

## 変圧器加圧時の電気現象解析手法の開発\*

外山 真也<sup>\*1</sup>・長友 春一郎<sup>\*2</sup>・井上 真二<sup>\*2</sup>

Study of Calculation Technique of Magnetizing Inrush Current

Masaya TOYAMA, Syunichirou NAGATOMO and Shinji INOUE

変圧器加圧時の励磁突入電流に関する計算手法は、一般的にAIEE<sup>\*3</sup>に準拠する手法やEMPTを活用する手法が用いられるが、いずれの手法も実測結果から最大突入電流<sup>\*4</sup>の予測は困難である。

そこで、株式会社興電社ではオフセット磁束、電圧補正磁束、理論磁束、単位突入励磁電流を定義し、突入電流波高値(変圧器メーカー計算値)及び実測結果から最大突入電流を予測する手法を研究している。

今回の開発では、C#言語を利用し、オブジェクト指向によるプログラム開発を行うことにより、デバッグも容易なシステムを実現し、一般ユーザーも利用できるシステムを構築することを目的として進めた。これまでの開発において、複数サイクルの電流電圧励磁現象の解析結果を示すことが可能になった。

キーワード：励磁突入電流、残留磁束、瞬時電圧低下、オフセット磁束、超過磁束

### 1 はじめに

変圧器加圧時の励磁突入電流に関する計算手法については、一般的にAIEEに準拠する手法やEMPTを活用する手法が用いられている。しかし、いずれの手法も実測結果から最大突入電流を予測することは困難であるのが現状となっている。そのため、変圧器加圧時の瞬時電圧低下量を正確に予測することができず、ユーザーに多大な迷惑をかける場合も少なくない。

そこで、株式会社興電社ではオフセット磁束、電圧補正磁束、理論磁束、単位突入励磁電流を定義し、突入電流波高値(変圧器メーカー計算値)および実測結果から最大突入電流を予測する手法を考案し、研究を進めている。

従来、計算は表計算ソフトを利用して求めていたが、データによっては、エラーが発生したり、計算結果の確認、表示なども含めて、操作性が良

いとはいえない状況であった。

今回の開発では、C#言語を利用し、オブジェクト指向によるプログラム開発を行うことにより、デバッグも容易なシステムを実現し、一般ユーザーも利用できるシステムを構築することを目的として進めた。

これまでの開発経過について報告する。

### 2 開発方法

下記の3項を入力項目として、突入線電流と基本波受電電圧(瞬時電圧低下量)の波形生成を行うシステムの開発を行う。

- 1)変圧器励磁電流メーカー計算値
- 2)変圧器停止現地試験結果
- 3)変圧器加圧現地試験結果
- 4)複数サイクルでの解析

開発は、主に1)入力項目、2)突入電流演算機能及び波形生成機能、3)電圧低下量演算機能の3つのプログラムの開発に分けられ、それらの結果をまとめて表示するようにした。

以下において各開発手順を示す。

#### 2-1 入力項目

この機能については、メーカー提出の励磁電流

\* 共同研究(第2報)

\*1 機械電子部

\*2 株式会社興電舎

\*3 AIEEとはAmerican Institute of Electrical Engineers(アメリカ電気学会)の略称である。

\*4 突入励磁電流と突入線電流とを縫合して突入電流と呼ぶことにした。

波高値計算値結果又は、現地試験結果より、a相投入位相角、飽和磁束、各残留磁束、単位突入励磁電流波高値を入力することで、以下に述べる演算に活用することとした。

### 2-2 突入電流演算機能及び波形生成機能

2-1項の入力値を基に、オフセット磁束、最大磁束、超過磁束の演算を行い、その値を表にして表示することとした。

また、単位突入励磁電流及び超過磁束より、最大突入電流波高値を求め、各ポイントにおける時刻を求めることで、最大突入励磁電流の波形を生成することができ、この波形より、通常私たちが取り扱うことができる突入線電流波高値及びその波形を生成するようにした。

