

雷防護素子の TOV に関する検討

木島 均* 服部 知彦* 金子 芳一* 西澤 滋**

* 東海学院大学 ** 白山製作所

要 約

IEC 規格の JIS 化によって SPD (Serge Protect Device : 雷防護素子) に関する国際規格が適用されることになった。しかし、IEC 規格では三相のみが考慮されており、国内のような単相と三相が混在した場合の適用については検討されていない。また、電気設備技術基準では、これまで交流 600V までの低圧配電路については SPD を使用しなくてよいことになっており、国際規格に準拠した JIS だけでは予期せぬ問題が発生する恐れがある。

本研究ではこのような問題をふまえた上で、単相と三相が同時に引き込まれ、どちらかの一線が地絡した場合に発生する 50/60Hz の TOV (Temporary Over Voltage : 一時的過電圧) に関する検討と、それに基づく SPD の耐量の検討を行った。

1. はじめに

IEC 規格の JIS 化 (JIS C 5381-1 等, 2004 年) によって SPD (Serge Protect Device : 雷防護素子) に関する国際規格が適用されることになった^[1]。しかし、IEC 規格と日本の配電方式は整合していない。新しく制定された JIS では IEC 規格をそのまま用いており、TOV 試験は SPD に 1200V を印加し、200msec の間耐えればよいとなっている。

一方、日本においては、電気設備の技術基準で高低圧混触時に B 種接地が 600V (1 秒間) 及び 300V (2 秒間) となっている。この電気設備技術基準に基づき、内線規程では SPD の TOV は、700V (1 秒間)、400V (2 秒間) と規定されている。この TOV の値以外に、内線規程では SPD の不動作電圧として対地間 AC300V を規程している。この違いは、日本の電力線の配電方式は、一点直接接地し、設備の露出導電性部分を系統接地の接地極と電氣的に独立した接地極へ接続する、TT 方式であることに起因している。以下にこの問題点を詳細に解析する。

2. 日本の配電方式と TOV についての問題点

JIS C 5381-1 では、附属書 B (規定) の表 B.1 において TOV 値を規定しているが、「中性点接地の単相 3 線系統、及び三相 4 線系統 (北アメリカ等の設備系統) での SPD の TOV 値は除く」としており、日本の TT 方式に関する規定はしていない。

また、この JIS C 5381-1 では、3.18 に「TOV 特性の定義」、7.7.4 に「TOV 故障試験」、7.7.6 に「TOV 特性試験」を規定しているが、日本の国内システムに即

した規定はしていない。これらの事項に関しては、JIS C 5381-1 の解説の懸案事項 6.3 にも記述している。

従って、当面は以下に述べるように、日本の国内システムに即した TOV 値を設計に使用する。JIS C 60364-5-534 の 534.2.3.3 では、「SPD は一時的過電圧 (JIS C 60364-4-442 を参照のこと) に安全に耐えることが期待されている」となっている。

JIS C 60364-4-442 (IEC 60364-4-442) の 442.1.3 にストレス電圧として高圧系統の地絡事故に起因する使用者設備の低圧機器に加わる商用周波ストレス電圧を次のように記している。

- (1) $U_0 + 250V$: 消弧リアクトル接地のように長い遮断時間を持つ系統
- (2) $U_0 + 1200V$: 直接接地のように短い遮断時間を持つ系統

なお、日本の電気設備基準では、B 種接地の接地抵抗は「高圧電路が 1 秒以内で遮断できる場合は、高圧電路の一線地絡電流で 600V を割った値」としている。B 種接地の電位上昇限度を 600V としている。そのため、一時的過電圧 (TOV) は、600V に充電相の対地電圧 100V をプラスした 700V となる。この値は、実効値なので、波高値では、約 1000V となる。

3. 新たに検討が必要となった TOV 値の計算

上記のとおり、電気設備の技術基準で決められている高低圧混触時に B 種接地が 600V (1 秒間) 及び 300V (2 秒間) に基づき、内線規程では SPD の TOV は、700V (1 秒間)、400V (2 秒間) と規定されている。この TOV

