

変電 (16) - 1 《変圧器の励磁電流》

コイルの励磁電流

※ $I \propto \Phi$ の関係

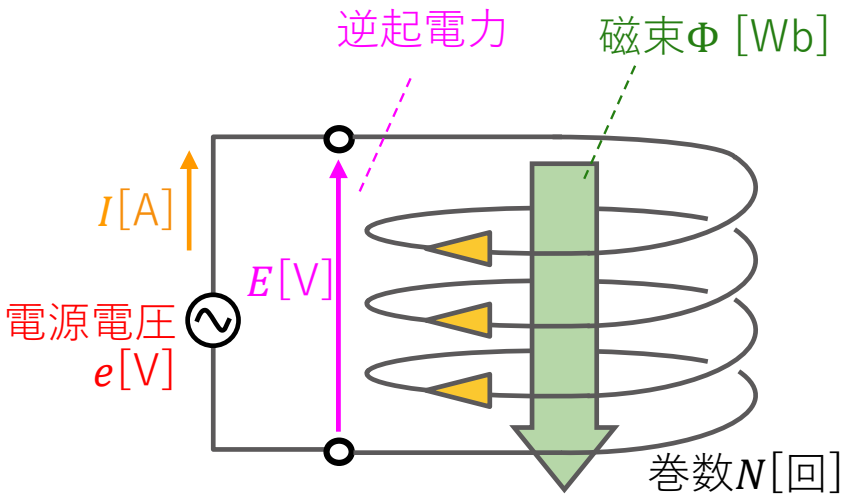
電源接続 → 電流 I が流れる → 電流 I により磁束 Φ が生じる → 磁束 Φ によって逆起電力 E が生じる

※ファラデーの法則 $E = N \frac{d\Phi}{dt}$

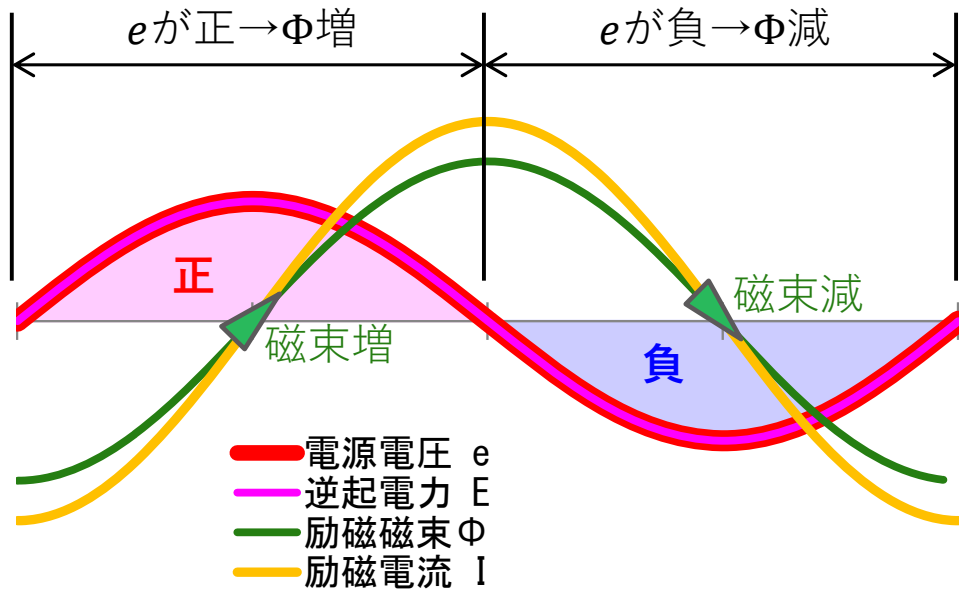
$\begin{cases} E < e \rightarrow I \text{ 増} \\ E = e \rightarrow I \text{ 維持} \end{cases}$

