

繼電器保護

王 健 編 著

— 第 二 版 —

大東書局出版

序 言

一九五二年春編著者爲了收集教學資料，在東北電業局系統實習，在實習過程中體會到有關繼電器保護方面適宜於一般中等程度的中文參考書太少。因此根據實習期間的一些心得，參考了部份有關的書籍，編著而成此書。

本書介紹目前電力系統內最普遍的過流繼電器及其整定。對於方向繼電器和差動繼電器以及各種繼電器的試驗方法也作了一些必要的介紹。有關系統的接地計算問題，避免複雜的對稱分量的計算，採用圖解法說明。最後，就繼電器保護的發展前途，自動重合閘方面作了一些簡單的介紹。隨着電力系統的發展，尤其在我國目前的情況，有着蘇聯最先進的科學技術的無私的援助，繼電器保護的發展更是日新月異。本書所討論範圍僅是一些最基本的繼電器，使得讀者對於繼電器保護有一個初步的概念和認識。本書以中等技術人員爲主要對象，在理論上盡量少用高深公式，在文字說明上也盡量詳細周到。

王衆託、康 喆兩位同志在工作繁忙中，對本書提出很多意見，給編著者很大的幫助，謹此表示衷心的謝忱。

限於編著者的理論水平和實際經驗，錯誤的地方在所難免、希望讀者提出寶貴的批評和指正，以資更正。

王 健

一九五三年五月
於大連工學院。

二 版 序 言

幾年來，隨着祖國社會主義工業建設事業的發展，在電力系統的繼電保護方面，也是和其他部門一樣，採用了蘇聯的最先進的科學成就，並且已能自己製成各種蘇式繼電器。有關繼電保護的參考書籍出版也很多，尤其是最近燃料工業出版社出版的“電力系統繼電保護裝置”，對於蘇聯先進的繼電保護有着較為系統的和全面的敘述。

本書主要討論舊式的繼電器，但是在我們社會主義工業化建設的一定時期內，對於舊有企業和設備仍然需要繼續發揮它的作用，繼電器也不例外。因此本版根據出版以來，讀者來信所提出的寶貴意見以及作者個人見解，對於書中個別地方，曾加以適當修改。

王 健 一九五五年一月於本國。

目 錄

第一章 緒論	1
(1.1)繼電器的重要性	1
(1.2)繼電器的作用和要求	2
(1.3)繼電器的分類	3
第二章 感應型繼電器的構造和原理	7
(2.1)感應型繼電器的構造	7
(2.2)偏相位式——感應型繼電器的動作原理	8
(2.3)蔽極線圈式——感應型繼電器的動作原理	10
(2.4)飽和變壓器式——感應型繼電器的動作原理	11
(2.5)彈簧控制力量的補償作用	12
(2.6)接觸裝置	13
(2.7)表示器	14
(2.8)常時閉路式過流繼電器	14
第三章 儀用變流器和儀用變壓器的聯接法	16
(3.1)儀用變流器的U形聯接法	16
(3.2)儀用變流器的三角形和Z形聯接法	17
(3.3)儀用變流器的星形聯接法	19
(3.4)變流器二次測不能開路	20
(3.5)儀用變壓器的聯接法	23
(3.6)取用零相電流的聯接法	23

(3.7) 取用零相電壓的聯接法	26
第四章 過流繼電器的整定以及短路保護	27
(4.1) 系統運行的故障情形	27
(4.2) 計算三相短路電流的假定條件	28
(4.3) 計算三相短路電流常用的方法	29
(4.4) 標么電抗值的計算	30
(4.5) 例題	33
(4.6) 短路電流的簡單估計	37
(4.7) 過流繼電器的整定	38
(4.8) 過流繼電器的起動電流	38
(4.9) 過流繼電器起動電流的整定	39
(4.10) 過流繼電器的時限特性曲線	40
(4.11) 過流繼電器的動作特性曲線	42
(4.12) 過流繼電器的時間整定	44
(4.13) 系統整定說明	46
(4.14) 系統整定應注意的事項和幾點說明	54
(4.15) 具有兩個電源的系統的整定說明	57
(4.16) 距離繼電器的構造原理	68
(4.17) 距離繼電器的動作特性曲線	71
(4.18) 周波計數器	75
(4.19) 過流繼電器的試驗	77
第五章 方向繼電器及其保護	80
(5.1) 感應型方向繼電器	80
(5.2) 感應型方向繼電器的功率因數特性	82
(5.3) 三相電路中任意電流和任意電壓間相位角的關係	84

