



一種簡易並具有合理精確度 之電機鐵損估算流程

A Concise and Simple Iron Loss Evaluation Scheme
for Electric Machinery Products

劉承宗

國立中山大學
電機工程學系
教授

林秀瑛

國立中山大學
電機工程學系

洪國原

國立中山大學
電機工程學系

關鍵詞(Keywords)

- 愛波斯坦方圈 Epstein Frame test
- 磁滯內迴圈效應 hysteresis inner-loop characteristics
- 等效磁路 magnetic equivalent circuit
- Preisach 模型 Preisach model.

摘要(Abstract)

為了能在製作實體前有效的掌握電機產品的操作性能，充分評估相關的能量損耗乃屬必須。然而，有別於一般利用有限元素分析的方式進行精確的數值模擬，我們希望能藉由一般的等效磁路分析，結合愛波斯坦方圈等概念來建立一套合理評估鐵損的方法，其特點在透過適當的建模後，即可套用鋼材製造商提供之量測數據直接進

行運算和處理。除了分析磁滯損，對於因機械結構變化或電力切換所產生的磁滯內迴圈效應也能以此進行合理的模擬，是一套方便、可靠並適用於設計及產線上作業的評估方式。

This paper proposes a rational iron-loss emulation scheme for an assessment of iron loss in electromagnetic steel products before their construction. This scheme is based on the ideas of common magnetic equivalent circuit and numerical Epstein Frame test circuit without using detailed finite element analyses (FEA). By properly modeling the possible magnetizing recoil loops, this scheme can directly process the information on electromagnetic steel datasheets supplied by manufacturers. The magnetic circuit model consists of detailed hysteresis inner-loop characteristics from product structures as well as magnetization harmonics. The proposed scheme of iron-loss



assessment is proved reliable and convenient for the electromagnetic steel products in the design and on-line operation stages.

1. 前言

鑒於對效能和節能的要求日益嚴苛，在設計製造電機相關產品，特別是需要在複雜磁化條件下的產品時，如何選用適當的電磁鋼片已成為備受矚目的關鍵議題。是故，在設計與製造階段 [1, 2]，一般常透過有限元素分析法 (finite element analysis, FEA)，同時佐以製造商所提供之操作在特定磁通密度及頻率範圍下的材料數據來做精確的模擬 [3, 4]；若沒有足夠的材料量測數據，在透過有限元素分析時則必須搭配一些經驗公式來完成 [5, 6]。然而，由於模擬軟體和數據量測都需要龐大的金錢與知識專業成本，故現今各方皆致力於發展各式評估方法來模擬磁通 [7-10]，而其中透過數值化所建構之鐵損模型相較於實際量測值後，也已經能提供合理的估算值 [11]。

而為了能更契合實際應用，結合各式電力轉換設備的電機產品也已在市場上日漸普及，這使得在電機鐵芯中的磁通分布也不可避免的包含高次諧波。為了評估高次諧波所造成的鐵損，一般是利用經驗公式，配合製造商所提供的磁化曲線和鐵損量測資料來評估；但無論是有限元素分析軟體或各式分析模型，這些被採用的經驗公式多半只適用於特定的頻率範圍 [12, 13]，所以透過這些公式來模擬高次諧波所產生的影響則顯得不大洽當；且由於非線性的磁滯特性，一般的分析模型也無法完整地將磁滯內迴圈能量損耗的現象加

以涵蓋。另一方面，使用有限元素分析軟體常需要花費大量的運算時間及經驗設定，軟體本身也相當昂貴，並非各界都能接受如此龐大的代價。為了改善這些缺點，我們期待有一種系統化的分析模型能夠模擬材料和磁通的非線性特性，使得在評估電機產品鐵損時能更加快速且合理。

2. 基礎模型之建構推導

電機產品的鐵損一般可分為「渦流損」和「磁滯損」兩大部分。雖然各種文獻報告中均對相關的分析方式提出對應的數學模型，以計算操作在不同條件下個別損失對整體鐵損的貢獻 [14]；但就整體而言，磁通密度、磁場強度和頻率仍是影響估算結果準確度的關鍵。然而，除了有限元素分析法，等效磁路法 (magnetic equivalent circuit, MEC) 也是常被用來初步分析系統中磁通密度、磁場強度和頻率等因子的簡易工具。

以一電磁鋼片為例，其非線性的磁化特性如圖 1 所示 [15]。在分析過程中，採用此電磁鋼片所製成的電機產品需先依結構劃分成許多細小的區塊，注意這些區塊皆須遠小於齒極或結構中的稜角，接著便能以區塊為基礎，建構出對應的等效磁路模型。而在初始狀態下，所有的區塊都會先被預設操作在特定的條件，接著設定磁路在每個獨立時間點下所外加的磁動勢，如此便能開始進行迭代運算；然而，由於每一次在個別區塊計算的結果可能會與預設的條件不相符 (計算所得的磁通密度與原始設定的導磁率)，故一般都需要透過多次迭代運算來使其結果達到收斂，待其結果收斂後即可再計算下一個時間點，以此模擬時

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】364期・102年7月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw