

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴∴ 作品說明書 ∴∴

高中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：高 中 組

作品名稱：電動機和發電機的對話

法拉第定律的研究 ～～ 感應電動勢

關 鍵 詞：法拉第定律、電磁矩、感應電動勢

編 號：040101

學校名稱：

國立臺南第二高級中學

作者姓名：

周明達、周宏達、陳品昇、許至皓

指導老師：

李尚勝



壹、研究動機：

著名的法拉第定律給我們一個值得研究的現象，即感應電動勢來自於磁通量的切割速率，也就是這個理論，才有今日發電機的基本理論架構。但在日常生活中卻不容易發現這個現象，更別說要親眼看到感應電動勢，有鑑於此，也基於我們對馬達和直流發電機的興趣，想要對感應電動勢好好研究一番，於是和我的同學著手進行這一次的研究。

貳、實驗目的：

1. 設計實驗裝置，使電動機帶動直流發電機運轉(電動機為 Eng，發電機為 Gen)
2. 設計實驗，測出動力源無負載之 ω 值，並求得和發電機之轉軸連接時，有負載轉速值之正確值。
3. 實驗所用的軸心發電機，為具有 3 個電樞，運轉原理為何和一般發電理論有何差別？
4. 若將不同變因(改變匝數、線徑大小、最大匝數)的軸心，作為發電機時轉速值有何變化？
5. 若改變為發電機時，並輸入不同的 ω 值，其 ε 值發電量有何變化？
6. 利用實驗測知 B(磁場強度)
7. 看到感應電動勢在示波器上的情形。若將不同變因之軸心作為電動機時，線路中的端電壓值在示波器上的變化情形。

參、研究器材及設備：

1. 示波器	1 台	2. 電源供應器	1 台
3. 潤滑油	1 瓶	4. 伏特計	1 台
5. 專用馬達前後蓋	2 個	6. 實驗用軸心	數顆
7. 自製轉測機	1 台	8. 銅線(0.40、0.45、0.50、0.55)數捆	
9. 自製計時器	1 個	10. 電烙鐵	1 組
11. 自製發電裝置機台(裝置B1台)		12. 計算機	1 台
13. 電線(附鱷魚夾)	數條	14. 專用磁鐵	數組
15. 安培計	1 台		

肆、儀器設計及理由：

一. 自製發電裝置機台

為一將馬達及直流發電機之轉動軸連接在一起裝置由於馬達的轉速夠穩定(由示波器觀察 ε 仍有些不穩，已有改進，見實驗改良)可帶動發電機進行運轉

二. 自製轉測機及計時器

1. 利用齒輪的轉差速，令原本的轉速無虧損地降低至計時器可接受的範圍

2. 利用轉測機上的圓盤及弧形橋轉動時到某一定點時，即可觸發計時器的開關，並自行設定圈數可得準確的秒速，經記算可得該馬達之準確 rps

3. 捕捉感應電動勢的波形

(1) 利用示波器進行捕捉

(2) 頻率的給定：由於馬達和發電機是直接將轉動軸組接，故馬達頻率 (rps) 應等於發電機之轉動頻率，並推得週期，即可決定將示波器的時基設定在理想範圍內

(3) 伏特的測量：利用伏特計來進行測量並可利用測得的量值，進而調整示波器上的振幅調至理想範圍

(4) 示波器的準確調整及觀察：由於所產生的 ε 為一差值利用示波器的 xy 軸輸入端按上直流發電機的銅刷輸出兩端，調整振幅，並利用已知的頻率及週期調整時基至理想範圍即可觀察產生的 ε 在示波器上的情形

三. 原理說明及模擬實驗：

ω 值的修正：由載流線圈所通過的電流所形成的力偶矩得知，若電動機之電力源在零負載的情況下，線圈通過的電流強度安培(Amp)可使線圈軸心的轉動慣量 I_0 產生 α 的角加速度，當加速過程經過 t 時間後，即可使通入電流的力偶矩強度和產生的反電動勢及承軸間的極小摩

擦力抵銷，即可得到 $C_1 = BI_A N A \sin \theta = I_w \alpha_A$ -----①

(註： I_A 為電動機之線圈通過的電流； I_w 為該電動機軸心之轉動慣量)

