

XTAP 例題集		番 号	PQ-02-A
例題名	お客さま変圧器加圧時の励磁突入電流の計算		
分 野	電力品質解析, 励磁突入電流計算		
文 献	<p>本例題の変圧器のデータは次の論文のものを参考にして作成した。</p> <p>徳永, 久保田, 「巻線形状の設計手順を用いて推定した機器定数による二巻線電力用変圧器の励磁突入電流解析」, 電気学会論文誌 B, 128 巻 9 号, pp. 1075 – 1081, 2008.</p>		
概 要	<p>変圧器を加圧すると加圧時の過渡現象により鉄心の磁束が飽和し, 数 10 周期に亘り過大な電流が流れる。これを励磁突入電流と呼ぶ。電力品質の観点からは, 上位系統から過大な電流が流れることによる電圧低下が問題となり, 変圧器保護の観点からは, 巻線を通る過電流が生じる電磁力により巻線が変位し絶縁体力低下が懸念される。</p> <p>本例題では, 66 kV 受電 (特高受電) のお客さま変圧器を加圧したときの励磁突入電流計算を行う。なお, 本例題は初期磁束 (残留磁束) を考慮しない基本的なものである。</p>		

解析回路・解析条件

図1に解析回路の単線結線図を示す。

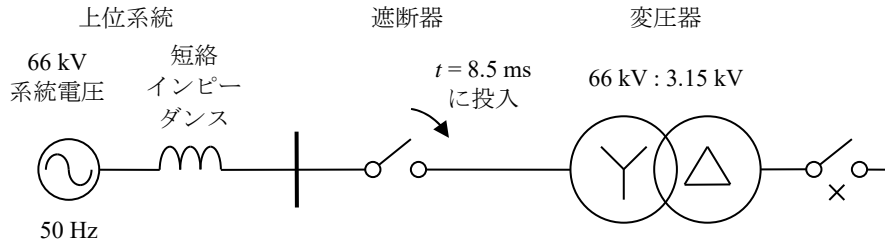


図1 解析回路の単線結線図

【回路動作】

変圧器に印加される電圧 v と変圧器鉄心に生じる磁束 ϕ の関係は

$$v = \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \phi = \int_0^t v(\tau) d\tau$$

となるため、印加時の電圧位相が 90° となっていなければ磁束の振動の平均値は 0 とならない。特に、印加時の電圧位相が 0° に近い場合には磁束は定格の波高値を中心として定格の振幅で振動することになり、磁束の最大値は約 2 p.u. に達する。この過大な磁束により、鉄心の電流-磁束曲線 ($i - \phi$ 曲線) 上の動作点が飽和領域に入り、過大な電流が流れることになる。これを励磁突入電流と呼ぶ。

図1の回路では、系統電圧 a 相の初期位相を 0° とし、時刻 $t = 8.5 \text{ ms}$ に遮断器を投入する。すなわち、a, b, c 相いずれも初期位相は 90° となっておらず、励磁突入電流が生じる。

【66 kV 系統の模擬】

66 kV 系統は、66 kV を発生する電圧源と上位系統の短絡インピーダンスで模擬する。短絡インピーダンスの値については、次の文献において調査が行われている。

「配電系統における電力品質の現状と対応技術」

電気協同研究 第60巻 第2号, 平成17年3月.

上記で210の母線を対象として調査したところ、6.6 kV 母線から見た短絡インピーダンスの平均値が $j0.0353 \Omega$ であったため、これを採用する。この値を66 kV側の各相の値に換算すると6.49 mHとなる。

【変圧器の模擬】

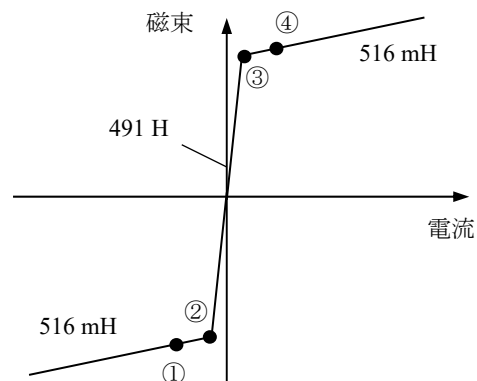
励磁突入電流を高精度に計算しようとする、変圧器の鉄心・巻線の形状や体格を考慮する必要がある。一方、変圧器の基本等価回路（巻数比を理想変圧器で模擬し、巻線抵抗、漏れインダクタンス、励磁インピーダンスを考慮したもの）の励磁インピーダンス部分において、励磁インダクタンスを非線形インダクタンスで模擬することで鉄心の飽和を表現する簡易な方法もあり、本例題ではこれを採用する。