(5.4) 方向繼電器的外部聯接法	85
(5.5) 感應型電流差動繼電器的構造原理	88
(5.6) 雙迴平行線路的保護	89
(5.7) 切斷的次序	92
(5.8) 三迴或三迴以上平行線路的保護	93
(5.9) 電力方向繼電器的試驗——伏安曲線的測定	94
第六章 差動保護	98
(6.1) 差動保護	98
(6.2) 過流繼電器作為發電機和變壓器的差動保護	98
(6.3) 比率差動繼電器的構造和原理	101
(6.4) 兩種比率差動繼電器的接線	102
(6.5) 變壓器差動保護的聯接法	105
(6.6) 三線圈變壓器的差動保護的聯接法	112
(6.7) 當變流器在電力變壓器三角形聯接之內時差動繼電器的 聯接法	114
(6.8) 比率差動繼電器分接頭的決定	115
(6.9) 比率差動繼電器的補償變流器的構造及其匝數的決定	116
(6.10) 發電機線圈為三角形聯接時的差動保護	119
(6.11) 並聯線圈發電機的差動保護	120
(6.12) 比率差動繼電器的動作特性試驗	121
(6.13) 比率差動繼電器的動作時間和差電流的決定	123
(6.14) 瓦特計決定相位的原理	123
(6.15) 六角圖法決定差動繼電器的電壓和電流的相位關係	126
第七章 接地保護	130
(7.1) 中性點接地的種類	130

(7.2)中性點不接地系統	130
(7.3)中性點直接接地系統	131
(7.4)中性點消弧線圈接地系統	132
(7.5)中性點電阻接地系統	133
(7.6)接地電流分佈的概念	133
(7.7)中性點不接地系統的接地電流的分佈	133
(7.8)中性點消弧線圈接地系統的接地電流的分佈	141
(7.9)中性點電阻接地系統的接地電流的分佈	146
(7.10)接地繼電器	150
(7.11)單迴線路的接地保護	150
(7.12)雙迴線路的接地保護	151
(7.13)接地警報器	153
第八章 系統保護	155
(8.1)概論	155
(8.2)並聯同步運行	155
(8.3)自動合車裝置	157
(8.4)發電機的低電壓閉鎖裝置	159
(8.5)同期脫調現象	161
(8.6)解列保護	165
(8.7)周波繼電器	168
第九章 自動重合閘保護	170
(9.1)概論	170
(9.2)自動重合閘的動作說明	171
(9.3)自動重合閘裝置的動作原理	172
(9.4)配合自動重合閘的加速保護	175

第一章 緒 論

(1.1) 繼電器的重要性

列寧同志說：“共產主義就是蘇維埃政權加全國電氣化。”蘇聯共產黨在斯大林同志的領導下，實行着列寧同志這個指示，有計劃地繼續開展全蘇的電氣化。偉大的共產主義建設，如斯大林格拉水電站和古比雪夫水電站，將要給共產主義建設事業帶來更多的電力。這些電力除了供給更多的工業生產外，並使農業生產和運輸業，都走向大規模的電氣化，保證了人民的和平和幸福生活。

蘇聯的今天，就是我們的明天。我國1952年的發電量比1951年增加29.56%，比解放前最高年度發電量增加14%。隨着全國大規模的經濟建設，今後電力的需要量將要大大地增加。如何更有效地經濟地使用電力，一方面必須將各個個別的分散經營的發電廠組織成統一的電力系統，另一方面要有計劃地開發水力資源。據估計我國已經開發的水力資源還不到可能利用的1%。開發水力資源可以利用來發電，將這些電力送往遠距離用電的地方，必須要利用高壓。對於這些電力系統的建立，運行的安全，將要成為重要的問題。關於整系統的運行，應該由統一機構來負責管理和調度。調度機構一方面固然要掌握系統內設備情況、聯絡關係和運行方式；同時必須依靠繼電器保護裝置。當故障發生的時候，自動地迅速地切除故障部分，才可能避免全部停電現象的發生，保證了整個系統的安全運行。如果沒有繼電器保護裝置，要掌握電力系統內複雜的瞬息間的變化，是不可能的；所以系統的安全運