若為有負載時可得 $C_2 = BI_{A'} N A \sin \theta = (I_w + I_{ex}) \times \alpha_{A'}$ -----②

(註： $I_{A'}$ 為電動機和發電機之轉軸連接時，電動機線圈之電流 I_{ex} 為實驗軸心的轉動慣量) 且由於動力源電動機之轉動慣量和實驗軸心之轉動慣量，幾乎相等，動力源發動機之 B (磁場強度)、 N (匝數)、 A (線圈面積) 在有無負載的情況下均不變，由①②可得。

$$\frac{I_A}{I_{A'}} = \frac{I_w \alpha_A}{2 I_w \alpha_{A'}} \quad \frac{\alpha_A}{\alpha_{A'}} = \frac{2 I_A}{I_{A'}}$$

故可經由安培計測知，電流強度(I_A 、 $I_{A'}$)零負載時，為一等加速運動，在 t_A 秒時，轉速達到最高穩定值，可得 $W_A = \alpha_A t_A$ ，則可利用轉測機測得 W_A 值，求得 α_A 值；即可求得有負載時之 $\alpha_{A'}$ 值。

並利用碼表測得發電機運轉之加速度時間 $t_{A'}$ 乘上 $\alpha_{A'}$ 即可求得發電機之運轉 $W_{A'}$ 值，帶入法拉第定律。

(註：經 t_A 、 $t_{A'}$ 秒後之 ω 值均不變，即達到穩定)

由法拉第定律知： $\varepsilon = N B A \omega \sin \omega t$ 當 $\theta = 90^\circ$ 即 $\omega t = 90^\circ$

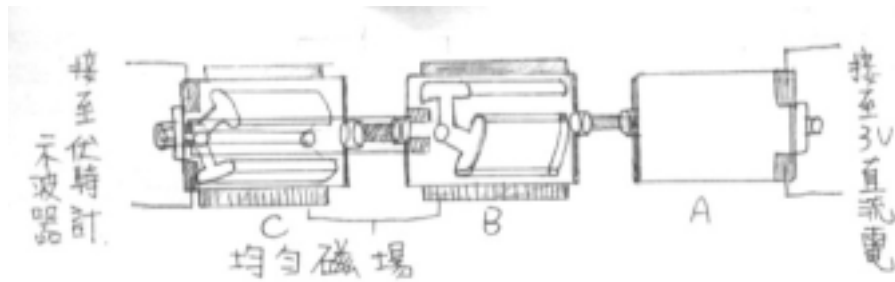
ε 有最大值，根據我們的模擬實驗(利用圓盤上距轉軸中心各等距 0.3cm 處插上三支塑膠條代表實驗軸心的三個電樞並使圓

盤轉動)可發現選定其中一電樞在轉動時和其他兩個電樞形成和轉軸中心成120度的角度，又馬達使用的磁場有鐵殼的保護下，本身的磁場相當均勻，故根據選取的電樞和其他個電樞的角度關係可將公式

$$\varepsilon = NBA\omega \sin(\omega t + 120^\circ) + NBA\omega \sin(\omega t + 120^\circ) + NBA\omega \sin\omega t$$

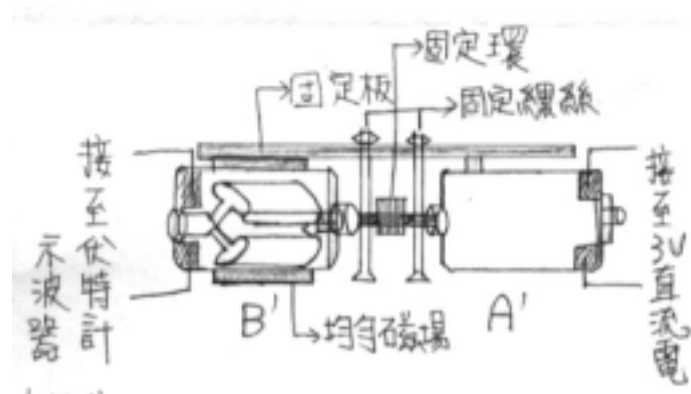
又當 $\omega t = 90^\circ$ 時有最大值，代回原式可得直流發電機 $\varepsilon = 2NBA\omega$ ，我們可由這條公式和經由實驗所得電動勢便求得B值