の値以外に、内線規程ではSPDの不動作電圧として対地間AC300Vを規程している。

しかしこの電圧以外にも、単相100V、200V、三相200/400V回路の混在から、この中の系統の一線地絡事故によって、他の系統の対地間電圧を上昇させ、内線規定に規定されている300V以上のTOVが長時間発生する可能性が筆者らにより明らかになった。このTOVはIEC規格や、これをJIS化したものには記述されていないため、新たにこのTOVについての検討が必要となった。

単相100V、200V及び三相200/400Vが混在した場合に発生するTOVの検討を行った。この検討結果を表1に示す。

表1 新たに明らかになったTOVの計算結果

ケース	系統1	系統2	発生するTOV(V)
1	Δ - Δ 210	Δ -Y415/240	450
2	Δ - Δ 210	Y- Δ 210	280
3	Δ - Δ 210	210/105	315
4	Δ -Y415-240	Y- Δ 210	435
5	Δ -Y415-240	210/105	345
6	Y- Δ 210	210/105	315

表1に示すように系統1と系統2の組み合わせにおいて、地絡事故発生回路に漏電遮断器がない場合、地絡の影響を受ける回路に280Vから450VのTOVが長時間継続的に発生することが明らかになった。地絡した相と影響を受ける相との関係で異なるが、表1のケース1について、計算の一例を以下に述べる。図1に示すように、 Δ - Δ 210Vと Δ -Y415/240V回路が混在し、一線が地絡した場合にP-Q2間に210Vと240Vのベクトル合成で450Vが発生する。ただし、この計算例は異なる三相回路2系統を同時に引き込む場合の稀なケースである。

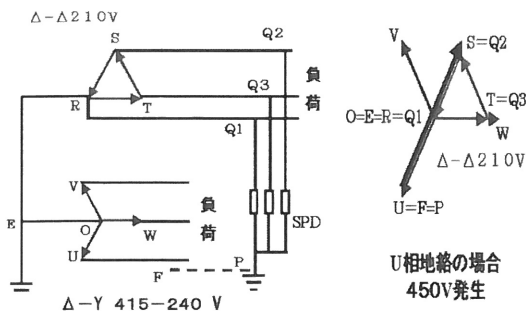


図1 最悪条件でのTOV計算例

4. SPDの取り付け位置について

JIS規格では、SPDを漏電遮断器の前段か後段に取り付けることになっている(JIS C 5381-12)。

図2に示すように、SPDを漏電遮断器の後段に取り付けた場合には、SPDが雷サージによって短絡故障となっても、漏電遮断器が動作するので地絡事故は継続しない。しかし、この場合は漏電遮断器が雷サージによって不要動作し、停電になる問題がある。

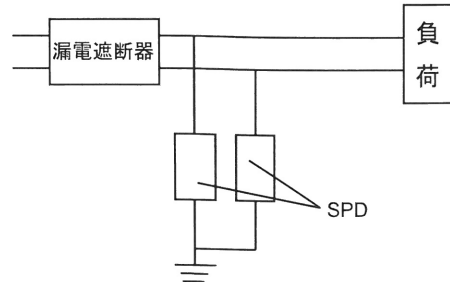


図2 漏電遮断器の後段に取り付けた場合

一方、図3に示すように、SPDを漏電遮断器の前段に設置した場合、雷サージによる漏電遮断器の不要動作はない。しかし、SPDが雷サージによって短絡故障となった場合には、短絡事故か地絡事故が継続しないようにSPD内部に温度ヒューズなどの分離器を取り付けるか、外部に保護ヒューズやNFB(ノーヒューズブレイカ)などを取り付け、地絡が継続しないようにする必要がある。このためSPDが取り付けられている系統とは異なる系統の一線地絡事故によって、このSPDに280Vから450VのTOVが長時間発生することが明らかになったので、このTOVによってSPD内部の分離器が安全に動作するかどうかの検討が必要となった。