※ $E = e$ の関係

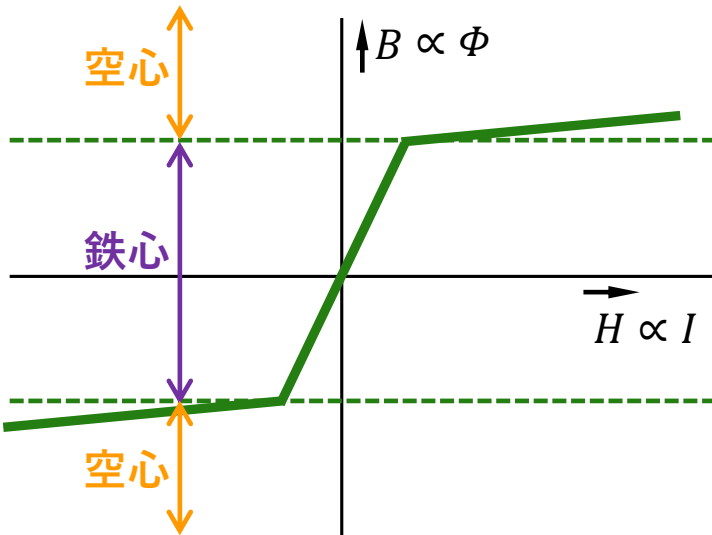
→ 逆起電力 E と電源電圧 e が等しくなる電流 I でバランス
励磁電流



$E = e = N \frac{d\Phi}{dt} \rightarrow edt = Nd\Phi \rightarrow \int edt = \int Nd\Phi = N\Phi$
 $\therefore \Phi = \frac{1}{N} \int edt$ ※ 磁束 Φ は電圧 e の積分
 e が正 $\rightarrow \Phi$ 増 e が負 $\rightarrow \Phi$ 減