ε ：感應電動勢 N ：線圈匝數 B ：磁感應強度 A ：線圈面積 ω ：運轉角速度 $=2\pi f$



A：馬達 B：直流發電機 C：直流發電機

其中將裝置 B 的整流器(三片)接上銅線(不接銅刷)接至裝置 C 的整流器上，再經由裝置 C 的銅刷，將產生的感應電動勢導出，且由於 B、C 組裝電樞的相對位置是固定的，且運轉為同時的，故可改變 B、C 內的電樞的相對位置。



A'：馬達 B'：直流發電機

將 A' 之轉動軸和 B' 之轉動軸相接
達成發電所需的磁通量變化。
其中磁通量變化的週期相當於馬達轉
動頻率的倒數。

伍、實驗過程：

實驗一

1. 實驗目的：測量動力源電動機在無及有負載情況下，之電流強度(I_A 、 $I_{A'}$)
2. 實驗步驟：藉由觀察線路上之安培計，從加速至穩定時之電流值可得知，動力源電動機是否達到最高而穩定，而按下碼表，因剛通入電壓時，線路內之反電動勢(emf)尚未建立，故 I_A 、 $I_{A'}$ 有最大值，等到 t_A 及 $t_{A'}$ 秒後， I_A 、 $I_{A'}$ 值下降到穩定不動為止。

實驗二

1. 實驗目的：觀察不同變因之軸心，作為發電機時之 ω 值
2. 實驗步驟：使用不同線徑、不同軸心長度、最大匝數的軸心。
裝入場磁及電刷後，置入轉測機並通入3V直流電，利用計時器測下圓盤轉動10圈知秒數，並算得r. p. s值。

實驗三

實驗目的：觀察不同變因之軸心，作為發電機之值

實驗步驟：線圈面積 $1.4 \times 0.5 \text{cm}^2 = 0.7 \text{cm}^2 = 0.00007 \text{m}^2$

將不同變因之軸心，作為發電機並和電動機之轉軸連接；並運轉，將示波器皆在發電機之電刷兩端

實驗四

實驗目的：改變 ω 值和 ε 的關係

實驗步驟：不同變因之軸心，接上不同之動力源（經修正過）

實驗五

實驗目的：測量實驗二中，線路電壓值及電流值

實驗步驟：線路串聯安培計；伏特計並聯。

不同線徑	0.4	0.45	0.5	0.55
------	-----	------	-----	------

不同軸心長度	9mm	10mm
--------	-----	------

最大匝數	0.4	84匝
------	-----	-----

	0.45	63匝
--	------	-----

	0.5	63匝
--	-----	-----

	0.55	45匝
--	------	-----

陸-1、實驗數據(表)：

實驗一

無負載 $I_A=2.5A$ $t=3.05$ 秒 $\omega=1548\pi$

有負載 $I_{A'}=3.8A$ $t=3.66$ 秒 $\omega=1449\pi$

	無負載	有負載
電流強度	2.5A	3.9A
加速時間	$t_1=3.01$ $t_2=3.08$ $t_3=3.07$ $t_4=2.97$ $t_5=3.17$ $t_6=3.00$	$t_1=3.56$ $t_2=3.60$ $t_3=3.58$ $t_4=3.76$ $t_5=3.65$ $t_6=3.67$
平均t(秒)	3.05	3.66
角速度 ω 值	1548π	1449π

實驗二

A.

軸心 9mm

線徑 D (mm)	0.40	0.45	0.50	0.55
匝數 n	40.5	40.5	40.5	40.5
10 t1 (秒)	9.64	9.07	8.73	8.92
10 t2 (秒)	9.87	9.14	8.85	8.82
10 t3 (秒)	9.78	9.28	8.77	8.65
10 t4 (秒)	9.79	9.12	8.77	8.62
10 t5 (秒)	9.76	9.07	8.86	8.53
平均 10 圈秒數	9.768	9.136	8.796	8.708
每秒中轉數 (rps)	524.161	560.420	582.083	587.965

B.

