

# 変圧器加圧時の電気現象解析手法に関する研究\*

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 , Syunichiro 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)興電舎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。これまでの開発経過について報告する。

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)興電舎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、エラーを発生したり、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。

\*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。

## 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

開発は、主に1)入力項目、2)突入電流演算機能および波形生成機能、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る。

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波高値計算値結果又は、現地試験結果より、a 相投

\* 設計生産工程の高効率化に関する研究(第2報)

\*1 機械電子部

\*2 株式会社興電舎

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 突入電流演算機能および波形生成機能

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出来る突入線電流波高値およびその波形を生成することができた。

### 2-3 電圧低下量演算機能

2-2項で求めた突入励磁電流およ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ことができる。

No	Angle	A	B	C
065	46	-0.113	-0.113	0.225
066	47	-0.124	-0.124	0.248
067	48	-0.135	-0.135	0.271
068	49	-0.147	-0.147	0.294
069	50	-0.158	-0.158	0.316
070	51	-0.170	-0.170	0.339
071	52	-0.181	-0.181	0.362
072	53	-0.193	-0.193	0.386
073	54	-0.204	-0.204	0.409
074	55	-0.216	-0.216	0.432
075	56	-0.227	-0.227	0.455
076	57	-0.239	-0.239	0.478
077	58	-0.251	-0.251	0.501
078	59	-0.262	-0.262	0.525
079	60	-0.274	-0.274	0.548
080	61	-0.286	-0.286	0.571
081	62	-0.297	-0.297	0.595
082	63	-0.309	-0.309	0.618
083	64	-0.321	-0.321	0.641
084	65	-0.332	-0.332	0.664
085	66	-0.344	-0.344	0.687
086	67	-0.355	-0.355	0.710

図2 電流位相角、励磁電流計算結果

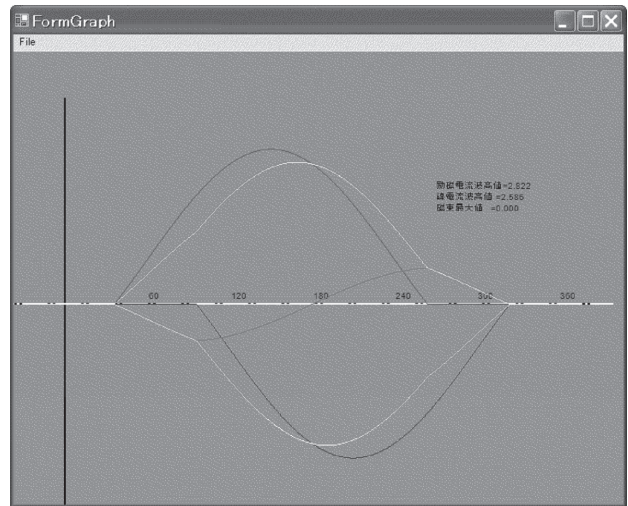


図3 励磁電流計算結果のグラフ表示

Directory Path: \_\_\_\_\_  
File Load CSV Data: \_\_\_\_\_ 参照

\*CSV

a相投入位相角 270.000    オフセット磁束 0.000    飽和磁束 1.234  
b相投入位相角 150.000    -0.866    -1.234  
c相投入位相角 30.000    0.866    1.234

a相残留磁束 0.0    最大磁束 -1.000    超過磁束 -2.234    単位突入電流 2.00    突入電流波高値 -4.468  
b相残留磁束 -0.779    -2.645    -1.411    -2.822  
c相残留磁束 0.779    2.645    1.411    2.822

倍率 Y 40    Zs 1.8    位相角 83.46

No	名称	A	B	C
01	θ0	-90.000	-150.000	150.000
02	θ1	-90.000	-264.200	35.732
03	θ2	-90.000	-35.732	264.268
04	θ3	-180.000	-240.000	60.000
05	Idc	0.000	-0.822	0.822
06	励磁電流実効値	0.000	0.000	0.000
07	線電流実効値	0.000	0.000	0.000
08	基本波励磁電流実効値	0.000	0.000	0.000
09	基本波励磁電流位相角	0.000	0.000	0.000
10	基本波線電流実効値	0.000	0.000	0.000
11	基本波線電流位相角	0.000	0.000	0.000
12	電圧低下絶対値	0.000	0.000	0.000
13	電圧低下位相角	0.000	0.000	0.000
14	電圧低下有効分	0.000	0.000	0.000
15	電圧低下無効分	0.000	0.000	0.000
16	受電端電圧有効分	0.000	0.000	0.000
17	受電端電圧無効分	0.000	0.000	0.000
18	受電端電圧絶対値	0.000	0.000	0.000

