

病院電気設備における変圧器励磁突入電流の実測と瞬時電圧低下の評価

○太田清丈, 大森達哉, 小林 浩 (トーエネック)
矢崎祝秀, 村上英樹 (愛知医科大), 菊池 尚 (山下設計), 足立光弘 (鹿島建設)

Measurement of Inrush Current of Transformers in Electrical Facilities in Hospital and Evaluation for Voltage Drops

OTA Kiyotake, OMORI Tatsuya, KOBAYASHI Hiroshi (Toenec Corporation)

YAZAKI Norihide, MURAKAMI Hideki (Aichi Medical University)

KIKUCHI Hisashi (Yamashita Sekkei, Inc.) and ADACHI Mitsuhiro (Kajima Corporation)

キーワード：病院電気設備, 変圧器励磁突入電流, 瞬時電圧低下, 実測

1. まえがき

病院施設においては、商用電源停止時には一刻も早く電力供給を再開できるような設備構築が求められる。例えば、商用電源復電時あるいは非常用発電機起動時には、変圧器を順次投入するのではなく、全変圧器を一斉に投入する方がより早く電力供給を再開できる。一方で、一度に投入する変圧器容量が大きいと、過大な励磁突入電流の発生や、それに伴う瞬時電圧低下の影響が懸念される。そこで、復電時の変圧器一斉投入の可否を判断することを目的に、特別高圧 (77kV) 受電の病院施設において、新病棟竣工に合わせ、高低圧変圧器の励磁突入電流の実測を行った。本報告では、実測方法、励磁突入電流の大きさ、メーカー提示値との違い、瞬時電圧低下の影響等を分析した結果を紹介する。

2. 実測方法

2. 1. 概要

図1に実測を行った新病棟の単線結線図の概要を示す。高圧系統から既設病棟等への電力供給も行っており、今回の実測は、既設病棟等を通常通り運用している状態で実施した。実測のパターンは、投入手順として、サブ変電所毎に変圧器を順次投入する場合と、すべてのサブ変電所の変圧器を一括投入する場合、及び電源種類として、商用電源から投入する場合、非常用発電機から投入する場合とした。表1に各サブ変電所の変圧器容量の一覧を示す。

2. 2. 変圧器の投入手順

具体的な変圧器の投入手順は以下のとおりである。各サブ変電所の変圧器一次側にある遮断器をすべて投入状態にしておく。そして図1において、例えば一般系統を商用電源から投入する実測では、①に波形記録計を設置し、R1を投入した状態で、1F1、1F2、1F3を約1秒毎に

投入するのを順次投入、1F1、1F2、1F3を投入した状態でR1を投入するのを一斉投入としている。これらの順次投入と一斉投入を各3回ずつ実施した。これと同様な方法で、最重要系統、重要系統の実測も行った。また、最重要系統を発電機電源から投入する実測では、④に測定器を設置し、G1を投入した状態で、2F1、2F2、2F3を約1秒毎に投入するのを順次投入、2F1、2F2、2F3を投入した状態でG1を投入するのを一斉投入としている。これと同様な方法で、重要系統の実測も行った。

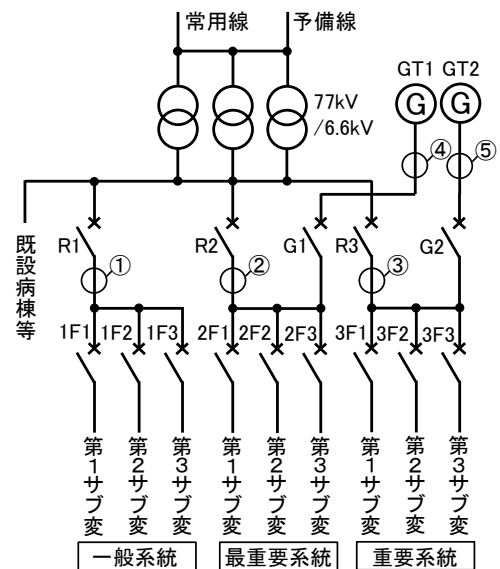


図1 単線結線図の概要

表1 各サブ変の変圧器合計容量[単位:kVA]

系統名称	第1サブ変	第2サブ変	第3サブ変	合計
一般系統	4,950	1,600	2,450	9,000
最重要系統	2,850	1,800	1,150	5,800
重要系統	3,150	1,800	1,150	6,100

