

科學圖書大庫

同步器·伺服器·迴轉儀
之基本原理

譯者 嚴慕先

徐氏基金會出版

U666
Yr3

科學圖書大庫

同步器·伺服器·迴轉儀
之基本原理

譯者 嚴慕先

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 王洪鎧 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十七年七月五日初版

同步器·伺服器·迴轉儀 之 基 本 原 理

基本定價 1.60

譯者 嚴慕先 海軍官校副教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 江淮彩色印刷股份有限公司 電話：5413269 • 5416842

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪鎧氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

1121/17
翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

目 錄

第一章 緒 論

1-1 電磁感應·····	1
1-2 伺服馬達·····	4
1-3 倍功發電機·····	6
1-4 變率發電機·····	8

第二章 同步器 I

2-1 一般構造·····	11
2-2 分 類·····	12
2-3 標準標示及符號·····	14
2-4 同步器原理·····	16
2-5 差動同步器·····	22
2-6 控制變壓器·····	25

第三章 同步器 II

3-1 多速同步系統·····	30
3-2 同步電容器·····	32
3-3 標準連接·····	32
3-4 同步器定零位之方法·····	36
3-5 類似裝置·····	43

第四章 伺服系統

4-1 基本伺服系統·····	56
4-2 檢差器·····	58
4-3 伺服放大器·····	69
4-4 電動液壓伺服系統·····	89

第五章 迴轉儀及加速計

5-1 迴轉儀·····	94
5-2 水平及垂直迴轉儀·····	103
5-3 摘取器與轉矩器·····	109
5-4 方向、穩定、及變率迴 轉儀·····	112
5-5 迴轉儀之構造·····	115
5-6 加速計·····	116

第六章 系統應用

6-1 武器射控系統·····	121
6-2 電羅經系統·····	123
6-3 飛機之自動導航系統·····	132
6-4 慣性導航系統·····	134

附錄 I 同步器故障

第一章 緒論

本書為海員學習伺服系統 (Servosystem) 及其他相關裝置之基本參考書。學習本書之學生必須具備基本電學及基本電子學之知識，尤其應熟悉電子管、半導體、電源供應及放大器等之理論。

本書之第二及第三章討論船用之各種同步器 (Synchro) 元件。第二章所述為各型同步器元件之構造，分類與標識方法，以及運轉之基本原理。第三章則介紹多速同步器元件之有關資料，標準連接之方法，及定零位之步驟 (Zeroing procedures)。同時並介紹一些與同步器類似之元件，如 IC 同步器、分解器 (Resolver) 及逐步 (Step by step) 元件等。

第四章將討論伺服系統之運轉及應用。並且對於開迴路 (Open loop) 與閉迴路 (Closed loop) 系統、以及使用於系統中之誤差探測器 (Error detector) 與伺服放大器 (Servoamplifier) 等均有詳細的介紹。

迴轉儀 (Gyroscope) 的原理，及船用迴轉儀之一般型式均於第五章介紹。同時該章也討論船用及空用加速計 (Accelerometer) 之基本型式。

第六章所介紹者為如何將本書已討論過的各種元件應用於船上與飛機上之某些系統中，及這些系統之作用原理。

附錄一中所列為同步器之故障資料。

本章則將基本電學中曾討論過的電磁感應之基本觀念重新複習一遍，並討論一些一般與伺服系統連接使用的馬達及發電機。而且在本章還介紹這些元件之運轉原理，及它們與傳統的馬達和發電機之不同處；至於它們的功能將在以後各章內討論。

1-1 電磁感應

在無任何接觸的情況下，凡以電的方法來產生磁的效應，或以磁的方法來產生電的效應即稱為電磁感應。1819年丹麥物理學家韓司克里斯頓奧斯特 (Hans christan orsted) 發現一有電流之導線會使一磁針偏轉，這就是一種磁。直到十二年後，美國的米克爾法拉第 (Michael faraday) 及美

2 同步器、伺服器、迴轉儀之基本原理

國的約瑟夫亨利 (Joseph henry) 才證明了磁可用來產生電流之理論。此原理將述於下。

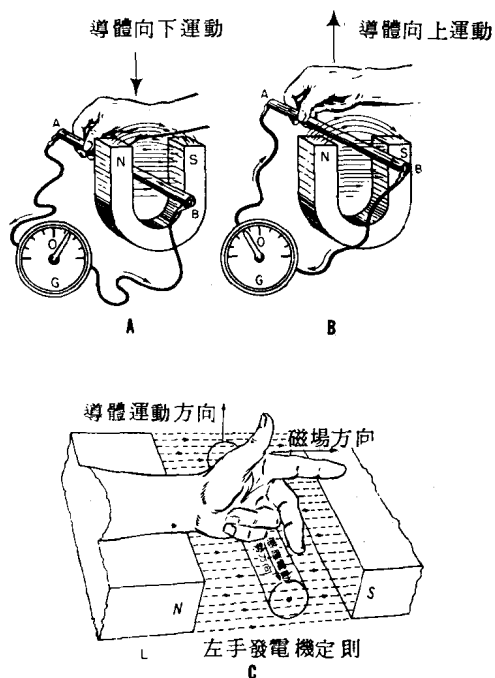


圖 1-1 由磁所生之電壓

12.143

如將一導體之兩端接於一電壓表或電流表，並使此導體在一強磁場內快速向下運動，如圖 1-1 A 所示，則電表之指針將有一偏轉之讀數。若再使導體在磁場內向上運動 (圖 1-1 B)，電表之指針則反向偏轉。反之若將導體固定而讓磁鐵運動，使磁場能橫切於該導體，則電表指針亦將有令導體運動磁場固定時之相同的偏轉。但若使導體自磁鐵之南極沿磁場向磁鐵之北極運動，或反方向運動，使導體不切割磁場，電表指針則不會偏轉。

因電磁感應而在導體之 A B 兩端所生之電壓稱為感應電動勢 (Electromotive force or e.m.f.)，因感應電動勢而生之電流則稱為感應電流。圖 1-1 C 所示之左手發電機定則即為磁場、導體之運動及感應電動勢三者方向之明確關係。

由前數段可看出若要導體因電磁感應而生電動勢，則導體與磁場間必須有相對運動，且運動時導體必須能切割磁力線。感應電動勢之大小與導體切割磁力線之變率成比例。這就是基本電學中曾介紹過的法拉第定理 (Faraday law)。另外，由感應電流而生之磁場係反對原磁場之變動而變動，這也是基本電學中曾詳細介紹的楞次定理 (Lenz's law)。

1-1-1 自感及互感 所有帶電流之導體四周均有磁力線的圍繞，這些磁力線是直接受導體內電流之影響而變化。導體內電流之任何變化均會使圍繞導

體四週之磁力線產生一相對的變化。如電流為先上升再下降，磁場也相對的會先增強再減弱，且導體也因此而感應一電動勢。這種現象稱為“自感”(Self induction) 自感所生之電動勢永遠與外加於導體之電動勢相反(楞次定理)，此即稱為反電動勢(Counter electromotive force or c.e.m.f.)。

繞於流有電流之導體周圍的磁場除了會使自己感應一電動勢外，對於靠近該導體四周且在磁場範圍內之任何其他導體也會感應而生電動勢。這種現象稱為“互感”(Mutual inductance)。

1-1-2 變壓器的現象 變壓器之工作原理是利用互感作用使電的能量能自一線圈(Winding)傳送至另一線圈。在基本電學中曾介紹過，由變壓器之初級線圈(Primary winding)(簡稱初圈)傳送至次級線圈(Secondary Winding)(簡稱次圈)之電壓是與兩線圈之匝(Turns)數成正比的(變壓器內部之損失忽略不計)，如圖 1-2 A 所示。祇要初級線圈及次級線圈能按物理法則排列(如圖 1-2 A 所示，兩者之中心軸平行排列)，兩線圈間即有