鉄心のBH特性

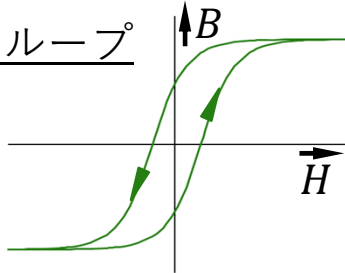


インダクタンス $L[H]$

$$\Phi = \frac{LI}{N}$$

※鉄心有り ≫ 空心

ヒステリシスループ



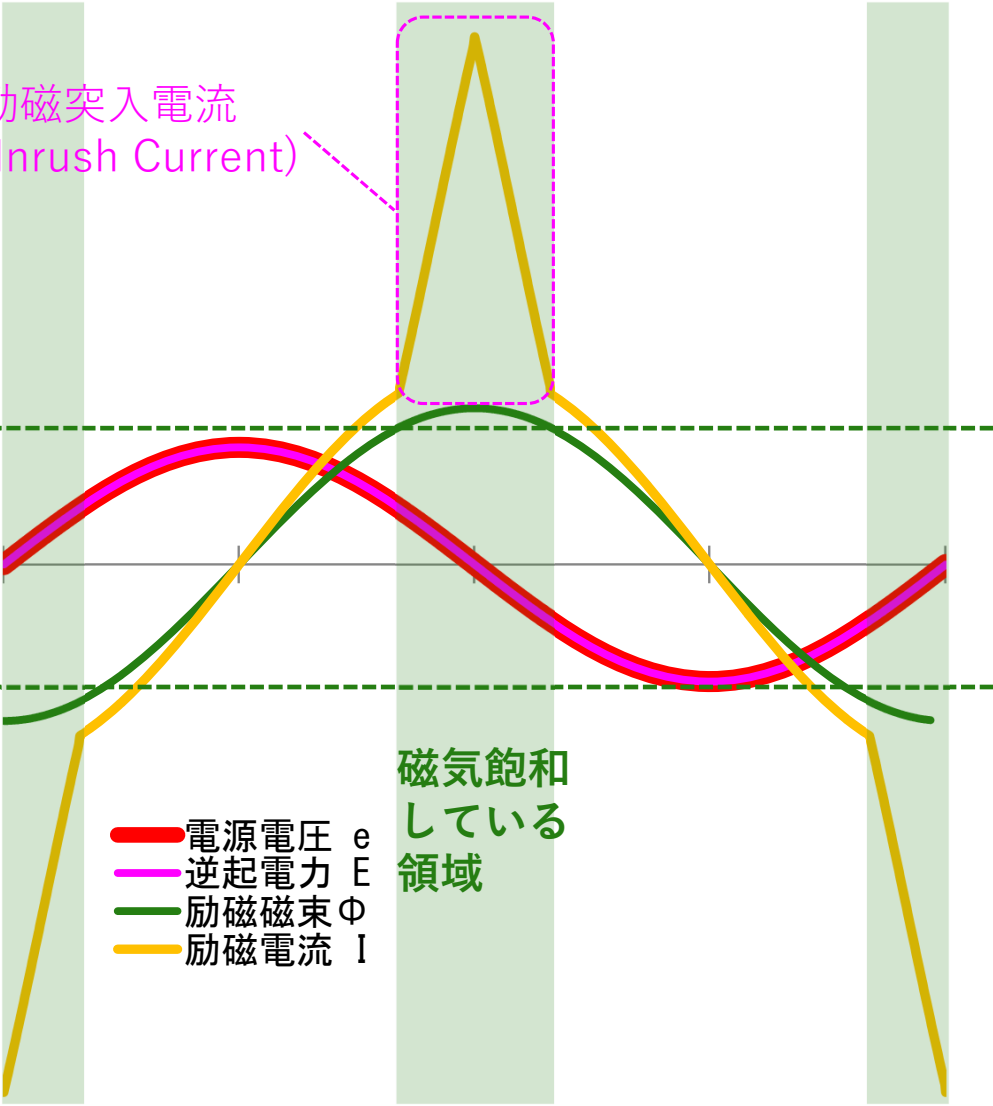
励磁突入電流
(Inrush Current)