電流位相角    励磁電量計算    磁束計算

図1 データ入力初期状態

Directory Path: \_\_\_\_\_  
File Load CSV Data: \_\_\_\_\_ 参照

\*CSV

a相投入位相角 270.000    オフセット磁束 0.000    飽和磁束 1.234  
b相投入位相角 150.000    -0.866    -1.234  
c相投入位相角 30.000    0.866    1.234

a相残留磁束 0.0    最大磁束 -1.000    超過磁束 -2.234    単位突入電流 2.00    突入電流波高値 -4.468  
b相残留磁束 -0.779    -2.645    -1.411    -2.822  
c相残留磁束 0.779    2.645    1.411    2.822

倍率 Y 40    Zs 1.8    位相角 83.46

No	名称	A	B	C
01	θ0	-90.000	-150.000	150.000
02	θ1	-90.000	-264.200	35.732
03	θ2	-90.000	-35.732	264.268
04	θ3	-180.000	-240.000	60.000
05	Idc	0.000	-0.822	0.822
06	励磁電流実効値	0.000	1.514	1.514
07	線電流実効値	0.375	1.419	1.419
08	基本波励磁電流実効値	0.000	1.063	1.063
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	0.354	0.938	0.938
11	基本波線電流位相角	180.000	79.107	-79.107
12	電圧低下絶対値	0.000	0.000	0.000
13	電圧低下位相角	0.000	0.000	0.000
14	電圧低下有効分	0.000	0.000	0.000
15	電圧低下無効分	0.000	0.000	0.000
16	受電端電圧有効分	0.000	0.000	0.000
17	受電端電圧無効分	0.000	0.000	0.000
18	受電端電圧絶対値	0.000	0.000	0.000

電流位相角    励磁電量計算    磁束計算

図4 磁束計算



### 3 結果および考察

プログラム開発はMicrosoft Visual Studio.NET C#を利用した。

図1に起動後電位位相角を計算した状態を示す。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。さらに、図3において、計算結果をグラフ表示したものを示す。

図4においては、磁束計算を実施した場合の表示を示す。計算結果を確認するために、リストボックス内に各データを表示するようにした。さらに、図5に磁束計算の結果をグラフ表示した結果を示す。

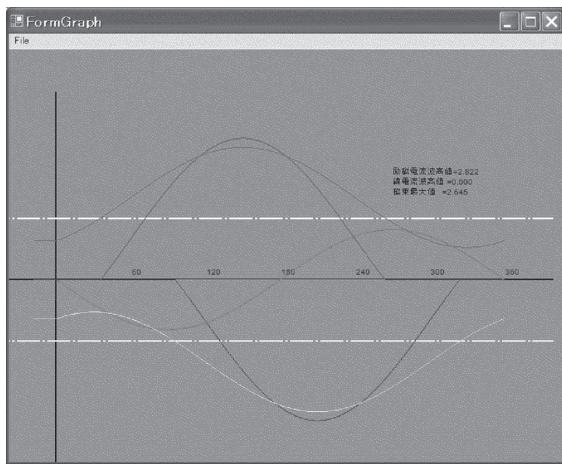


図5 磁束計算結果のグラフ表示

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。その特徴的な例を、List-1に示す。このクラスでは三個のデータを扱い、各データにおける面積を求め、積分値を求める処理の一部である。

これを定義することにより、List-2に示すように変数Volを定義することにより、面積も求められ、取り扱いは簡単になった。

### 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。まだ開発途中ではあるが、完成させて、社内での利用を促進させたい。

```
public class ClsVolt {
    double Va = 0.0;
    double Vb = 0.0;
    double Vc = 0.0;
    public ClsVolt GetMenseki( ClsVolt pre,
double wid ) {
        ClsVolt Menseki = new ClsVolt();
        Menseki.Va = (Va + pre.Va)*wid*0.5;
        Menseki.Vb = (Vb + pre.Vb)*wid*0.5;
        Menseki.Vc = (Vc + pre.Vc)*wid*0.5;
        return Menseki;
    }
}
```

#### List 1 ClsVolt のクラス定義例(一部)

```
ClsVolt Vol = new ClsVolt();
Vol.GetMenseki( pre.VolSenkan, wid );
```

#### List 2 変数Volの面積計算例

### 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, 1967.12, pp.217-219
- 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)