軸心 10mm

線徑 D (mm)	0.40	0.45	0.50	0.55
匝數 n	40.5	40.5	40.5	40.5
10 t1 (秒)	9.64	9.13	9.21	8.69
10 t2 (秒)	9.68	9.13	9.05	9.19
10 t3 (秒)	9.69	9.11	9.01	8.83
10 t4 (秒)	9.53	9.23	8.96	8.91
10 t5 (秒)	9.35	9.22	9.15	8.91
平均 10 圈秒數	9.578	9.164	9.076	8.906
每秒中轉數 (rps)	534.558	558.708	564.125	574.893

C.

軸心 10mm

線徑 D (mm)	0.40	0.45	0.50	0.55
匝數 n	85.5	64.5	64.5	46.5
10 t1 (秒)	13.79	11.51	11.32	8.97
10 t2 (秒)	13.65	11.37	11.30	9.05
10 t3 (秒)	13.60	11.36	11.29	9.06
10 t4 (秒)	13.67	11.40	11.20	8.87
10 t5 (秒)	13.63	11.46	11.24	8.96
平均 10 圈秒數	13.668	11.420	11.270	8.982
每秒中轉數 (rps)	374.598	448.336	454.303	570.029

D.

軸心 10mm

線徑 D (mm)	0.55	0.55	0.45	0.45
匝數 n	28.5	37.5	28.5	37.5
10 t1 (秒)	8.19	8.97	9.14	8.88
10 t2 (秒)	8.47	8.83	8.20	9.07
10 t3 (秒)	8.38	8.91	8.29	9.17
10 t4 (秒)	8.37	8.48	8.44	9.11
10 t5 (秒)	8.41	8.46	8.13	8.84
平均 10 圈秒數	8.364	8.730	8.240	9.014
每秒中轉數 (rps)	612.147	586.483	621.359	568.005

實驗三

A.

軸心 9mm

線徑D	0.4	0.45	0.5	0.55
匝數N	40.5	40.5	40.5	40.5
ε 值	1.55V	1.6V	1.75V	1.6V
動力源之電流 強度及電壓強 度	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V

線圈面積： 0.00007m^2

B.

軸心 10mm

線徑D	0.4	0.45	0.5	0.55
匝數N	40.5	40.5	40.5	40.5
ε 值	1.55V	1.6V	1.75V	1.9V
動力源之電流 強度及電壓強 度	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V

線圈面積： 0.00007m^2

C.

軸心 10mm

線徑D	0.4	0.45	0.5	0.55
匝數N	84	63	63	45
ε 值	3.1V	2.5V	2.6V	2.1V
動力源之電流 強度及電壓強 度	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V

線圈面積：0.00007m²

D.

軸心 10mm

線徑D	0.45	0.45	0.55	0.55
匝數N	27	36	27	36
ε 值	1.1V	1.5V	1.2V	1.55V
動力源之電流 強度及電壓強 度	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V	3.9A 2.6V

線圈面積：0.00007m²

實驗四

A.

$$\omega = 1047 \pi \text{ (經修正的)}$$

線徑D	0.4	0.45	0.5	0.55
匝數N	84	63	63	45
ε 值	2.40V	1.80V	1.75V	1.35V

B.

$$\omega = 877 \pi \text{ (經修正的)}$$

線徑D	0.4	0.45	0.5	0.55
匝數N	84	63	63	45
ε 值	1.65V	1.00V	0.95V	0.45V

實驗五（實驗二中，線路電壓值及電流值）

A.

電流(安培 A)	2	2.1	2.23	2.4
電壓(伏特 V)	2.3	2.25	2.15	1.85

B.

電流(安培 A)	2.3	2.3	2.3	2.1
電壓(伏特 V)	2.1	2.0	2.0	2.1

C.

電流(安培 A)	0.9	1.25	1.25	1.6
電壓(伏特 V)	2.55	2.4	2.35	2.25

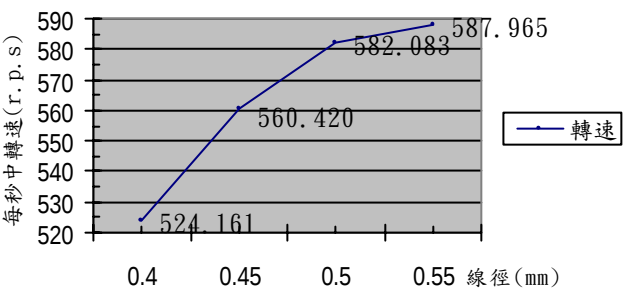
D.