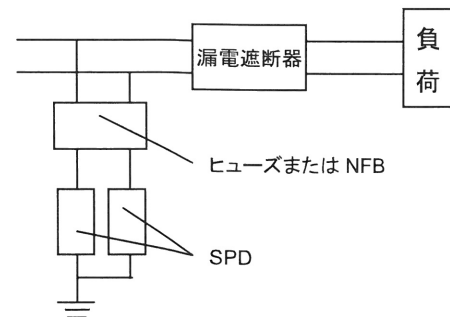


図3 漏電遮断器の前段に取り付けた場合

5. 実験方法

5.1 実験で用いるSPDについて

表2に示す7種類(A~G)のSPDを実験に用いた。JIS C 5381-1には、SPDの内部分離器は、温度が最大120°Cを超えない範囲で動作し、動作後は300sec以内に80°C未満にならなければいけないとなっている。市販のSPDをそのまま国内で使用できるかどうか判定す

るため、検討で得られた 280V から 450V の TOV を印加して規格を満たしているか実験を行った。

表 2 実験に用いた SPD の最大使用電圧

SPD	最大使用電圧 (V)
A	275
B	320
C	275
D	275
E	280
F	255
G	220

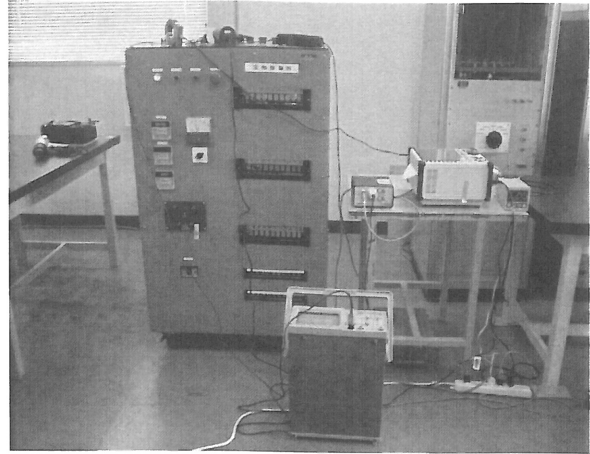


図 5 実験全体構成状況

5.2 実験回路

この実験に使用した測定器を表 3 に、実験回路を図 4 に示す。交流電源を用いて SPD に継続的な商用周波数の一定電圧を印加する。電圧の範囲は AC300V から 10V ステップで上昇させる。このとき電圧プローブを用いて SPD に印加される電圧をモニタし、SPD に流れる電流を CT で検出する。SPD 内に温度ヒューズとして内蔵されている分離器の動作時間と動作に至るまでの SPD の温度変化を測定する。図 5 に実験全体構成状況を、図 6 に SPD の温度測定位置を示す。また、図 7 にカレントトランスによる電流値測定状況を示す。

表 3 使用測定器

機器名	型式	メーカー
メモリハイコーダ	8841	HIOKI
INFRARED THERMOMETER	本体 IT2-50	KEYENCE
	計測部 IT2-02	
高耐圧プローブ	P6015A	TEKTRONIX
CURRENT TRANSFORMER	Model 110	PEARSON
交流電源	混触試験器	白山製作所

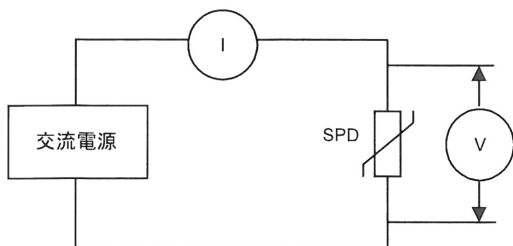


図 4 実験回路

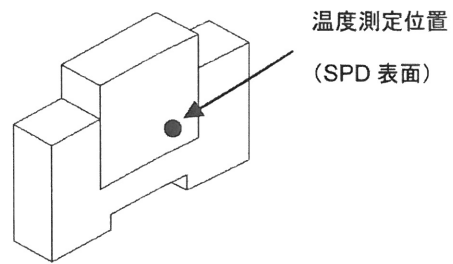


図 6 温度測定位置

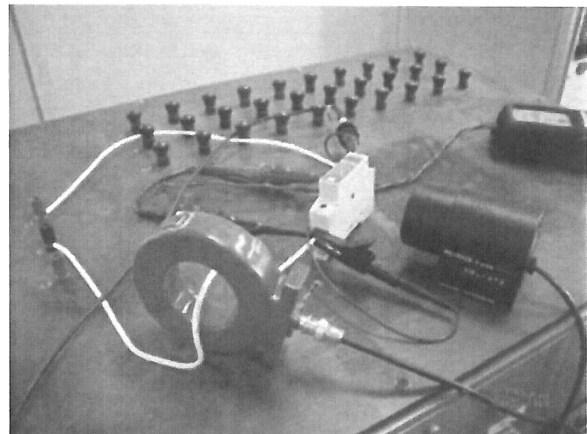


図 7 カレントトランスによる電流測定状況

6. 実験結果

6.1 分離器動作電圧について

各 SPD に 300V から 10V ステップで電圧を上昇させ、SPD 内部の分離器が動作に至るまでの電圧を測定した。実験結果を表 4 に示す。

表4 分離器が動作したときの電圧測定結果

SPD	最大 使用 電圧 (V)	分離器 動作 電圧 (V)	分離器 動作 時間 (sec)	TOVを考慮した 最大使用 可能電圧 (V)
A	275	340	175	330
B	320	380	300	370
C	275	360	430	350
D	275	370	124	360
E	280	360	445	350
F	255	370	190	360
G	220	350	224	340

表4から判断できるように、分離器の動作電圧は340Vから380Vである。従って、400V以上のTOVが長時間継続した場合、SPD単体では、その電圧に対して耐量がないために故障する可能性がある。

6.2 温度規格について

SPDは、最大120°Cを超えない範囲で動作し、動作後は300sec以内に80°C未満にならなければいけない、という規格を満たしているかどうかの測定を行った。表5に結果を示す。

表5 規格判定結果

SPD	最大温度 (°C)	分離器動作後 80°Cになる時間 (sec)	規格適合
A	110	310	×
B	129	300以上	×
C	110	294	○
D	90	200	○
E	123	430	×
F	203	試験中断	×
G	78	—	○