解析対象となる変圧器の結線は Y- Δ であるから、XTAP の三相 2 巻変圧器部品の「Y-D（漏れ mH・外部励磁）」を用いる。この部品は、励磁インピーダンスを除く変圧器の基本等価回路 3 セットを Y- Δ 接続し、励磁インピーダンスを外部から接続できるようにしたものである。パラメータは次の値とする。

- ・ 1 次側線間電圧： 66 kV
- ・ 2 次側線間電圧： 3.15 kV
- ・ 1 次側漏れインピーダンス 巻線抵抗：6.68 Ω 漏れインダクタンス：337 mH
- ・ 2 次側漏れインピーダンス 巻線抵抗：0.04 Ω 漏れインダクタンス：16.1 mH
- ・ 対地間キャパシタンスはデフォルト値通り

次に励磁インピーダンスについて述べる。励磁インピーダンスは各相において 319 k Ω の鉄損抵抗と次に述べる特性を有する非線形インダクタンスの並列接続とする。非線形インダクタンスは、定格磁束の 1.2 倍までは 491 H のインダクタンスを有し、これを超えると 516 mH（空心インダクタンス）となる折れ線の飽和特性で、次の電流-磁束曲線（ $i-\phi$ 曲線）で指定する。

	電流 [A]	磁束 [Wb]
①	-1.0	-206.1
②	-0.4192	-205.8
③	0.4192	205.8
④	1.0	206.1



なお、XTAP において部品の非線形特性を折れ線で指定する場合、指定した範囲外の特性は直線補外により計算される。

【解析条件】

解析条件は以下の通りとする。

- ・ 計算時間刻み： 0.1 ms
- ・ 計算終了時間： 200 ms
- ・ 表示開始時間： 0 ms
- ・ 表示終了時間： 200 ms

【XTAP 入力例】

本例題を XTAP 上に作成した例を図 2 に示す。

解析結果

本例題を XTAP により実行した結果を図 3 に示す。文献に示された実測結果と比較すると、初期磁束（残留磁束）を考慮していないことに起因する差異はあるものの良く一致している。また、参考のため、図 3 (c) には b 相磁束波形（XPLT を用いて b 相電圧を積分して得た）を示しておいた。投入時の電圧位相により、磁束の振動の平均値が 0 になっていないことが分かる。