▼ 磁気飽和

▲ 磁気飽和

磁気飽和
している
領域

- 電源電圧 e
- 逆起電力 E
- 励磁磁束 Φ
- 励磁電流 I

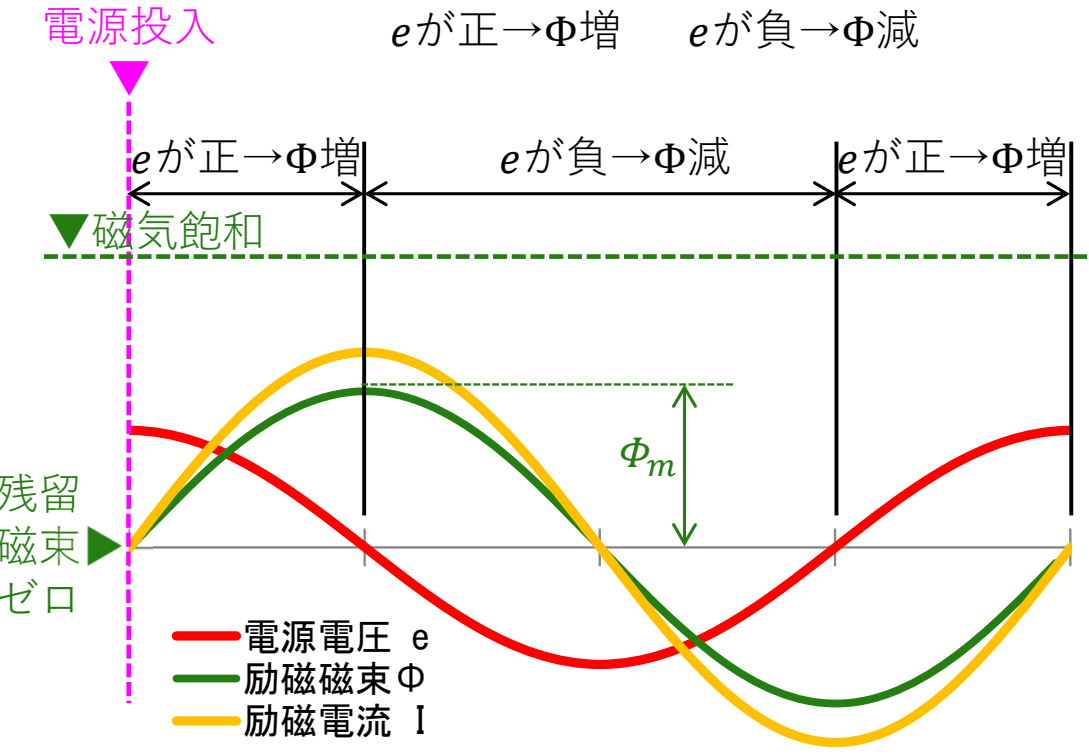


変電 (16) - 3 《変圧器電源投入時に磁気飽和する理由 1》

■ 電圧が最大の時に電源投入

$$\Phi = \frac{1}{N} \int e dt$$

※ 磁束Φは電圧eの積分
eが正→Φ増 eが負→Φ減

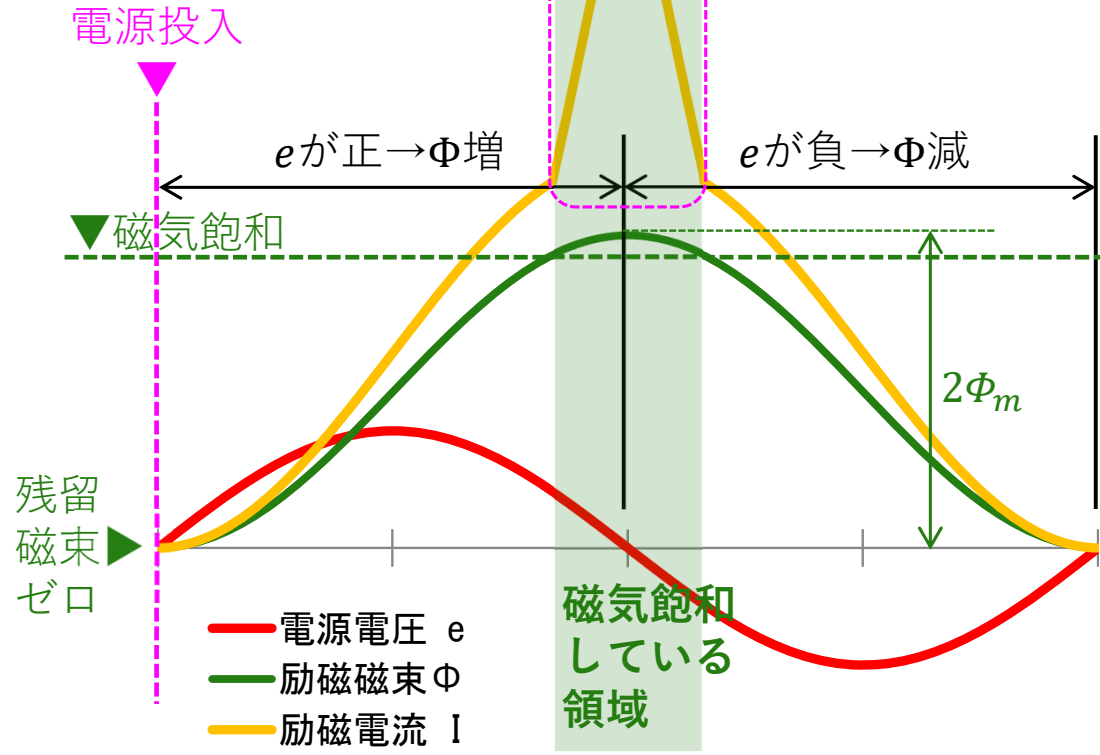


■ 電圧がゼロの時に電源投入

電源投入して
1/2 サイクル
経過後に最大値

励磁突入電流
(Inrush Current)