3. 励磁突入電流の実測結果

3. 1. 励磁突入電流波形の解説

実測結果の一例として、投入後 0.1 秒までの励磁突入電流波形を図 2 に示す。励磁突入電流は、変圧器への電圧印加時に鉄心が飽和することで一時的に流れる過渡的な電流である。図 2 では電圧印加後の 1 周期目に V 相に最も大きい 5,000A (波高値) 程度の電流が流れ徐々に減少している。励磁突入電流の発生相や大きさは、電圧印加時の残留磁束の大きさや電圧印加位相 (遮断器投入タイミング) により大きく変化することが知られている。

図中の「メーカー提示値」とは、あらかじめメーカーにより提示された、投入から 0.01 秒後、0.1 秒後の励磁突入電流の想定値である。実測値はメーカー提示値より十分小さい値であることが確認できる。

3. 2. 順次投入時の励磁突入電流例

図 3 に、順次投入時における遮断器投入後 3 秒間の励磁突入電流波形の一例を示す。順次投入では約 1 秒間隔で下位の各遮断器が投入されるため、励磁突入電流が 3 回繰り返して発生する。実測値はメーカー提示値より十分小さい値であることが確認できる。

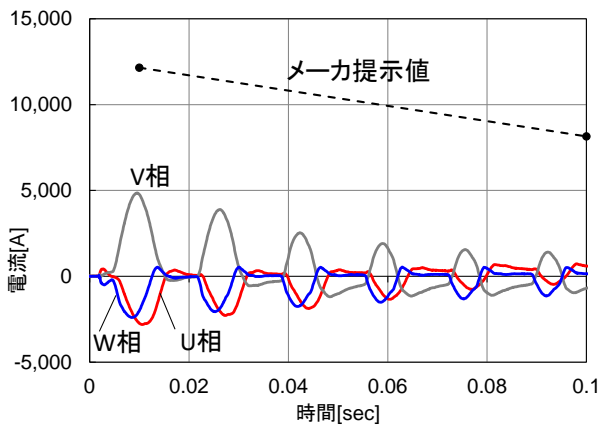


図 2 一斉投入時の励磁突入電流波形例 (0.1 秒間分)
(一般系統・一斉投入・2 回目)

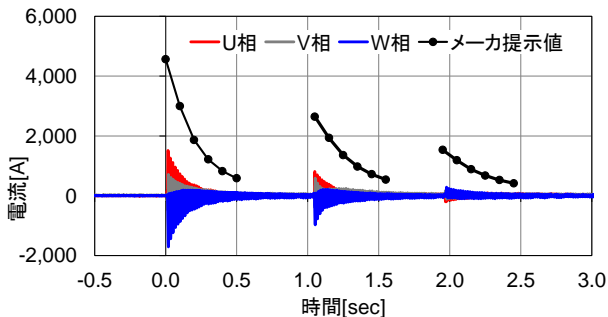


図 3 順次投入時の励磁突入電流波形例 (3 秒間分)
(重要系統・順次投入・2 回目)

3. 3. 一斉投入時の励磁突入電流例

図 4 に、一斉投入時における遮断器投入後 1 秒間の励磁突入電流波形の一例を示す。一斉投入では下位の各遮断器をすべて投入状態とした上で上位の遮断器を投入するため、励磁突入電流の発生は 1 回のみである。図より、実測値はメーカー提示値より十分小さい値であることが確認できる。

4. 励磁突入電流実測結果のまとめ

4. 1. 商用電源からの励磁突入電流

図 5 に、励磁突入電流波高値とメーカー提示値との比較を示す。結果を要約すると次のとおりである。

- ① 同一箇所、同一条件の実測であっても、3 回の実測値は大きくばらつく。
- ② 順次投入では、大部分の実測値はメーカー提示値の 50% 未満である。
- ③ 一斉投入での実測値は、同一箇所の順次投入よりも大きい傾向がある。
- ④ 一斉投入では、すべての実測値がメーカー提示値の 50% 未満である。