行和繼電器的保護方式有着密切的關係。

我國，在目前較大電力系統還不多，但今後的發展，必然組成很多大的電力系統；因此關於系統的繼電器保護的常識也很重要。本書內容主要地討論目前常用的一些繼電器的構造、性能和整定方法。隨着電力系統的發展以及學習蘇聯的先進科學技術，繼電器的發展必然也是日新月異。本書雖然不能作更多的新型繼電器的介紹；但以此為基礎，對於繼電保護的基本認識可以有一個梗概。

(1.2) 繼電器的作用和要求

在大電力系統內，電力自從發電廠經過變電所到用戶，中間有高壓輸電，有低壓配電，整個系統非常龐大和複雜，因此可能發生故障的地方亦很多。根據蘇聯統計，各部份發生故障的百分比，大致如下所示：

線路部份(包括降壓變電所)	74%
發電廠電的設備部份	14.6%
火力和水力發電廠動力設備部份	11.4%

其中最容易發生和最危險的，就是各種短路故障。發生短路故障基本原因是由於設備的絕緣破壞所引起的。通常有由於過電壓，直接雷擊，絕緣陳老現象，對設備的管理不夠細心，以及直接受到機械力的損壞，例如地下工作時對電纜的破壞等等原因所引起。短路故障的影響可分為下面幾種：

- (1) 在系統內某部分電壓大量的下降，影響電力用戶的正常工作；
- (2) 在絕緣破壞地方，發生由短路而引起的電弧，能燒損一些發生故障的設備；
- (3) 因為短路電流可能很大，它的熱效應，能影響電力系統未發生故障的部份，它的機械力的作用，能破壞一些設備；

(4) 影響發電機並列運行的穩定性。

繼電器的作用是當電力系統內發生各種故障時，迅速切斷故障部份，制止事故的漫延；或對值班人員發出信號，引起值班人員的注意。

隨着大電力系統的建立，可能發生故障的機會勢必增加，可能造成的影響範圍勢必擴大；因此繼電器保護設備的性能，必須隨之改進。我們國家已提出無事故運行的要求，所以我們應該面對着事故作鬥爭。安全運行依靠設計人員、按裝人員和運行人員的共同努力。

繼電器的基本要求，必須具備下列條件：(1) 可靠性，(2) 選擇性，(3) 靈敏性和(4) 動作迅速。

可靠性 繼電器必須具備能區別正常和不正常情況的性能，保證不發生誤動作，準確而可靠。

選擇性 系統內發生故障時，只允許發生故障部份的繼電器發生動作；其他部份的繼電器不應該動作，保證電力系統未發生故障部份的正常運行和供電。

靈敏性 繼電器對於很小的故障，亦應該能起作用。也就是說，繼電器愈靈敏，對於故障在發展階段開始時即能起作用的保證也愈大。這可以縮小受損害的範圍。

動作迅速 儘可能減少切斷故障所需的時間，因為故障存在的延續，影響到系統內發電機並列運行的穩定性。隨着電力系統規模的擴大，為了保證系統並列運行的穩定性，高速繼電器和高速斷路器的應用，是非常必要的。

