

電磁誘導

—変圧器と誘導加熱—

谷野 守彦 (たにの もりひこ) 高周波熱錬株式会社 研究開発本部

要約 誘導加熱は、電磁誘導原理「ある回路に誘導される起電力 e は、その回路に鎖交する総磁束 Φ が時間的に変化する割合に等しい。 $e = n \times d\Phi / dt$ (n : ターン数)」を利用している。変圧器と同じ原理とはいうものの、誘導加熱コイル & ワークの外見・挙動とはいくつもの違いがみられる。最初にいわゆる通常 50 Hz/60 Hz 用鉄心入変圧器の基本式を示し、その後誘導加熱電源装置にも使われている様々な変圧器を紹介する。最後に加熱コイル & ワーク部と比較して、共通する考え方・挙動の違いを説明していく。

はじめに

本文は主に誘導加熱メーカー電気担当者の勉強資料になればと思い執筆した。

誘導加熱装置では、数百 Hz ~ 400 kHz 周波数帯を利用する。変圧器を設計するにあたっては周波数考慮の他にいくつか留意点がある。

筆者も誘導加熱業務に長年携わってきたが、入社当初から疑問に感じるが多々あった。以下にいくつかあげてみるが、誰もが一度は「わからない・おかしい」と思ったのではないだろうか？

- ・鉄心の比透磁率 μ_r は数千と聞いているが、誘導加熱・浸透深さ計算式では μ_r は 10 ~ 20 ?
- ・直流リアクトル L_{dc} の鉄心にエアギャップを必ず設ける理由は？
- ・電流検出器 CT は一次側をつないだままで使わないときは、二次は必ず短絡しておく？
- ・パルストランスの $E \cdot t$ 積定格とは？
- ・鉄心のない空心変圧器って何だ？ など

様々な変圧器設計例でそれぞれの特徴・違いや、磁路中に空隙の占める割合が増えるにしたがってどうなっていくか等を例示し、最後に誘導加熱コイル & ワークの挙動を説明する。

1. 鉄心入変圧器

基本式 (式番号)・用語解説は文末 6. に示した。1. 及び 2. では前提として磁束は全て鉄心内を通ると考える。

1. 1 通常商用周波数の鉄心入変圧器

印加波形：正弦波電圧・周波数 f : 50 Hz / 60 Hz
この場合、よく知られるように

$$E / n = 4.44 \cdot f \cdot B_m \cdot S \quad \text{式 (8)}$$

E : 電圧の実効値 [V]
 B_m : B のピーク値 [T]

重量・大きさ・価格等考慮すると、必要電圧 E に対し巻数 n を多くするか、磁路断面積 S は小さいほうがよい。通電電流により巻線太さが限定されるので巻数 n には制限がある。50 Hz/60 Hz では鉄心材は珪素鋼板が有利で、磁束密度 B_m は 1.65 [T] 程度を選定できる。

いくつかの鉄心材料特性比較を表 1 に示す。

一次電流 $I_1 \doteq$ 励磁電流 + $n_2 / n_1 \times$ 二次電流 I_2
励磁電流分は通電電流に比べ少ない。

電圧比は定格に合うよう巻数を微調整するが、電圧比・電流比とも概ね式 (9) となる。

$$\left. \begin{aligned} V_1 / V_2 &\doteq n_1 / n_2, I_1 / I_2 \doteq n_2 / n_1 \\ kVA &= V_1 \cdot I_1 \doteq V_2 \cdot I_2 \end{aligned} \right\} \text{式 (9)}$$