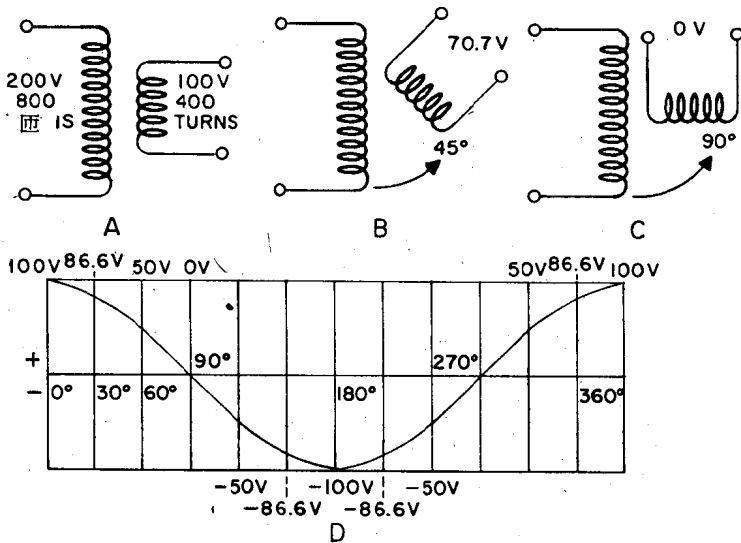


圖 1-2 變壓器作用

最大的磁交連。亦即自初級線圈產生之最大數量的磁力線割切最多匝數之次級線圈，這樣次圈即感應出最大的電壓。這就是一般變壓器初級線圈與次級線圈之正規排列方法。

若將變壓器之初圈與次圈位置予以變動，使兩者之中心軸不再平行，則交連於二線圈之磁場將減低，而使得次級線圈內感應之電壓亦降低。若增加二線圈中心軸之交角至 90° ，次級線圈之電壓則將繼續降低至零（圖 1-2 C）。（當兩線圈放置於成 90° 度使兩者相互垂直之位置時，初圈之磁力線不能割切次圈，故次圈即無感應電壓產生。）次圈之電壓係隨兩線圈軸交角之餘弦（Cosine）而變動，如圖 1-2 D 所示。下章所述之同步器元件即係根據此原理而運轉。

1-2 伺服馬達

直流及交流馬達兩者均可視實際需要而用於伺服系統中，對於速度變動範圍寬且負載重之系統可用直流馬達，而在定速輕載之系統中則用交流馬達。

交流伺服馬達最普遍之型式為二相感應馬達（2-Phase induction motor）。這種馬達有一組基準（固定）磁場（Reference field）線圈及一組控制（可變）磁場（Control field）線圈，兩者之位置如圖 1-3 所示，互相成 90° 的電角度（Electrical degree）。轉子（Rotor）通常均為鼠籠（Squirrel cage）式，但有些也用其他型式。

若將相位差為 90° 之二交流電壓分別加於基準磁場線圈及控制磁場線圈（圖 1-3），則兩磁場線圈內之電流也將相互有 90° 的相位差；而且兩線

圈因電流而生的磁場同樣也有 90° 度的相位差。這二磁場之向量和成將形成一旋轉磁場，如圖 1-4 所示。旋轉磁場在轉子中感應而生電壓，使轉子如同一般感應馬達一樣沿着磁場轉動的方向旋轉。

二相伺服馬達之旋轉方向與控制磁場電壓之相位（領先或落後基準電壓 90° ）有關，如圖 1-4 所示。馬達轉矩之大小則隨控制或基準磁場電流之變動而改變。若切斷磁場電源，馬達內將不

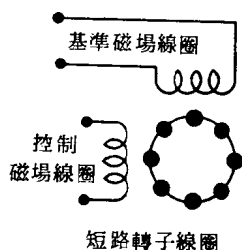
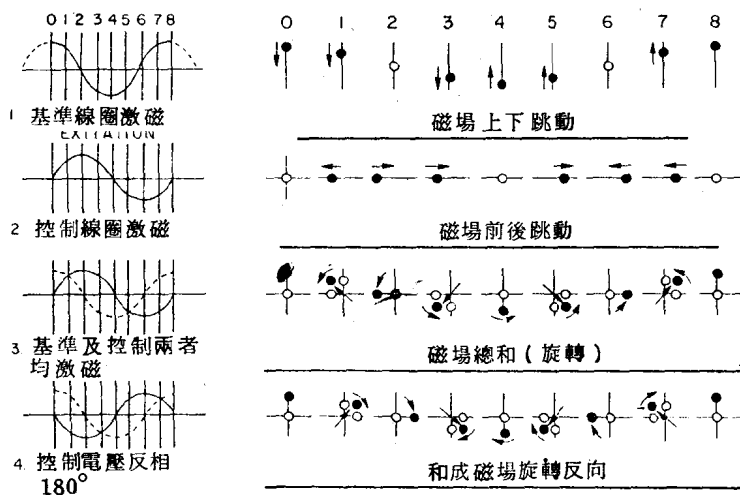