(1.3) 繼電器的分類

輸電線和配電線的故障，普通為線間短路或接地；至於發電機、變壓器和電動機等機器，除線間短路和接地故障外，還有電壓上升、溫度

上昇和層間短路等故障。對於不同的故障，需要不同的保護方式，因此對於繼電器性能的要求亦不同，所以繼電器的種類亦很多。

(一)從構造上分類

(1) 杵型繼電器，在線圈中裝有軟鐵心，由於鐵心動作，能使接點動作。

(2) 電磁型繼電器，根據電磁作用原理，當線圈中通過電流，繼電器的電磁系產生磁通，吸引銜鐵使接點產生動作。

(3) 感應型繼電器，在交流磁場中，裝置可以轉動的金屬圓盤，由於感應作用，使圓盤旋轉，閉合接點而發生動作。

(4) 熱型繼電器，利用熱脹原理，使接點動作。

(5) 瓦斯繼電器，利用膨脹氣體，使接點動作。

(二)從機能上分類

(A) 單一動作式繼電器（非方向性繼電器），由於電流、電壓、電力、溫度或頻率等的不正常現象，使繼電器發生動作。要求接點在一定方向的單頭接觸。

(1) 過流繼電器，當電流超過預定數值時，發生動作。

(2) 過壓繼電器，當電壓超過預定數值時，發生動作。

(3) 欠壓繼電器，當電壓降低到預定數值以下時，發生動作。

(4) 電力繼電器，當功率超過或小於預定數值時，發生動作。應該有過量電力繼電器和欠量電力繼電器的區別，習慣上都通稱為電力繼電器。

(5) 溫度繼電器，當機器溫度超過預定數值時，發生動作。

(6) 頻率繼電器，當頻率超過預定數值時，或降低到預定數值以下時發生動作。有高频率繼電器和低頻率繼電器的區別。

(7) 逆電力繼電器，當功率輸出方向和預定方向相反時，發生動作。

(8) 逆相繼電器，當相位逆轉時，發生動作。

(9) 斷相繼電器，當各相不平衡現象超過一定限度，或一相斷路時，發生動作。

(10) 距離繼電器，由過量的電流而發生動作。繼電器的動作時間和斷電器距故障點的距離成正比。

(11) 差動繼電器，當電流差額、電壓差額或功率差額，超過預定數值時，發生動作。

(12) 閉鎖繼電器，由於閉鎖繼電器發生動作以後，能保證其他繼電器雖在某特定電流值或電壓值的時候，也不能動作。

(13) 補助繼電器，幫助其他繼電器，完成一定動作。

(B) 雙重動作式繼電器（方向性繼電器），並行兩迴路的選擇保護中，由於除於繼電器的電壓和通過繼電器的電流的相位關係；或由於通過繼電器的兩個電流的相位關係，使它發生動作。要求繼電器的動作接點有選擇方向的雙投接觸。

(1) 電力方向性繼電器，以電壓為基準，根據兩迴路差電流的方向，決定動作方向。

(2) 電流差動繼電器，以兩迴路電流的大小和相位關係，決定動作方向。

(三) 從保護故障的種類上分類

(1) 短路繼電器。

(2) 接地繼電器。

(3) 溫度繼電器。

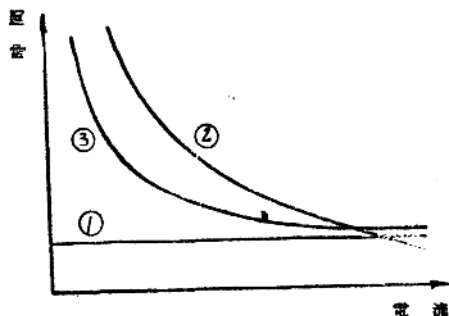
(4) 逆相繼電器。

(5) 其他。

(四) 從動作時間上分類

(1) 瞬時繼電器，不論故障程度如何，接點迅速閉合。

(2) 定時限繼電器，圖 1·1 表示繼電器的動作時間和通過繼電器的電流的關係，該圖中曲線①表示定時限繼電器，就是說，不論故障程度如何，接點經過一定時間後才閉合。



- ① 定時限繼電器
- ② 反時限繼電器
- ③ 有限的反時限繼電器

圖 1·1

(3) 反時限繼電器，圖 1·1 中曲線②表示反時限繼電器，即故障電流愈小，接點閉合所需的時間愈長，也就是說，繼電器的時限作用愈長。

(4) 有限的反時限繼電器，圖 1·1 中曲線③表示有限的反時限繼電器，就是

說，對於一定程度以內的故障，具有反時限的特性；對於超過一定程度的故障，具有定時限的特性。

(5) 聯鎖繼電器，由預定數次連續動作，才能使接點閉合。

(6) 高速度繼電器，動作時間很短，常在一個或兩個週波以內。

第二章 感應型繼電器的構造和原理

(2.1) 感應型繼電器的構造

應用最廣的感應型繼電器常為圓形，外部用玻璃罩蓋着，內部機件可以自玻璃中看到，也有做成長方形式的。感應型繼電器的構造和什瓦小時計相似，它的主要部分有電磁鐵，永久磁鐵，鋁質圓盤和接點裝置。電磁鐵的主線圈常聯結於變流器的二次電路上，此變流器和被保護電路串聯。鋁質圓盤裝於有寶石軸承的轉軸上，當主線圈內電流到達一定程度，使圓盤上發生轉矩超過彈簧的控制轉矩時，該圓盤能在電磁鐵的磁極間轉動。永久磁鐵能控制圓盤的轉速，接通斷路器脫扣線圈的一個接點，就裝在轉軸上，當圓盤旋轉一定行程，能使該接點碰到另一個固定接點，使得脫扣線圈激磁而打開斷路器。