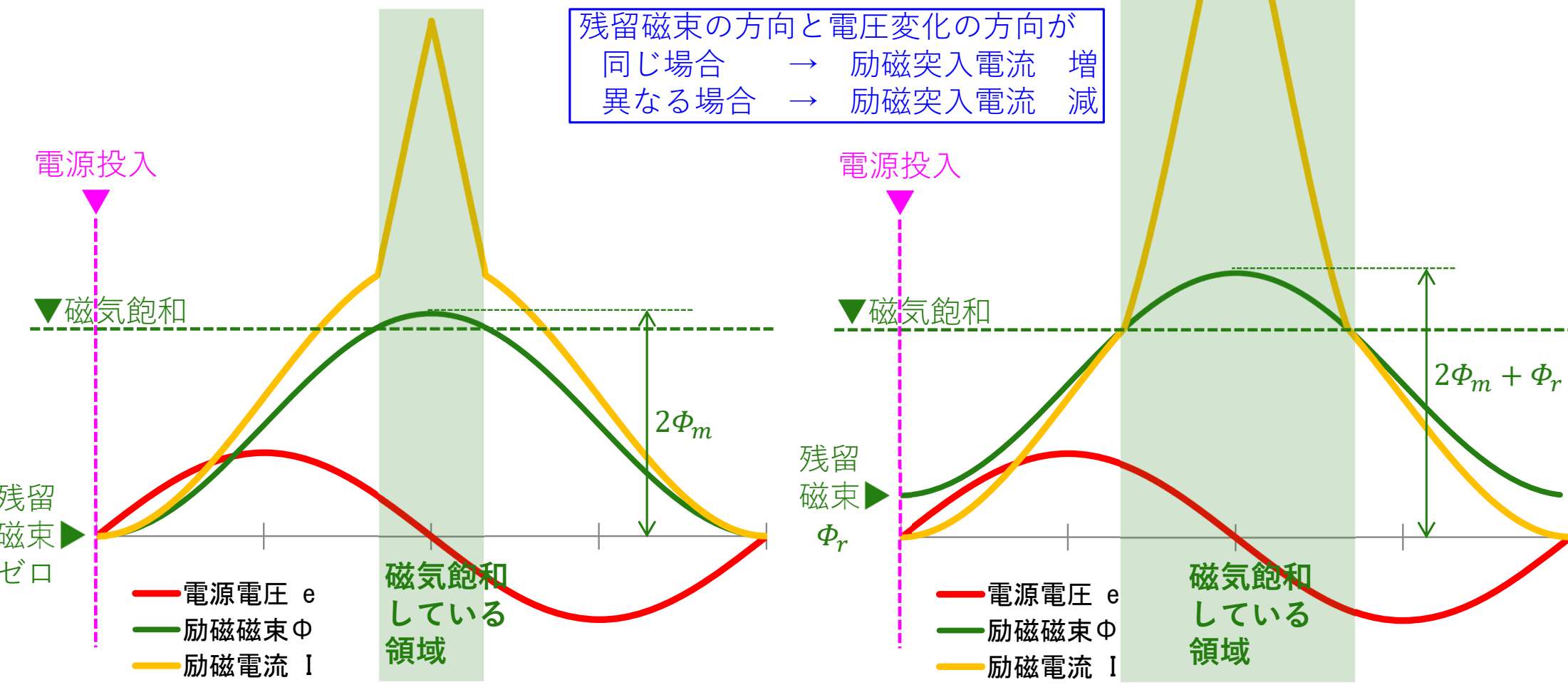
※ 回路の時定数 $\frac{L}{R}$ に
従って徐々に
減衰していく。



変電 (16) - 4 《変圧器電源投入時に磁気飽和する理由 2》

■ 電圧がゼロの時に電源投入 (残留磁束ゼロ)