表5から、JISに適合するSPDは3種類のみであった。

ここで、試料A-Gの電流及び温度変化を図8-14に示す。

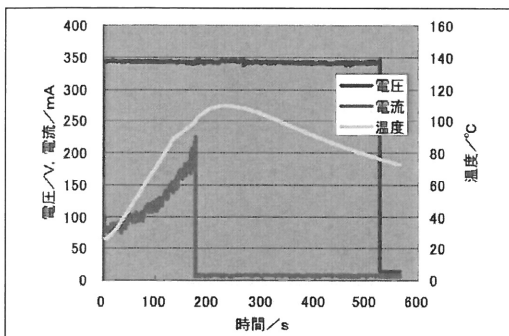


図8 試料Aの電流及び温度変化

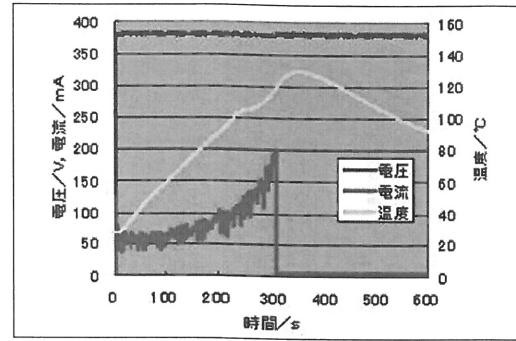


図9 試料Bの電流及び温度変化

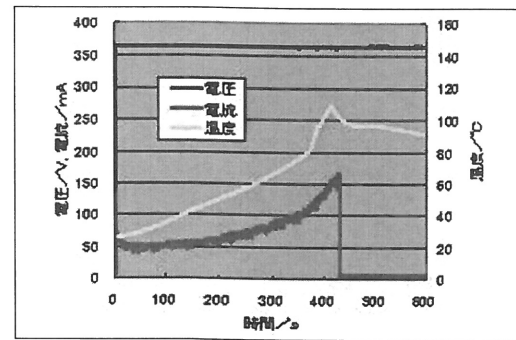


図10 試料Cの電流及び温度変化

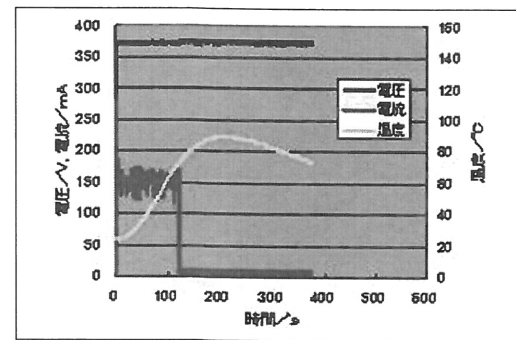


図11 試料Dの電流及び温度変化

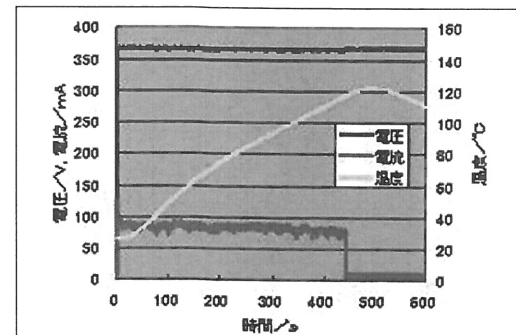


図12 試料Eの電流及び温度変化

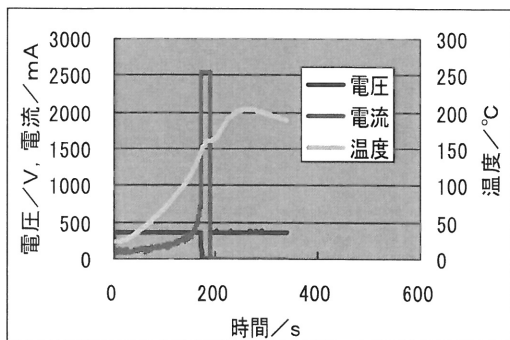


図 13 試料 F の電流及び温度変化

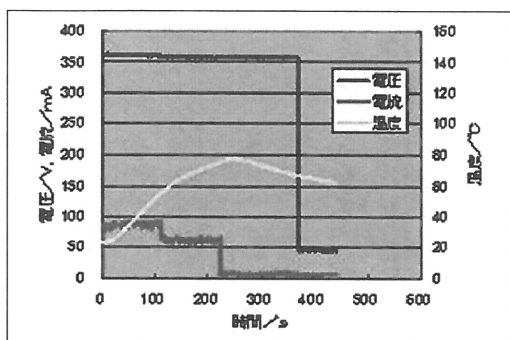


図 14 試料 G の電流及び温度変化

試料 F に 370V 印加時の、電流及び温度変化を図 13 に示す。電流が 2560mA のときに分離器が動作した。このときの表面温度は 150°C であったが、分離器動作後も温度は上昇し、電圧印加開始から 273sec 後に 203°C となった。SPD は熱で変形し、外周器が溶融した。これ以上の高い電圧が TOV として長時間継続した場合、SPD が故障するだけでなく、SPD が焼損し、火災に至る可能性があることが判明した。

7. TOV 対策に関する検討

TOV による SPD の短絡故障によって、電力線の事故を発生しない対策方法について検討を行った。

7.1 外部分離器を用いた TOV 対策

内部ヒューズが故障した場合のフェールセーフとして、外部分離器を SPD に直列に接続する。

外部分離器とは、SPD が短絡モードで故障した場合に、漏電による建物火災や感電事故を防止するために、電源系統から故障した避雷器を引き離す遮断器である。電氣的に最も安全なサーキットブレーカ方式の分離器が筆者等により開発されている [2]-[7]。

