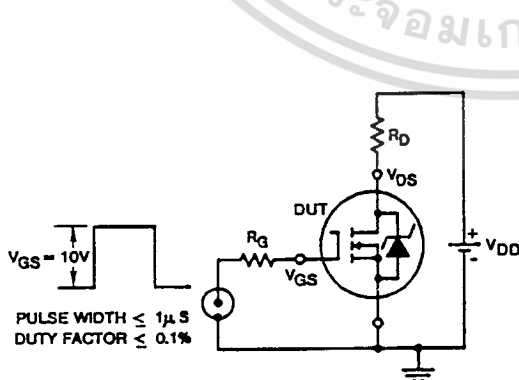


FIGURE 16. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

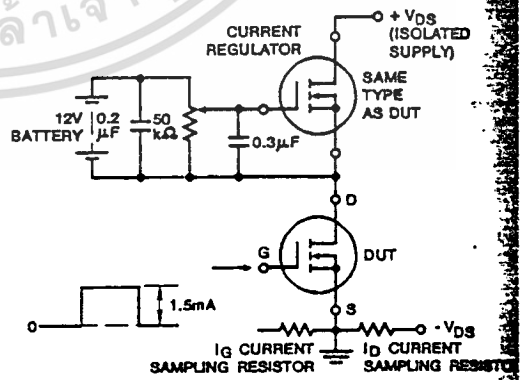


FIGURE 17. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้ถูกจัดทำขึ้นจนกระทั่งเป็นรูปเล่ม คณะผู้เขียนขอขอบคุณ อาจารย์ พิชิต ล้ำยอง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้คำชี้แนะตลอดจน ดูแลเอาใจใส่แก่นักศึกษา ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ให้การช่วยเหลือต่างๆ ขอขอบคุณ พี่ ๆ ที่ทำหน้าที่เบิกจ่ายอุปกรณ์ ที่ให้ความสะดวกใน การเบิกจ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองต่าง ๆ และขอขอบคุณ บุคคล ที่เกี่ยวข้องทุก ๆ คนที่มีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญาบัตรฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. George C. Chrysis , “High-Frequency Switching Power Supplies : Theory & Design” Mc Graw-Hill , 1989
2. สุวัฒน์ ดัน , “เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย” , บริษัท เอนเทลไทย จำกัด , 2537
3. Abraham I Pressman , “Switching Power Supply Design” . Mc Graw-Hill , 1991
4. M A Laughton and M G Say , “Electrical Engineer 's Reference Book ” , 14<sup>th</sup> Edition , Butterworth , 1985
5. Rakosh Das Begamudre , “Electro - Mechanical Energy Conversion with Dynamics of Machines” ‘ Wiley Eastern Limited ‘ 1988
6. พิชิต ล้ายอง , “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1” , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537