■ 電圧がゼロの時に電源投入 (残留磁束あり)



変電 (16) - 5 《変圧器電源投入時の過渡磁束と励磁突入電流》

電源投入したときの電圧位相角： $\theta[^\circ]$

電源電圧： $e = e_m \sin(\omega t + \theta)$

交流分磁束： $\Phi_{AC} = \Phi_m \sin(\omega t + \theta + 90)$ ※定常時の磁束

直流分磁束： $\Phi_{DC} = \Phi_m \cos\theta$

残留磁束： Φ_r

過渡磁束： $\Phi = \Phi_{AC} + \Phi_{DC} + \Phi_r$

時間経過で減衰してゼロとなる

鉄心の断面積： A_c 実効空心断面積： A_a

鉄心の定常時最大磁束密度： B_m

鉄心の飽和時最大磁束密度： B_s

残留磁束密度： B_r 空心磁束密度： B_a

$$\Phi = (2B_m + B_r)A_c = \phi_s + \phi_a = B_s A_c + B_a A_a$$

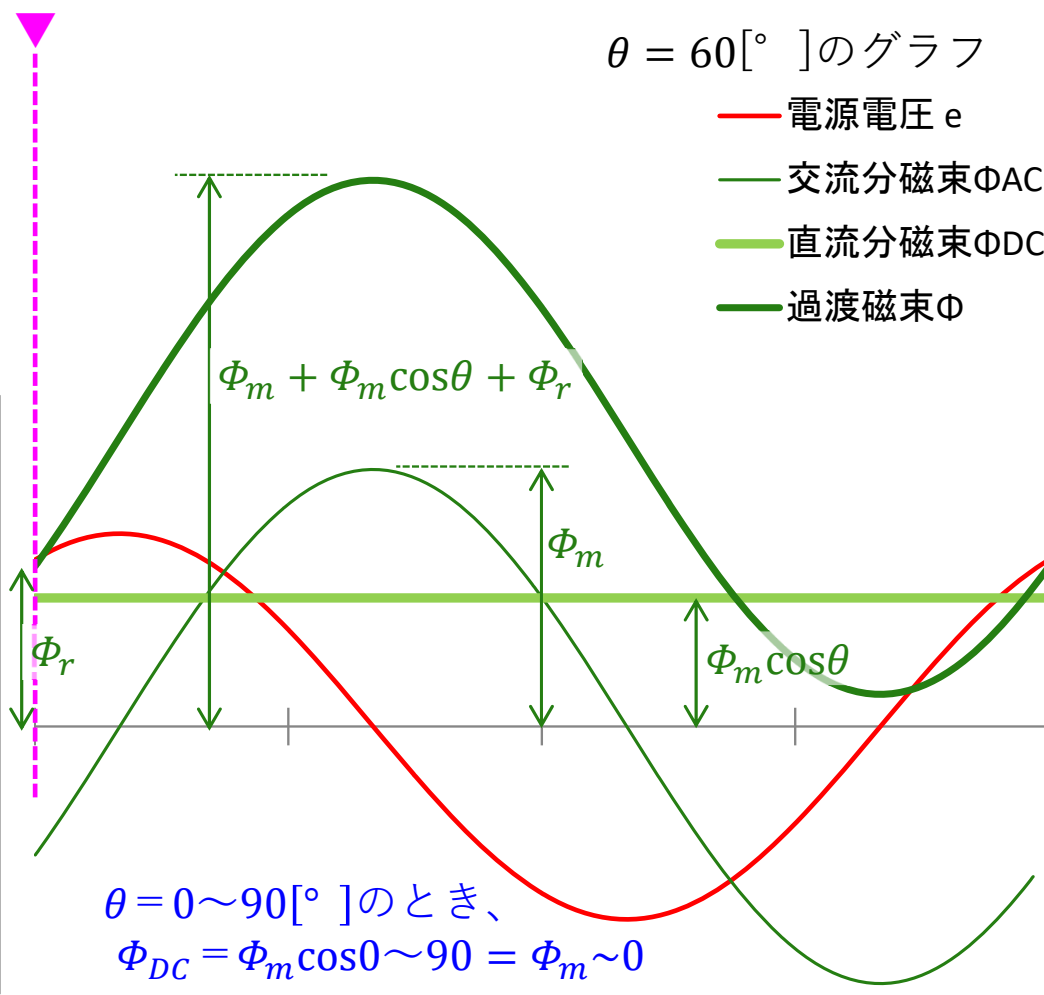
$$B_a = \frac{(2B_m + B_r - B_s)A_c}{A_a}$$