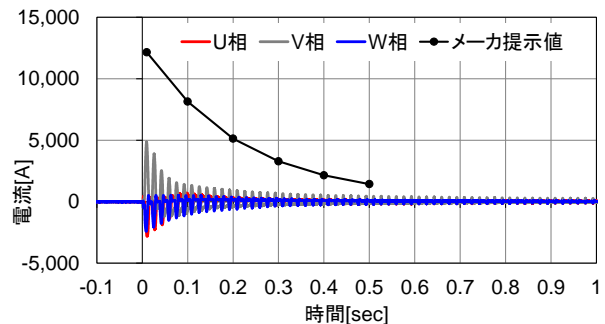


図 4 一斉投入時の励磁突入電流波形例 (1 秒間分)
(一般系統・一斉投入・2 回目)

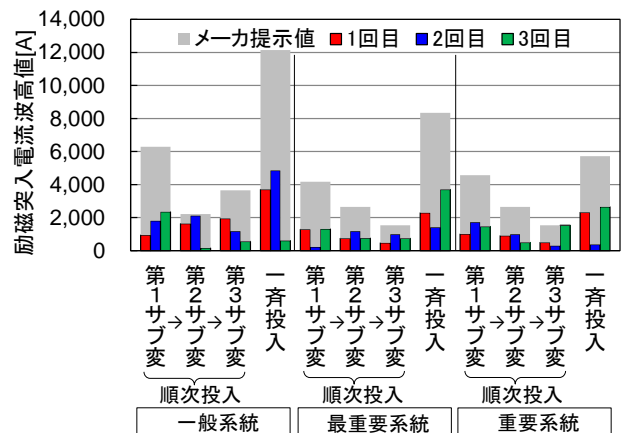


図 5 励磁突入電流波高値とメーカー提示値の比較
(商用電源)

⑤ 今回の実測における励磁突入電流波高値の最大値は、一般系統・一斉投入・2回目の4,850Aであった。これはメーカー提示値の40%である。

4. 2. 発電機電源からの励磁突入電流

図6に、励磁突入電流波高値とメーカー提示値との比較を示す。結果を要約すると次のとおりである。

- ① すべての実測値が800A未満であり、同一条件での商用電源での実測値と比較すると大幅に小さい。
- ② 順次投入と一斉投入の実測値は概ね同程度である。
- ③ すべての実測値はメーカー提示値の30%未満であり、一斉投入時に限定すればすべて10%未満である。
- ④ 今回の測定における励磁突入電流の波高値の最大値は、最重要系統・一斉投入・1回目の763Aであった。これはメーカー提示値の9%である。

発電機電源からの励磁突入電流が、商用電源からの励磁突入電流と比較して大幅に小さい理由は、商用電源よりも発電機電源の方が、電源インピーダンスが大きいためである。今回の実測の条件に合わせ、特高変圧器容量4.5MVA×2台並列、%インピーダンス10%、発電機容量2.5MVA、内部インピーダンス20%（初期過渡リアクタンスの平均的な値）、投入変圧器容量500kVA×10台並列、漏れリアクタンス4%（平均的な値）、空心インダクタンス10mHとして、簡易的に励磁突入電流波高値を試算すると、発電機電源の場合の励磁突入電流は、商用電源の約30%となった。

なお、発電機の短絡電流は729A（波高値に換算すると約1,000A）であり、一連の実測の最大値である763A（波高値）は短絡電流よりも小さい値であった。

以上のとおり、今回の実測は同一条件では3回ずつのみであったが、一斉投入時の励磁突入電流はメーカー提示値よりも大幅に小さく、一斉投入可能であると判断した。

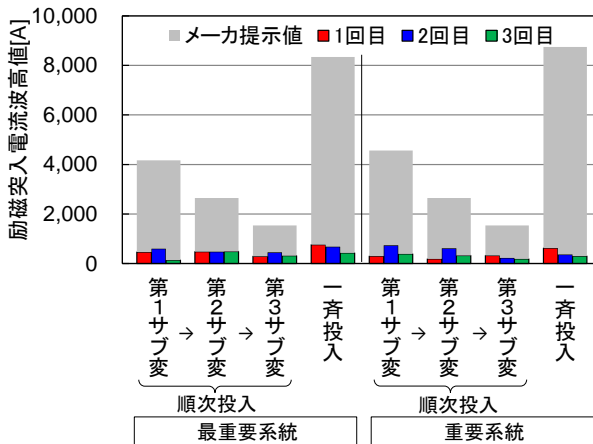


図6 励磁突入電流波高値とメーカー提示値の比較 (発電機電源)