有時圓盤轉軸上裝有減速齒輪，電磁設計亦略不同，所需能量較小，稱為微能式繼電器。沒有這種減速齒輪裝置，稱為普通或標準電能式繼電器。我國有些工廠出品的普通電能繼電器，所需功率約3瓦。

主線圈有許多分接頭，接到繼電器上部電流端子板上。改變電流端子上插塞位置，可以改變主線圈的有效匝數，亦就是改變繼電器所需最小動作電流。改變電流插塞時，常用兩個插塞，先將備用的一個插塞，插入要改變的新分接頭的插孔內，然後將原來插塞拔去；用這樣的方法，可以避免變流器二次側斷路所引起的危險。我國有些廠家的出品也有採用一個插塞，改變所需動作電流時，可直接將插塞拔出再插入新分接頭的插孔內；它的構造，當插頭拔出時，所需動作電流能自動落到某

一動作電流的數值上，不會開斷變流器的二次側。

可動接點和固定接點間，有着一定的距離；圓盤必須經過相當行程以後，才能接通脫扣線圈的電路，所以感應型繼電器有延時的性能。另裝一調時桿，以限制可動接點的最終靜止的位置。此桿可在標度板前移動，該標度板常分為 10 等分或 11 等分。移動調時桿，可改變可動接點的位置和彈簧的拉力，亦就是改變可動接點和固定接點間的距離；因此可以改變繼電器的動作時間。我國有些廠家出品的繼電器的標度板上的刻度，直接以最小時滯所需的秒數表示之，如 0.2 秒至 3.0 秒等。

(2.2) 偏相位式——感應型繼電器的動作原理

如圖 2·1(a) 所示，主線圈繞在繼電器圓盤下面的鐵心上，此鐵心上同時繞有副線圈。極線圈繞在繼電器圓盤上面的鐵心上，並且和副線

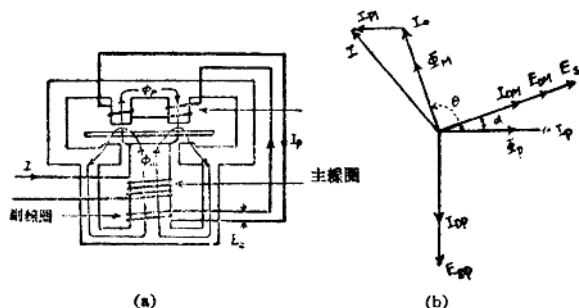


圖 2-1

圈串聯。當主線圈中通以電流 I 時，由於感應作用，在副線圈中產生電壓 E_p ，因此有電流 I_p 流經極線圈。其向量關係如圖 2·1(b) 所示， I_p 滯後 E_p 為 α 度，此處 α 代表由副線圈和極線圈串聯所組合的電路的阻抗角。由 I_p 感應產生磁通 Φ_p ， Φ_p 和 I_p 同相。由 I 感應產生磁通 Φ_m ，

Φ_M 和 I_0 同相，此處 I_0 即激磁電流。 I_{P1} 代表由於 I_P 流經副線圈中時，企圖使 Φ_M 發生改變，而在主線圈中所增加的電流，以保持 Φ_M 的平衡； I_0 和 I_{P1} 的向量和就是主線圈中電流 I 。磁通 Φ_M 和 Φ_P 通過圓盤，分別在圓盤上感應產生電壓 E_{DM} 和 E_{DP} ，此項電壓分別在圓盤內產生渦流 I_{DM} 和 I_{DP} （此處假定圓盤內沒有自感，所以 I_{DM} 及 I_{DP} 分別和 E_{DM} 及 E_{DP} 同相）。渦流 I_{DM} 和磁通 Φ_P 作用，而渦流 I_{DP} 和磁通 Φ_M 作用，使圓盤產生轉矩；該轉矩