電流(安培 A)	3.25	2.3	3.1	2.35
電壓(伏特 V)	1.6	2.0	1.65	2.0

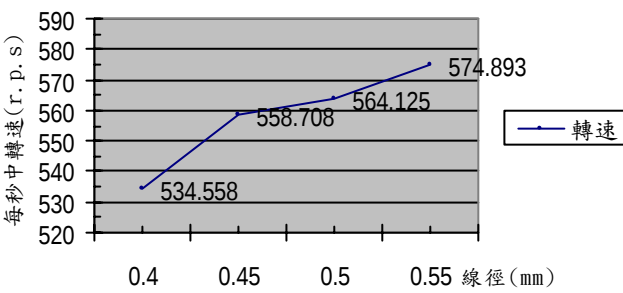
陸-2、實驗數據(圖)：

實驗二

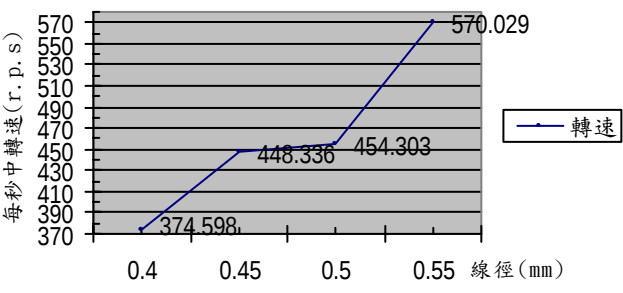
A.



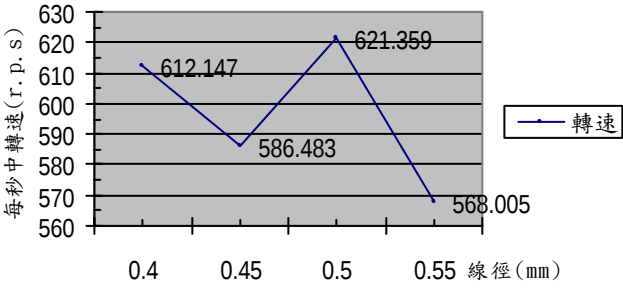
B.



C.

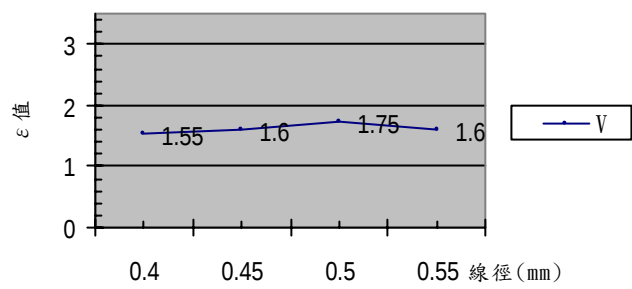


D.

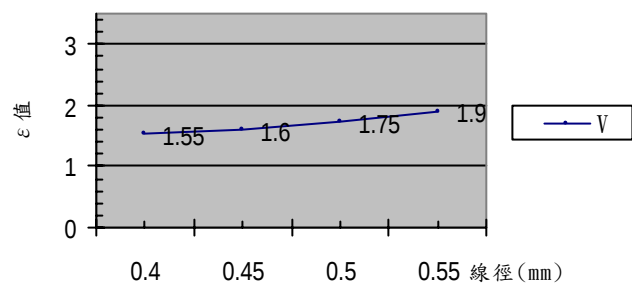


實驗三

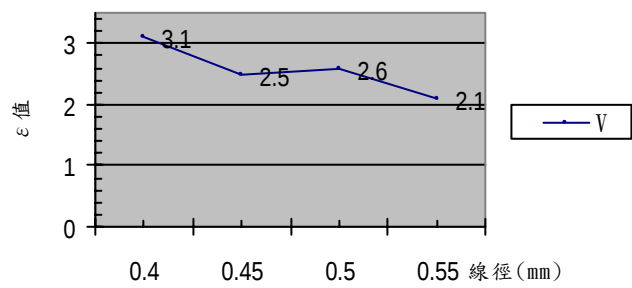
A.