5. 瞬時電圧低下の実測結果

5. 1. 励磁突入電流発生時の電圧波形例

今回の実測では、励磁突入電流波形と同時に高圧系統の電圧も実測し、瞬時電圧低下も評価した。図7に励磁突入電流発生時の電圧波形の一例を示す。この図は、今回の一連の実測において最も大きい励磁突入電流が発生した、一般系・一斉投入・2回目（電流波形は図2）の波形である。なお、図において遮断器投入時（0sec）から電圧が発生しているが、これは遮断器の二次側で電圧波形を測定したためである。

5. 2. 瞬時電圧低下の定量化方法

ここでは、順次投入時、及び一斉投入時の電圧波形を対象に、次の手順で瞬時電圧低下を定量評価した。

① 投入後1周期毎の電圧実効値（ $V(n)$ ： n 周期目の電圧実効値）を算出する。（図8参照）

② 次式により、各種指標を算出する。

・第1波（1周期目）電圧低下： $V_1 = V - V(1)$ [V]

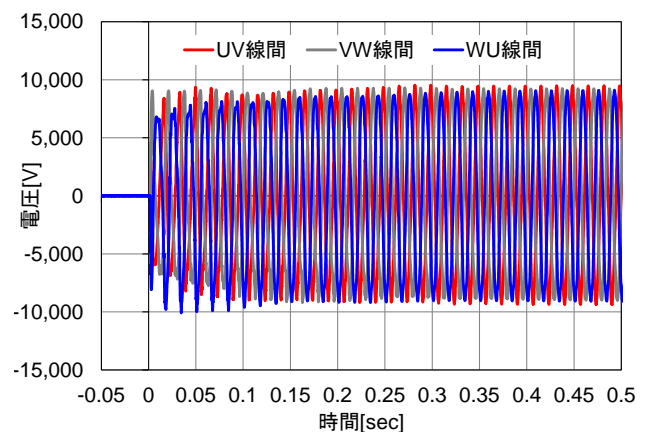


図7 励磁突入電流発生時の電圧波形例 (一般系・一斉投入・2回目)

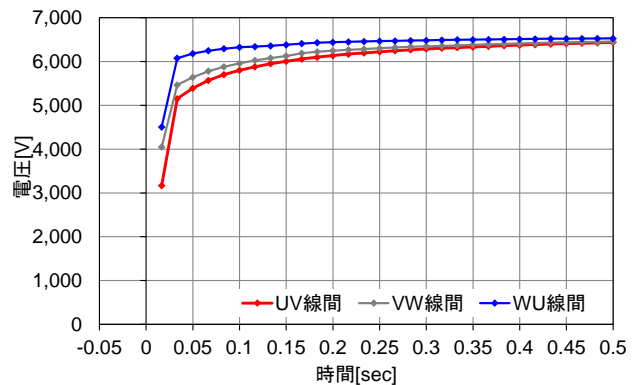


図8 励磁突入電流発生時の電圧実効値の変化例 (一般系・一斉投入・2回目)

・第1波電圧低下率： $\Delta V(1) = \frac{V - V(1)}{V} \times 100[\%]$

・投入後 s 周期目電圧低下率： $\Delta V(s) = \frac{V - V(s)}{V} \times 100[\%]$

ここで V は、瞬時電圧低下前の電圧実効値である。ただし、遮断器二次側で実測している都合上、V の値として、一斉投入時には投入後 50～60 周期の間の電圧実効値の平均値、順次投入の場合には次の投入時の直前 10 周期の間の電圧実効値の平均値を用いた。

5. 3. 瞬時電圧低下の分析結果

商用電源、発電機電源に関係なく、順次投入での第1波電圧低下率はおおむね 10%以下であった。また、一斉投入時では 30%以下の範囲であった。

図9に、励磁突入電流波高値を横軸、第1波電圧低下を縦軸に取った散布図を示す。実測の条件が同じであれば、励磁突入電流波高値と第1波電圧低下はおおむね比例していることが分かる。また、発電機電源では励磁突入電流が商用電源よりも小さいにもかかわらず、第1波電圧低下が大きいことが分かる。この理由は、商用電源よりも発電機電源の方が、電源インピーダンスが大きいためである。