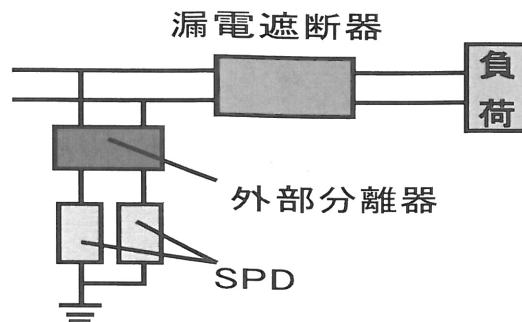


図 15 外部分離器を用いた TOV 対策

7.2 GDT を用いた TOV 対策

SPD としては、通常放電管 (GDT) と半導体素子であるバリスタを、直列または並列に組み合わせて使用されている。筆者等によって、3 個以上の放電管を奇数個直列に接続させ、2 個以上のバリスタを編み込状に偶数個並列に接続させる方式が開発されており、この方式により TOV 値を上げることが可能である [8]-[18]。

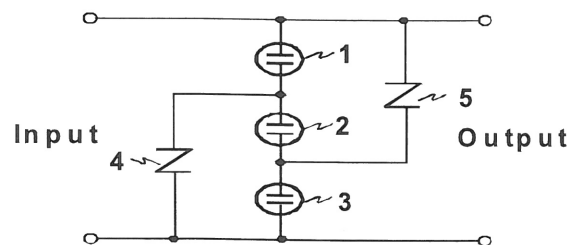


図 16 放電管 (GDT) を用いた TOV 対策

8. まとめ

IEC 規格の JIS 化により SPD に国際規格が適用されることになった。単相、三相回路が混在し、一線地絡事故によって発生する TOV について検討した。またこの TOV 値に基づいて 7 種の SPD について実験を行った。また TOV の対策について検討を行った。

- (1) 配電方式の混在から、280V から 450V の TOV が新たに発生することが明らかになった。
- (2) 新たに明らかになった TOV 値について、7 種の SPD の実験を行い、これらの SPD は、330V ~ 370V の耐量があることが明らかになった。
- (3) JIS で規定された温度範囲を満たしていたものは 3 種類のみであることが明らかになった。
- (4) TOV 対策には内部分離器のフェールセーフとして外部分離器を SPD に直列に接続する。
- (5) SPD に直列に放電管 (GDT) を付加し、SPD の動作電圧の合計値を TOV の値以上に設定する。

参考文献

- [1] JIS C 5381-1, JIS C 5381-12, 2004
- [2] Disconnecter for SPDs, H. Kijima, M. Shibayama, 2nd conference on intelligent control, pp.181-186, 2014
- [3] 分離器及び過電圧防護器, 柴山正雄, 木島均, 特許第 5172675 号, 2013
- [4] 雷保護機能付分電盤, 木島均, 八代健司, 特許第 5215702 号, 2013
- [5] Electromagnetic force analyzed results on disconnecter, H. Kijima, T. Hasegawa, WSEAS Transactions on power systems, Issue 1, Vol.5, pp.32-41, 2011
- [6] Disconnecter, 木島均, アメリカ特許 第 7983014 号, 2011
- [7] Circuit breaker type disconnecter for SPD, H. Kijima, M. Shibayama, WSEAS Transactions on power systems, Issue 5, Vol.4, pp.167-176, 2009
- [8] Überspannung schuntz vorrichtung, 木島均, ドイツ特許 第 6020060403968 号, 2014
- [9] Dispositie de protection contre les surtensions, 木島均, フランス特許第 1959533 号(EP), 2014
- [10] Overvoltage protective device, 木島均, イギリス特許 第 1959533 号(EP), 2014
- [11] Naprava za prenapetostno zascito, 木島均, スロベニア特許 第 1959533 号(EP), 2014
- [12] Dispositivo di protezione da sovratensione, 木島均, イタリア特許 第 1959533 号(EP), 2014
- [13] Lighting surge response improvement by combinations of varistor and GDT, H. Kijima, K. Murakawa, WSEAS Transactions on power systems, Issue 2, Vol.7, pp.60-69, 2012
- [14] 過電圧防護方法, 木島均, 中国特許 第 200680000361 号, 2010
- [15] Overvoltage protection method, 木島均, アメリカ特許 第 7764481 号, 2010
- [16] 受電装置, 木島均, 角谷博昭, 特許 3141491 号, 2009
- [17] Overvoltage protection method, 木島均, 韓国特許 第 10-0845224 号, 2009
- [18] Overvoltage protection method, 木島均, オーストラリア特許 第 20062464681 号, 2009