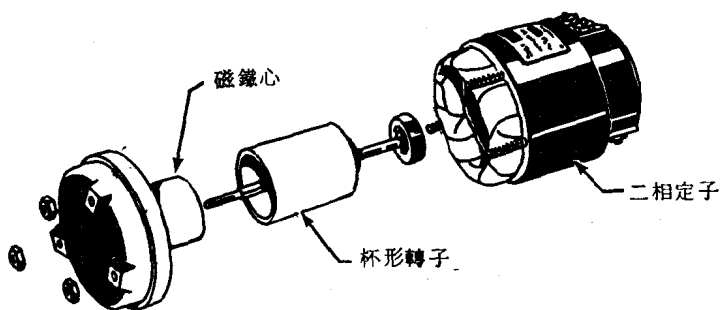
圖 1-3 二相交流伺服馬達



- 磁場之向量位置
- 在 1 及 2 處代表零磁場強度，在 3 及 4 處則代表形成和成磁場之基準磁場及控制磁場。

圖 1-4 基準及控制磁場線圈之激磁與磁場

175.1



175.2

圖 1-5 杯形轉子伺服馬達

再有旋轉磁場存在，轉子也將停止轉動。在實際應用於伺服系統時，馬達係以一定值電壓源加於基準磁場，而以伺服放大器之輸出加於控制磁場，因此，馬達旋轉之速度及方向完全受伺服放大器輸出之控制。

裂相 (Split-phase) 式交流馬達有時也可當作伺服馬達使用。電容器起動裂相馬達即為使用最普通的一種。其速度及方向之控制與二相感應馬達相同。當作伺服馬達使用的其他型式的馬達尚有隱極式、凸極式及萬用式等馬達。

另外一種用於低功率之交流伺服馬達為杯型轉子伺服馬達。這種馬達與圖 1-3 所示者一樣，其定子 (Stator) 上具有一組二相 (基準及控制) 線圈。其轉子則包括一鋁或銅製之杯型旋轉體，及一傳導磁力線之固定磁鐵心，如圖 1-5 所示

直流伺服馬達有串 (Series) 激及並 (Shunt) 激兩種型式。這兩種型式均可用磁場來控制或電樞 (Armature) 來控制。磁場控制係以一組分開的磁場，或者應用繼電器或開關來倒換磁場之極性，以達到控制之目的。在某些伺服系統中，常使用永久磁鐵固定激磁之並激馬達。這種情形只有以電樞來控制。直流伺服馬達之最普通的型式為並激馬達，因其具有極佳的速度調整 (Speed regulation)，較大的起動力矩，而且當用磁場控制時，所需之控制功率極小等優點。

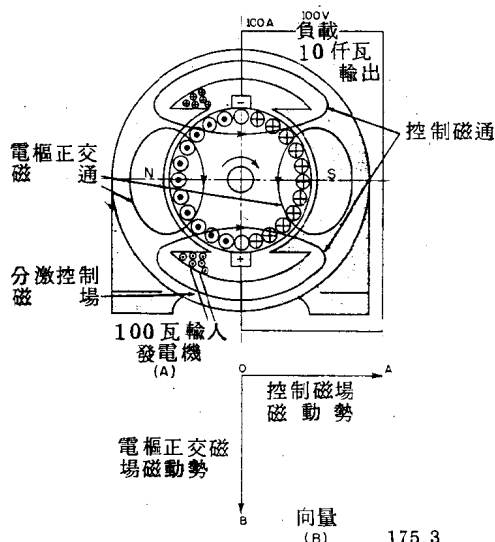


圖 1-6 普通直流發電機

直流伺服馬達與交流伺服馬達一樣，其控制電流也是由伺服放大器供給。有時，尤其是在重負載的系統中，均以倍功發電機 (Amplidyne generators) 供給馬達之控制功率。