5. 4. 負荷機器への影響の評価

瞬時電圧低下による負荷機器への影響を、文献1に示された負荷機器毎の影響範囲の図と、今回の実測結果を重ねて示すことで評価した。図10にその結果を示す。

図中の電圧低下率は、図8のとおり求めた1周期毎の電圧実効値から1周期毎の電圧低下度を算出し、1周期目の電圧低下度を1/60秒(0.0166秒)の位置に、2周期目を2/60秒(0.0333秒)の位置にプロットしたものである。また、プロットした値は一連の実測結果の最低値(最も電圧が低下した状態)であり、商用電源と発電機電源、及び順次投入と一斉投入を分けてプロットした。例えば、

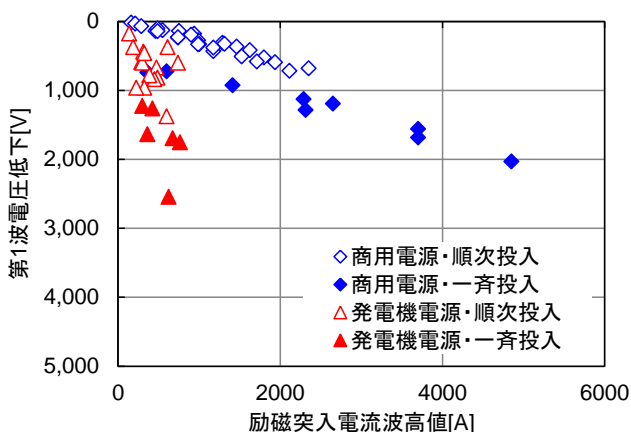


図9 励磁突入電流波高値と第1波電圧低下の関係

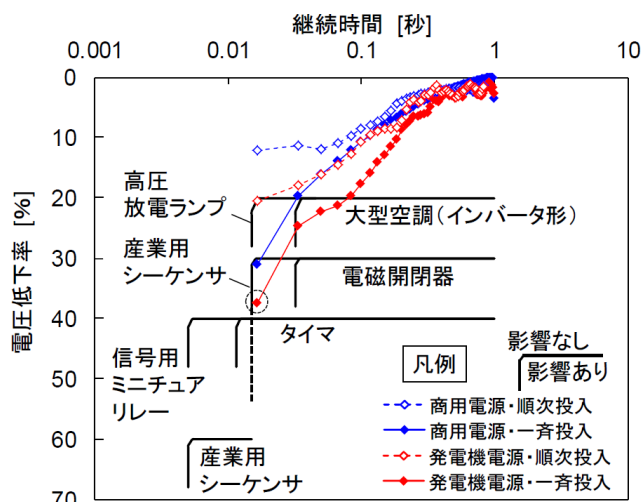


図10 電圧低下度の実測値と負荷機器への影響 (文献1との比較)

「発電機電源・一斉投入」の折れ線の最も左側の点(点線の○で囲った点)は、「発電機電源・一斉投入」の条件の実測では、投入後1周期目の電圧が最大40%まで低下したことを示している。図より、商用電源からの順次投入時には、すべての機器に対して影響はないこと、及び、一斉投入時には高圧放電ランプ、大型空調、産業用シーケンサに影響があることが分かる。

実際に、今回の一連の実測の実施中に、通常稼働していた既存病棟等の施設のうち体育館に設置されている水銀灯が消灯する事例が発生しており、図10の分析結果と一致していることも確認している。一方で、既存病棟内の医療機器を含め他の機器には影響はなかった。

6. あとがき

本報告では、特別高圧受電の病院施設において、高低圧変圧器の一斉投入の可否を判断するため、励磁突入電流とそれに伴い発生する瞬時電圧低下を実測し分析した結果を紹介した。励磁突入電流は盤用のメータで確認しても正確な値を把握することはできず、波形記録計を使用して実測する必要がある、これまでには実測例もあまり見られなかった。今回の実測で得られた貴重なデータと知見を、今後の設備設計へのフィードバックにする等、貴重な実測データを有効活用していきたい。

今回の実測を実施するに当たり、多大なご協力をいただいた関係者の皆様に深謝申し上げます。

参考文献

[1] 電気協同研究：「瞬時電圧低下対策技術」，第67巻第2号(2012)