### 2-3 電圧低下量演算機能

2-2項で求めた突入励磁電流及び突入線電流と系統インピーダンスを入力することで、実系統にあった瞬時電圧低下量を計算するようにした。

### 2-4 複数サイクルでの解析

2-1から2-3までの解析プログラムを関数化し、複数の解析データが与えられたら、それらのデータを元に解析し、グラフ表示するようにした。

## 3 結果および考察

上記の手順により、突入線電流波高値及びその波形を求め、実系統にあった瞬時電圧低下量を求めることが可能になった。プログラム開発はMicrosoft Visual Studio, NET C# 2005 Expressを利用した。



図1 データ入力初期状態

図1に起動後電位位相角を計算した状態を示す。ここで、「計算実行」ボタンを押すと、投入位相角、オフセット磁束、最大磁束、超過磁束などが計算される。図2は励磁電流計算を実行した時の各位相角での計算結果を示す。



図2 投入位相角などの計算結果の表示

図3から5は、各段階での単位突入電流値における計算結果をリストで表示している状態を示す。

通常は、図3から5に示す計算結果は表示されず、計算結果による図6に示すようなグラフを表示する。つまり、図3から5のデータは、計算結果の確認のために用いられるものである。

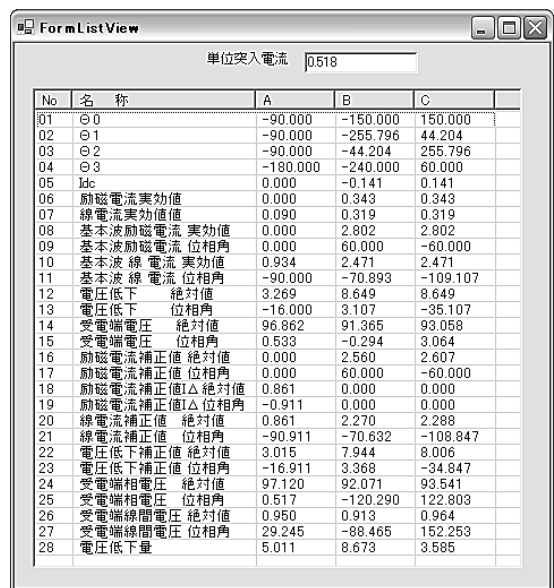


図3 第一段 磁束計算結果

FormListView

単位突入電流 0.410

No	名称	A	B	C
01	θ0	-90.000	-150.000	150.000
02	θ1	-90.000	-255.796	44.204
03	θ2	-90.000	-44.204	255.796
04	θ3	-180.000	-240.000	60.000
05	Idc	0.000	-0.112	0.112
06	励磁電流実効値	0.000	0.272	0.272
07	線電流実効値	0.071	0.252	0.252
08	基本波励磁電流実効値	0.000	2.218	2.218
09	基本波励磁電流位相角	0.000	60.000	-60.000
10	基本波線電流実効値	0.739	1.956	1.956
11	基本波線電流位相角	-90.000	-70.893	-109.107
12	電圧低下絶対値	2.587	6.845	6.845
13	電圧低下位相角	-16.000	3.107	-35.107
14	受電端電圧絶対値	97.516	93.165	94.482
15	受電端電圧位相角	0.419	-0.228	2.388
16	励磁電流補正值絶対値	0.000	2.066	2.095
17	励磁電流補正值位相角	0.000	60.000	-60.000
18	励磁電流補正值IΔ絶対値	0.694	0.000	0.000
19	励磁電流補正值IΔ位相角	-0.696	0.000	0.000
20	線電流補正值絶対値	0.694	1.830	1.841
21	線電流補正值位相角	-90.696	-70.694	-108.908
22	電圧低下補正值絶対値	2.428	6.403	6.442
23	電圧低下補正值位相角	-16.696	3.306	-34.908
24	受電端相電圧絶対値	97.677	93.608	94.789
25	受電端相電圧位相角	0.409	-120.226	122.229
26	受電端線間電圧絶対値	0.960	0.930	0.971
27	受電端線間電圧位相角	29.397	-88.781	151.797
28	電圧低下量	4.046	6.988	2.893