$$T = Kf\Phi_M\Phi_P\sin\theta.$$

此公式可以下述方法加以證明。假定磁通的變化以

$$\phi = \sqrt{2}\Phi\sin\omega t$$

的正弦波形代表之，而電流以

$$i = \sqrt{2}I\sin(\omega t - \alpha)$$

的正弦波形代表之，此處 α 代表磁通和電流之間的相角差。根據左手定則，通有電流的導體，可在磁場內產生轉矩，所以 ϕ 和 i 相互作用可產生轉矩。因為任何瞬間該轉矩都和 ϕ 及 i 的相乘積成正比，也就是說，瞬間轉矩和 ϕ 及 i 的相乘積成正比；而平均轉矩

$$T = K \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}\Phi \cdot \sqrt{2}I \cdot \sin\omega t \cdot \sin(\omega t - \alpha) \cdot d(\omega t) = K\Phi I \cos\alpha,$$

即平均轉矩為 Φ 及 I 的相乘積，再乘以兩者之間夾角的餘弦。

今渦流 I_{DM} 和磁通 Φ_P 作用，它的平均轉矩應該是

$$T_1 = K_1 I_{DM} \cdot \Phi_P \cdot \cos\alpha = K_1 I_{DM} \cdot \Phi_P \cdot \sin\theta$$

而渦流 I_{DP} 和磁通 Φ_M 作用，它的平均轉矩應該是

$$T_2 = K_2 I_{DP} \cdot \Phi_M \cdot \cos(180^\circ - \alpha) = -K_2 I_{DP} \cdot \Phi_P \cdot \sin\theta.$$

因為電流 I 亦等於 E/Z ，而電壓 $E = 2\pi f\Phi$ ，所以電流 I 和 $f\Phi$ 成正比（此處 f 代表頻率）。因此 I_{DM} 可以用 $K_3 f\Phi_M$ 代替之，而 I_{DP} 可以用

$K_4 f \Phi_P$ 代替之；所以總轉矩

$$\begin{aligned} T &= T_1 + T_2 = K_1 K_3 f \Phi_P \cdot \Phi_M \cdot \sin \theta - K_2 K_4 f \Phi_P \cdot \Phi_M \cdot \sin \theta \\ &= K f \Phi_P \cdot \Phi_M \cdot \sin \alpha_0 \end{aligned}$$

上式中令 $K = K_1 K_3 - K_2 K_4$ 。

上述原理，亦可以用旋轉磁場的方式說明之。兩個不同相的磁通，可以產生旋轉磁場；所謂旋轉磁場，也就相當於一個假設的永久磁鐵在旋轉着。由於假設永久磁鐵的旋轉，在圓盤上必然要感應出渦流來；此渦流和原來磁通的作用，是要保持磁場和電流間相對位置的不變；現在磁場既然在旋轉，所以圓盤必須跟隨着旋轉，不過圓盤的旋轉速度不能到達假設永久磁鐵的旋轉速度。如果一旦到達相同的速度，則圓盤和假設永久磁鐵之間沒有相對運動的存在，亦就沒有感應電壓和渦流，根本就不能相互作用了。（此處假設永久磁鐵指旋轉磁場，並非實在永久磁鐵）。實際上，這些就是感應電動機的原理。

(2.3) 蔽極線圈式——感應型繼電器的動作原理

如圖 2.2 所示，鐵心部份有兩個磁極，一個磁極蔽以導體圓環或線圈，即所謂蔽極線圈。當主線圈中通以電流 I 時，其激磁電流 I_0 。在蔽極線圈部分感應產生磁通 Φ_P ，由 Φ_P 的感應作用產生電壓 E_P ；因此在蔽極線圈中產生電流 I_P ， I_P 滯後電壓 E_P 為 α 度，此處 α 代表蔽極線圈的阻抗角，亦即 $\alpha = \tan^{-1} \frac{X}{R}$ 。而 I_{P1} 代表由於 I_P 流經蔽極線圈中時，企圖使 Φ_M 發生改變，而在主線圈中所增加的電流，以保持 Φ_M 的平衡； I_0 和 I_{P1} 的向量之和為 I 。由於 I 所產生 Φ_M ，和 I 同相。磁通 Φ_M 和 Φ_P 在圓盤中感應產生電壓 E_{DM} 和 E_{DP} ，此項電壓分別使圓盤內產生渦流 I_{DM} 和 I_{DP} 。渦流 I_{DM} 和磁通 Φ_P 作用，而渦流 I_{DP} 和磁通 Φ_M 作用，使圓盤產生轉矩。該轉矩