1-3 倍功發電機

所謂倍功發電機即為其控制磁場僅需一極低輸入功率之分激式直流發電機。其電樞之輸出可能高於 100 伏及 100 安培，因此而能得到高於 10 kw 之功率輸出。倍功器為一極敏感之

控制裝置。例如，若使控制磁場之輸入功率由 0 增至 1 瓦，即會使得發電機之輸出功率由 0 增至 10 仟瓦。因此，倍功器就是一具有 10000 倍放大倍數的功率放大器。下面之分析可證明如何產生此放大倍數。一普通的二極發電機（圖 1-6 A）爲了要使磁極產生正常的磁場，並使電樞產生 100 伏之正常電壓，其分激控制磁場可能要輸入 100 瓦之功率。當將此電壓加於 - 1 歐姆之負載上時，電樞即傳輸 100 安培之電流，而輸出 10 仟瓦之功率。圖中圓圈中一小點之符號代表電樞導體內之電流向着讀者方向流出，圓圈中一十字則代表電樞導體內之電流離開讀者向紙內流入。控制磁場線圈通電流後使左方磁極變爲 N 極，右方磁極變爲 S 極。

控制磁場所生磁動勢（Magnetomotive force or m.m.f.）之強度，現以向量 OA 來表示（圖 1-6 B）。電樞因電流而生磁場之方向則與兩電刷（Brush）之軸一致，而正交於控制磁場。此電樞正交磁動勢之強度及位置

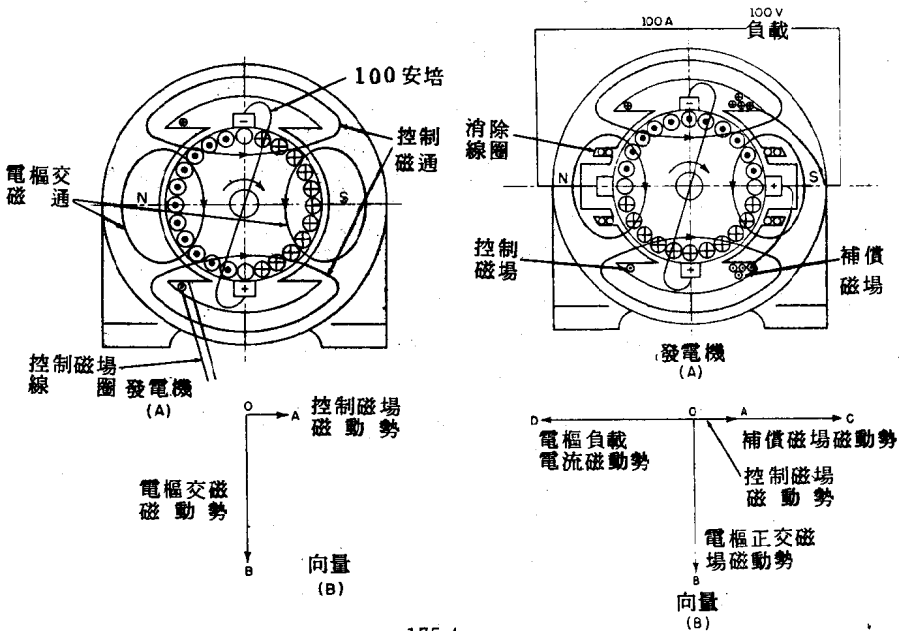


圖 1-7 電刷短路的發電機

175.4

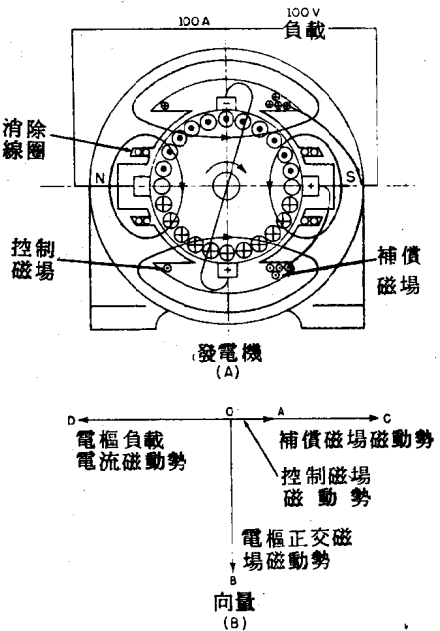


圖 1-8 倍功發電機

175.5

以向量 OB 來表示。向量 OB 與 OA 約相等，但垂直於 OA 。

若將控制磁場之強度降低為正常情形之百分之一。則電樞所產生的電壓也將降至正常電壓之百分之一，以前例而言，大約降到 1 伏左右。而電樞輸出 1 歐姆負載之電流也會降低為 1 安培。