図4 第二段 磁束計算結果

FormListView

単位突入電流 0.410

No	名称	A	B	C
01	θ0	-90.000	-150.000	150.000
02	θ1	-90.000	-255.796	44.204
03	θ2	-90.000	-44.204	255.796
04	θ3	-180.000	-240.000	60.000
05	Idc	0.000	-0.112	0.112
06	励磁電流実効値	0.000	0.272	0.272
07	線電流実効値	0.071	0.252	0.252
08	基本波励磁電流実効値	0.000	2.218	2.218
09	基本波励磁電流位相角	0.000	60.000	-60.000
10	基本波線電流実効値	0.739	1.956	1.956
11	基本波線電流位相角	-90.000	-70.893	-109.107
12	電圧低下絶対値	2.587	6.845	6.845
13	電圧低下位相角	-16.000	3.107	-35.107
14	受電端電圧絶対値	97.516	93.165	94.482
15	受電端電圧位相角	0.419	-0.228	2.388
16	励磁電流補正值絶対値	0.000	2.066	2.095
17	励磁電流補正值位相角	0.000	60.000	-60.000
18	励磁電流補正值IΔ絶対値	0.694	0.000	0.000
19	励磁電流補正值IΔ位相角	-0.696	0.000	0.000
20	線電流補正值絶対値	0.694	1.830	1.841
21	線電流補正值位相角	-90.696	-70.694	-108.908
22	電圧低下補正值絶対値	2.428	6.403	6.442
23	電圧低下補正值位相角	-16.696	3.306	-34.908
24	受電端相電圧絶対値	97.677	93.608	94.789
25	受電端相電圧位相角	0.409	-120.226	122.229
26	受電端線間電圧絶対値	0.960	0.930	0.971
27	受電端線間電圧位相角	29.397	-88.781	151.797
28	電圧低下量	4.046	6.988	2.893

図5 第三段 磁束計算結果

図6は磁束計算の結果をグラフ表示している。今回の開発では、各データをクラス化して、取り扱うようにしたため、プログラム開発が容易になった。

また、図7は、各段階での計算結果をまとめた結果を示す。

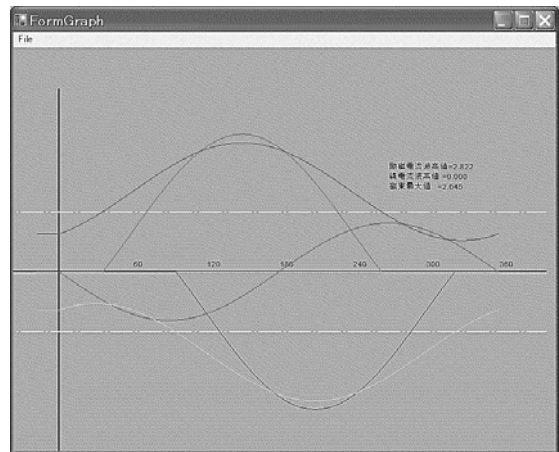


図6 第一段磁束計算結果のグラフ表示

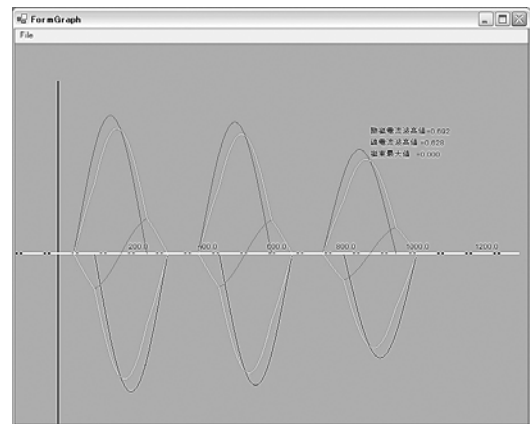


図7 複数データを合成したグラフ表示

#### 4 まとめ

今回の開発により従来の表計算による手法と比べ、手軽に計算処理が行えるようになった。今後社内での利用を促進する予定である。

#### 5 参考文献

- 1) 大岡昇, 前川定雄: 標準電気機器講座 変圧器, 東京電機大学出版局, 217-219 (1967.12)
- 2) 山形芳文, 中田安彦他: 低周波電圧による変圧器の消磁方法, 平成10年電気学会電力エネルギー部門大会, 531 (1998)