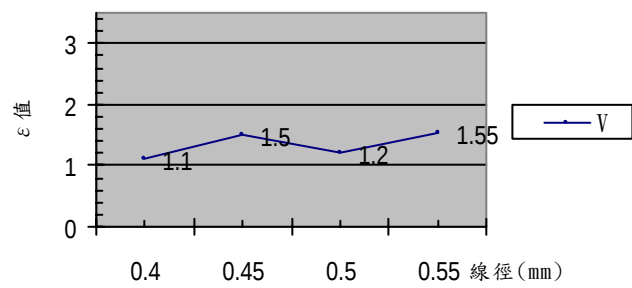
B.



C.

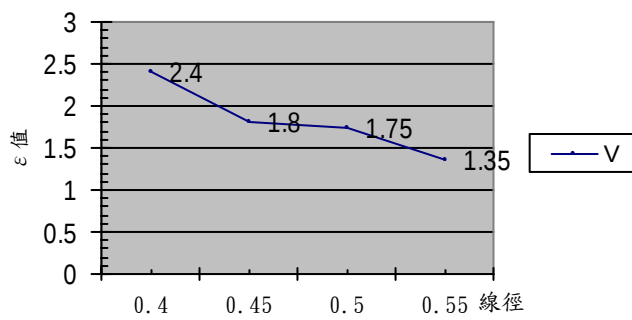


D.

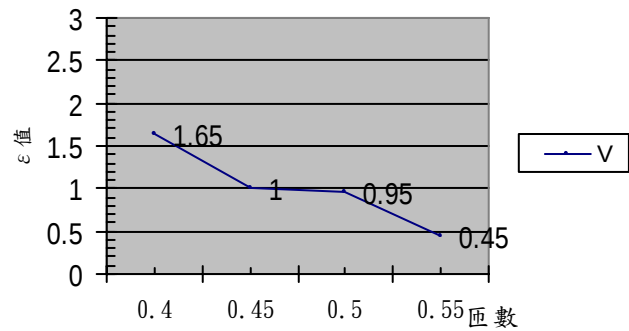


實驗四

$\omega = 1047 \pi$

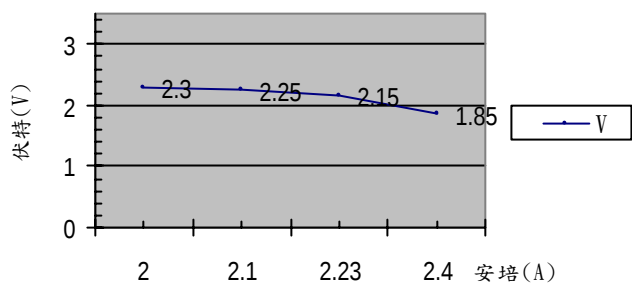


$\omega = 877 \pi$

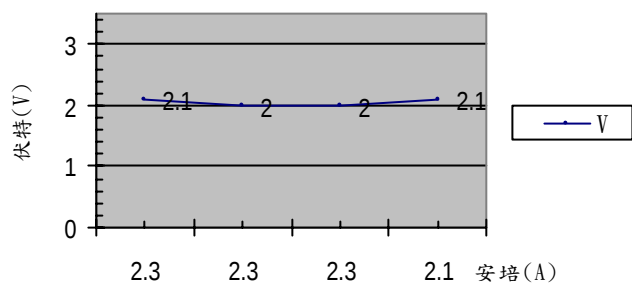


實驗五

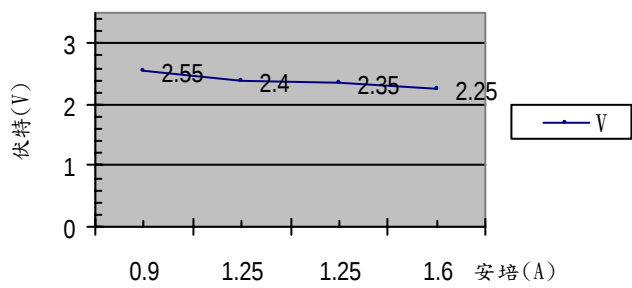
A.