若將兩電刷短路，如圖 1-7 A 所示，則電樞電流即會回復到 100 安培之正常值。因為短路後，即相當於以 1 伏之電壓加於內阻為 0.01 歐姆之電樞上，故此時，電樞即可產生 100 安培之電流。可是控制磁場之強度仍維持其正常值之百分之一（圖 1-7 B 向量 OA ），但電樞交磁之磁動勢却已回復到正常值（圖 1-7 B 向量 OB ）。

電樞正交磁場被電樞導體切割即能產生一正常的負載電壓，此電壓在倍功發電機中是在另裝的一對電刷間獲得，這對電刷之安裝位置與短路的一對電刷相互垂直（圖 1-8）。負載即與這對電刷及補償線圈（Compensating winding）相串聯。

電樞負載電流沿電樞上半部的線圈向着讀者流出，並沿下半部線圈向着紙內流入。此時電樞即形成了一電磁鐵，而產生一磁動勢，此磁動勢與控制磁場磁動勢之方向相反，但同軸（圖 1-8）。

補償線圈之目的為產生一與電樞磁場相反且同軸之磁動勢，以抵銷電樞因負載電流而生的磁動勢。由於補償線圈係與電刷及負載相串聯，故其能自動調節其磁動勢強度以抵銷電樞磁動勢。若以向量 OC （圖 1-8）表示補償線圈磁動勢之大小及方向，相對的，向量 OA 、 OD 及 OB 則分別表示控制磁場磁動勢、電樞負載電流磁動勢及電樞正交磁場磁動勢之大小及方向。

由於沿着控制磁場軸方向之剩磁（Residual magnetism）對倍功器之輸出有很顯著的影響，故每當控制磁場去除激勵（Deenergized）後，必須要對鐵心去磁（Demagnetize）。去磁之工作可由一供電於去磁線圈之小型的交流久磁發電機（Magnet generator）（裝於倍功器之外殼上）來完成，此去磁線圈稱為消除線圈（圖 1-8 A）。

一使用倍功發電機之伺服系統將於本書之第四章內討論。

1-4 變率發電機（Rate Generator）

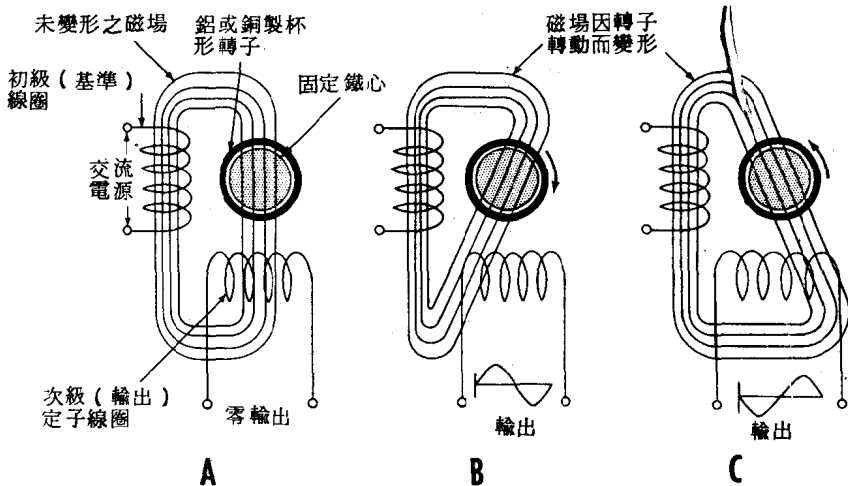
用於伺服系統中之變率發電機（經常用作轉速計發電機）均為一小型的交流或直流發電機，此類發電機所生電壓之相位（Phase）或極性（Polarity）係隨其旋轉方向而變的。直流變率發電機通常使用永久磁鐵之磁場，交流變率發電機則以一定值交流來激勵。