空心リアクタンス： L 巻数： N

$$\text{最大瞬時励磁突入電流} : i_{lm} = \frac{N\phi_a}{L} = \frac{NB_a A_a}{L} = \frac{N(2B_m + B_r - B_s)A_c}{L}$$

※ ϕ_s を作る電流は ϕ_a を作る電流に対して非常に小さいので無視した

電源投入



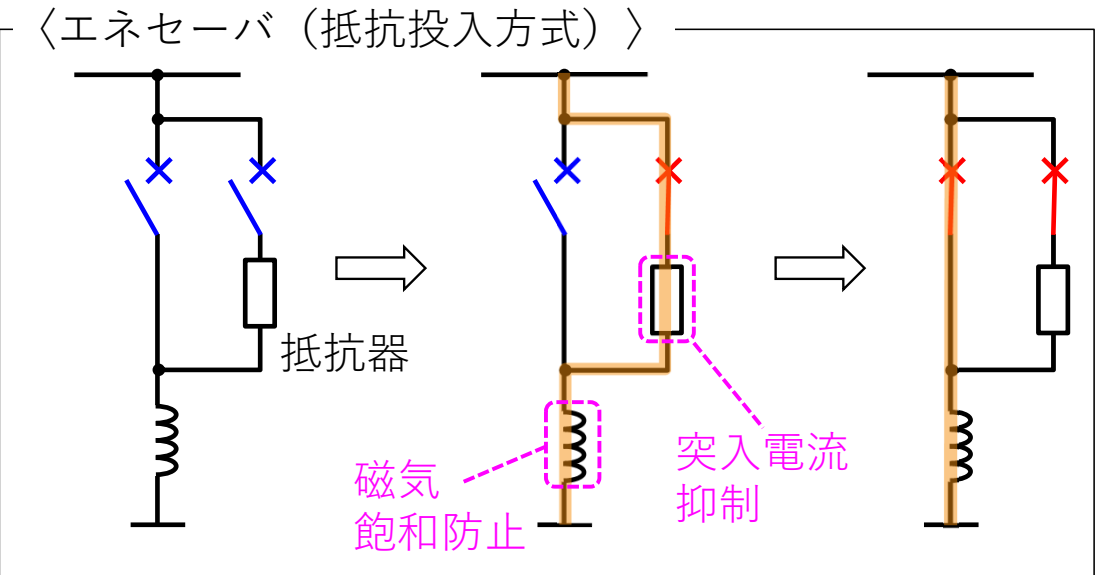
変電（16）－ 6 《励磁突入電流の影響と対策》

励磁突入電流の悪影響

- ・ 系統側インピーダンスによる瞬時電圧低下
- ・ 保護継電器、ヒューズの誤動作

励磁突入電流の対策

- ・ 第2調波ロック機能付保護継電器の採用、ヒューズ特性検討
- ・ 励磁突入電流抑制機能付き開閉器（エネセーバ）とする



励磁突入電流の波形は半波整流波形に近い
ためフーリエ級数展開より

$$i = \frac{I_m}{2} \sin x + \frac{I_m}{\pi} - \frac{2I_m}{\pi} \left(\frac{1}{3} \cos 2x + \frac{1}{15} \cos 4x + \frac{1}{35} \cos 6x + \dots \right)$$

第2調波成分が多い