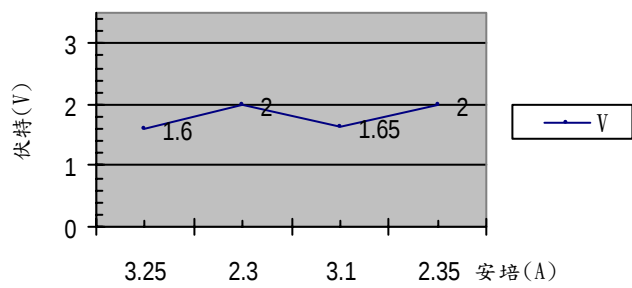
B.



C.



D.



- 捌、討論
1. 由實驗二中可發現，若要使電動機之轉速值產生最大，則通過線圈之電流要越大，且匝數要越多，而在匝數最大的情況下，若電流過小，則轉速值仍然很小，原因在於通過電流所產生的電磁矩大小，通過電流越大，則轉速上升，反之則下降。
 2. 在實驗中，可發現匝數的多少，佔有產生 ε 值很大的部分，因為線圈面積幾乎相差都在千分之五以下，可說是幾乎沒有，又使用相同的場磁，自然造成 ε 值不同的只有匝數。
 3. 由實驗四中可得知，當輸入的 ω 值下降時，所產生的 ε 值有很大的下降；顯示除了匝數 N 的影響很大外， ω 值也佔有很重要的影響。
 4. 在觀察發電的實驗時，示波器的波形常有左右晃動的現象，研判應該是電動機牽引發電機發電時，轉不夠穩定所造成的；在電動機上串聯一電容器之開關，波形晃動情形即可改善。
 5. 由實驗三中，在示波器之波形觀察中，所觀察的波形只須將所調之 V/DIV 值和所觀察的振幅全長相乘即可得到 ε 值。
 6. 由實驗二、三、五得知，10mm、0.4 線徑、83 匝 之匝心，在作為電動機時，因線圈極細，致使通過之電流過小，也使電磁矩值下降，而使轉數來得相對的低。
 7. 將 ω 值改變和 ε 值改變的斜率，與 N 值改變和 ε 值改變的斜率均相當大。
 8. 根據實驗結果的運算下，發現 $B=0.47 \frac{\text{牛頓}}{\text{安培} \cdot \text{米}}$ ，均無多大誤差〔均在百分之一以下〕，驗證我們之前的實驗推論。
 9. 示波器上調整器 volt 值可先用伏特計測量的 ε 值，再進行調整時基的週期，也可用轉測機得頻率的倒數來得知週期。

玖、結論：

1. 電動機方面，影響 r. p. s 值最大的為通過線圈的電流。線圈粗細僅能改變通過電流的大小，和匝數較無影響。
2. 發電機方面，影響感應勢較大者為線圈的匝數，即運轉的 ω 值。由於本身軸心的固差，線圈面積極小，故對感應電動勢無多大的影響。
3. 由電磁矩推導發電機運轉之角加速度值，以及測量的加速時間，更能得到較準確之數據，增加實驗本身的準確度。且由於轉測機之測量，能得到準確的零負載時之 r. p. s 值。
4. 由實驗可驗證假設的可靠性，並求得校正確知之數據。
5. 利用示波器可完整地捕捉到感應電動勢的動態，並根據所得的資料，進行正確的調整工作，觀察到電動勢的形成過程。
6. 利用實驗的推論正確地求得磁感應強度 B (約為 $0.47 \frac{\text{牛頓}}{\text{安培} \cdot \text{米}}$)，和實驗的誤差僅在百分之一。

拾. 參考書目

1. 高級物理學(下) 導師出版社
2. 物理基礎觀念 第4冊 吳友仁 編著，東江圖書公司
3. 交通大學電力與運動控制實驗室，網址
<http://pemclab.cn.nctu.edu.tw>
4. 費因曼物理學 徐氏基金會出版
5. 普通物理學 下冊 正中書局
6. 物理精析 李畊 編著