例題名： お客さま変圧器加圧時の励磁突入電流計算 番号： PQ-02

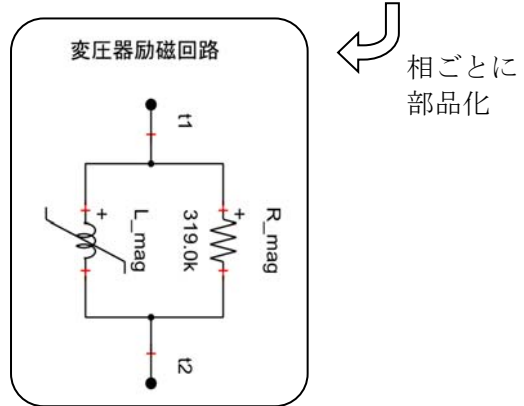
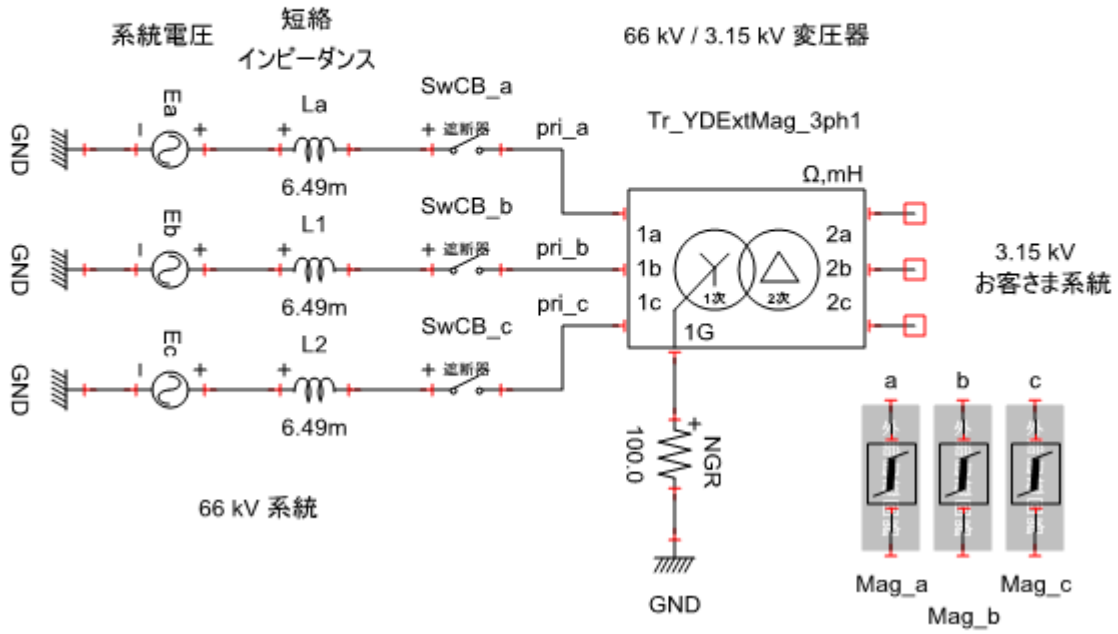
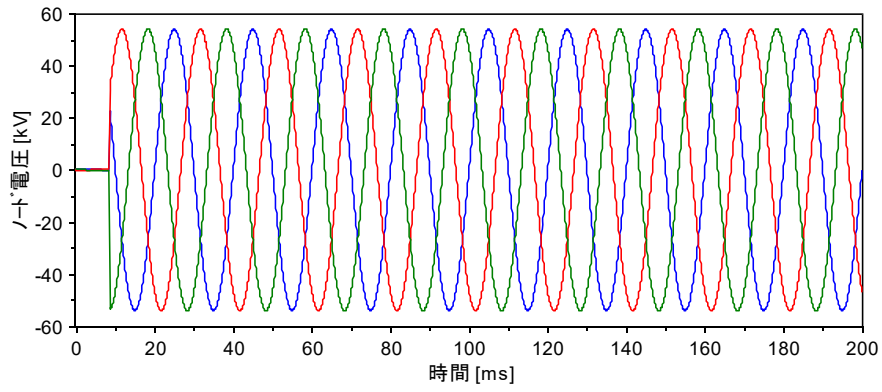
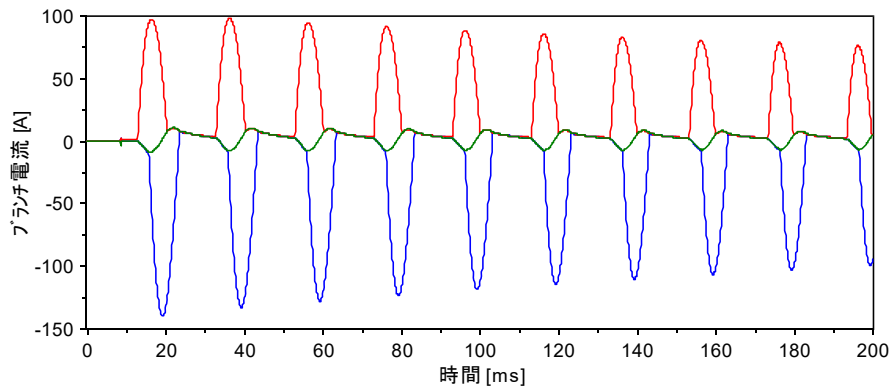


図2 XTAP 入力例



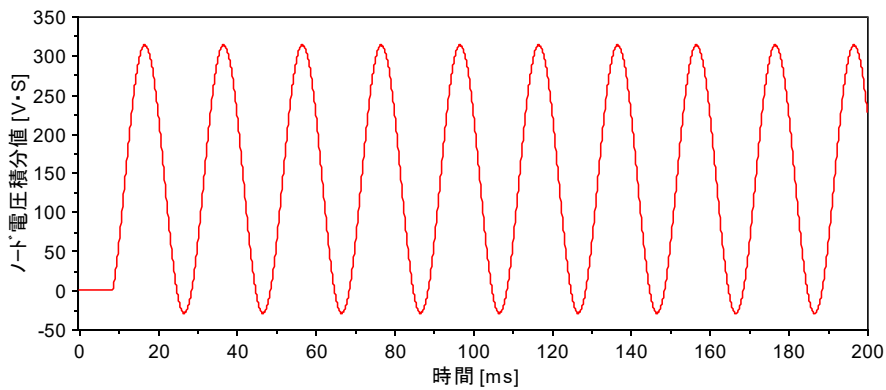
— u(pri_a)#1 — u(pri_b)#1 — u(pri_c)#1

(a) 変圧器 1 次側電圧



— i(SwCB_a)#1 — i(SwCB_b)#1 — i(SwCB_c)#1

(b) 励磁突入電流



— u(pri_b)#1

(c) b 相磁束波形

図 3 解析結果

以上

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2023/10/01	2.11	文章の誤植を修正（例題ファイルに変更はなし）
2017/12/14	2.1	例題のファイル名を PQ-02 から PQ-02-A に変更
2014/11/19	2.0	XTAP Version 2.00 用に修正
2013/05/10	1.3	XPLT の積分計算の修正に伴い、図 3 解析結果の(c) b 相 磁束波形のグラフを変更
2012/07/19	1.2	XTAP Version 1.20 用に修正
2011/10/18	1.1	XTAP Version 1.11 用に修正
2010/09/02	1.0	初版作成（XTAP Version 1.10 用）