最常用的交流變率發電機為構造與圖 1-5 相似的發電機。它具有兩組互成 90° 度（電的角度）的定子線圈，及一銅質或鋁質的杯形轉子。轉子圍繞於一固定的軟鐵磁心轉動，定子上繞有兩組線圈。一組定子線圈加一交流基準電源。另一組定子線圈為發電機的輸出或次級線圈。

當轉子固定時，初級定子線圈因外加電壓而產生一與次級線圈成直角之磁場，如圖 1-9 A 所示。當轉子旋轉後，它將使磁場變形，而使得磁力線不再與次級線圈保持 90° 之電的角度。於是磁力線即與次級線圈交連使次級線圈感應出一電壓（圖 1-9 B 及 C）。磁場變形之量決定於轉子角速度之大小。因此，次級線圈所感應電壓之高低比例於轉子之速度。

磁場變形之方向隨轉子旋轉之方向而變。若轉子向某方向旋轉，則切割次級線圈之磁力線亦朝向某一方向。若轉子向反方向旋轉，切割次級線圈之磁力線亦隨之反向。因此，次級線圈感應電壓與外加電壓之相位關係決定於轉子旋轉的方向。

變率發電機輸出電壓之頻率與基準電壓完全一樣，此乃因為初級線圈所



- A. 轉子固定不動
B. 轉子順時針方向旋轉
C. 轉子反時針方向旋轉

圖 1-9 變率發電機

生之磁場隨外加電源之頻率變動，而輸出之電壓是由此磁場割切次級線圈所產生，因此輸出電壓之頻率與外加電壓之頻率必須相等。

其他型的交流變率發電機均有一鼠籠式的轉子。至於構造及運轉原理等均與杯型轉子變率發電機完全一樣。

直流變率發電機與交流一樣，也是應用基準線圈與輸出線圈間磁交連的原理。直流變率發電機具有一固定的初級磁場。此磁場係以永久磁鐵產生。轉子線圈感應電壓之高低比例於割切此線圈之磁力線之多寡。輸出電壓之極性則決定於轉子割切磁力線之方向。

變率發電機在伺服系統中係用來提供速度或阻尼信號，它經常與伺服馬達同軸且裝於同一外殼內。

第二章 同步器 I

同步器“Synchro”一詞乃“Synchronous”之縮寫，為各種旋轉裝置，電力機械裝置，位置感測裝置之名稱。同步器係設計為當有一電的輸入時，對軸的位置變動，提供一物理的測量，或者相反地，因軸的位置變動而提供一電的輸出之測量。

同步器被廣為應用於武器系統、導航系統、船隻、潛艇和飛機之控制系統、及內部通訊系統中。在這些系統內，同步器可做為一簡單的轉矩指示系統，也可做為一複雜的計算系統。

在簡單的同步轉矩指示系統中，一稱為傳送器（Transmitter）的同步元件是以電的方式與另一稱為接收器（Receiver）之相似元件相連接。當傳送元件之轉子轉動時，接收元件之轉子也會作相同角度之轉動。

同時，同步器也被廣為使用於遙控指示系統中，將資料傳送至一具或多具遠處的指示器內。指示器即表示出所需之資料，如舵角、航向、速度、側滾與俯仰、引擎轉速、大軸轉速、節流閥之位置、飛機之飛行穩定，儀表之指示、風向和風速、目標及飛彈之航向及距離，以及探照燈、天線、砲和發射架之旋迴俯仰等資料。

除了轉動刻度盤及指針來傳送資料外，同步器還可作許多其他的用途，如開關電路的接點，置定嚮導閥（Pilot valves）等。另外，同步器也被應用於許多控制系統中。例如，以一控制同步元件加一控制信號於伺服系統中，來移動雷達天線、飛彈發射架、砲塔、飛機和船的舵、起動機、以及許多其他的負載等。

2-1 一般構造

同步器外多形及大小與一小型電動馬達極相似，但其作用卻像一可變變壓器。每一個同步器均有一與電樞極相似的轉子，及一個相當於馬達磁場的定子，如圖2-1所示。同步器通常包括一裝於圓筒形金屬殼內，三線圈Y接之定子，及繞有一組線圈之轉子。轉子裝於定子內，其在定子線圈內可自由