

Lebensdauer von Blitzstrom-Ableitern

Ralph Brocke · Peter Hasse · Peter Zahlmann 竹谷 訳

雷電流アレスタの寿命

過電圧を制限し雷電流を放流する期間中に、サージ防護デバイス SPD は、過電圧に敏感な電子機器を保護するために、電気設備の過電圧耐量以下でかつ十分に低い規定の制限電圧に過電圧を低減することを保証しなければならない。制限電圧は電気設備に、又は保護対象端末機器の入力に直接に取り付けられているもう一つの SPD との協調のための重要なパラメータの一つである。

従来、低い制限電圧 U_p を得るために電気設備において用いられてきた方法は、大きなインパルス放電容量を持つタイプ I の SPD (IEC 規格による試験波形 10/350 μs)、デカップリング・リアクトル、及び低い制限電圧を持つタイプ II 及びタイプ III の SPD (試験電流波形 8/20 μs) の組み合わせであった。

しかしこの方法の問題点は大きな取り付けスペースを必要とすることと、デカップリング・リアクトルの負荷電流通電性能に限度があることである。したがって、デカップリング・リアクトルを用いずに、かつタイプ I の SPD のみで、即ち後段にタイプ II の SPD を接続する必要無しに、雷過電圧を端末機器の過電圧耐量に適合する制限電圧に低減できる SPD の開発が必要であった。このようなタイプ I (10/350 μs) とタイプ II (8/20 μs) の SPD の性能を組み合わせた特別な SPD があれば、電気設備においてコンパクトなスペースで理想的な雷過電圧保護を行うことができる。

大きな放電容量を持つ (波形 10/350 μs 対応) SPD の性能と低い制限電圧を持つ (波形 8/20 μs 対応) SPD の性能を組み合わせた、この種の最新技術による SPD については既に紹介済みである。

低い制限電圧 U_p は、低圧のシステムにおいて頻繁に発生する比較的エネルギーの小さい過電圧によって SPD が頻繁に動作することを意味する。その場合、ギャップ・ベースの SPD において、場合により続流が発生し、その続流アークにより電極が消耗し、これが SPD の寿命に影響を与えることになる。この寿命の問題を解明するために、SPD の寿命に影響を与える因子を研究調査した。そのためには設備において発生する過電圧の回数と、SPD が対応処理出来る回数及び過電圧波高値を比較検討した。

低圧回路網における過電圧の解析

過電圧の通常の発生頻度では、低い制限電圧を持つ SPD は頻繁に動作することが知られている。そのために続流発生の頻度も高く、SPD の消耗も激しくなる。しかしながら SPD の動作に際して必ず続流が発生するとは限らないことも知られている。ギャップ・ベースの SPD において大きな続流発生の可能性は、本質的に以下の要因により決定される。

- ギャップの技術
- 発生する過電圧の波高値
- 過電圧の発生時点とそのエネルギーの大きさ
- SPD 設置点の推定短絡電流

過電圧の発生頻度とその波高値

この検討に際しては、例えば雷電流が流れる際又は開閉現象の際に発生する過渡過電圧のみが考慮される。

しかし SPD (IEC 61643-1:2001-01) は低圧回路網又は高圧回路網における故障のために発生する商用周波数の過電圧に対して十分な耐量を持っていなければならない。更なる検討に際してはこの現象は考慮されていない。

測定された過電圧の継続時間とエネルギー量

過電圧の継続時間は、そのエネルギー量を決める重要な要素である。種々の測定器により、また種々の時間帯で実施された測定は、数 ns から 100 μ s までの種々の作用時間における現象を確認している。調査研究の結果、500 V までの過電圧のエネルギー量は一定であり、500 V 超過の過電圧のエネルギー量は過電圧波高値の 2 乗に比例して増加することが明らかとなっている。(Meissen, W. : Ueberspannungen in Niederspannungsnetzen. etz 104 (1983) H.7-8, S.343-345) 過電圧の波形や波高値は種々あるので、過電圧源の典型的なインピーダンスを決めることは困難である。過電圧によって流れるサージ電流を決めるためにもこのインピーダンス値は必要である。通常、数 μ s の長い時間の現象の場合は、急速で極めて短いインパルスに比較して、小さな電源インピーダンスを想定している。

機械式スイッチによる小さなインダクタンス回路の遮断時に発生するような短い急速な現象はバースト・インパルス群と名付けられている。

このようなバースト・インパルスの個別波形は 5/50 ns であり、その極めて短い現象であるために、低圧設備に拡散して行く電磁波とみなすことができる。このようなバースト・インパルスに対して動作する SPD の挙動を調査するために、種々の SPD にこのようなインパルスが加えられた。別の文献にて紹介されたギャップ・ベースの複合アレスタ (DEHNventil) は特別にエネルギーに依存するトリガーを装備している。 図 1 参照。

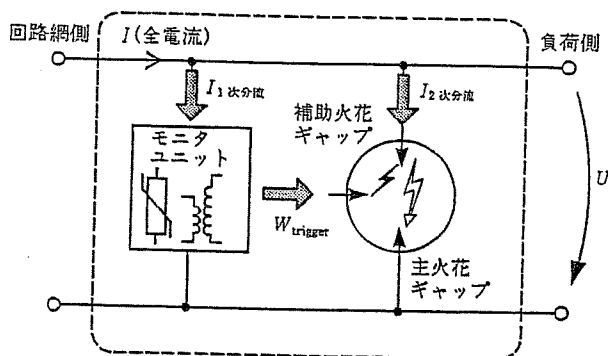


図-1. モニタ・ユニットを持つバリスタ～火花ギャップ方式複合形過電圧保護器の原理図

この SPD は続流発生の可能性を調査するために最大許容連続電圧 U_c に接続され、 $U_{oc}=4$ kV のバースト・インパルスが加えられた。この試験中には、バースト・インパルスの時間が短く又エネルギーも小さすぎるために続流は発生しなかった。従ってバースト・インパルスはこの種の SPD の消耗の原因にはなり得ない。供試 SPD に続流を発生させるために、次に 1 μ s を超える作用時間の過電圧が加えられた。

低い制限電圧を持つ SPD に加わるストレス

市販の低い制限電圧を持つギャップ・ベース又は複合 SPD は通常、能動的なトリガーを備えている。これらの活性化には種々の条件が満足されねばならない。活性化の条件は

トリガー回路の種類と寸法のみならずギャップの特性にも依存する。活性化の限界は過電圧の継続時間によって決められる。もしその作用時間が一定の限度値以下ならばギャップのトリガーは発生せず続流の発生もない。また過電圧の継続時間とは無関係に、もしも過電圧により流れるサージ電流が特定の値より小さければ SPD のギャップの活性化は起こらない。図 2 において異なったトリガー・コンセプトを持つ二つ SPD の活性化限界を比較している。

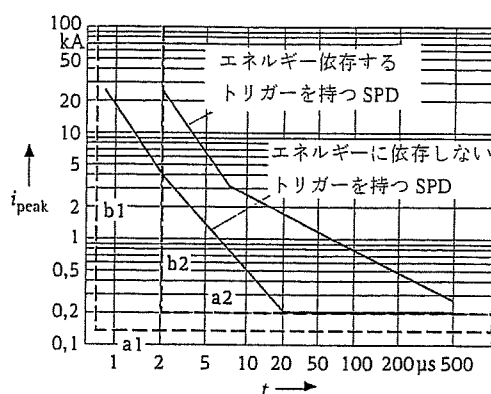


図 2 トリガーを持つ SPD の活性化限界

非常に安全度をみて考えて図 2 は以下の前提に基づいている。

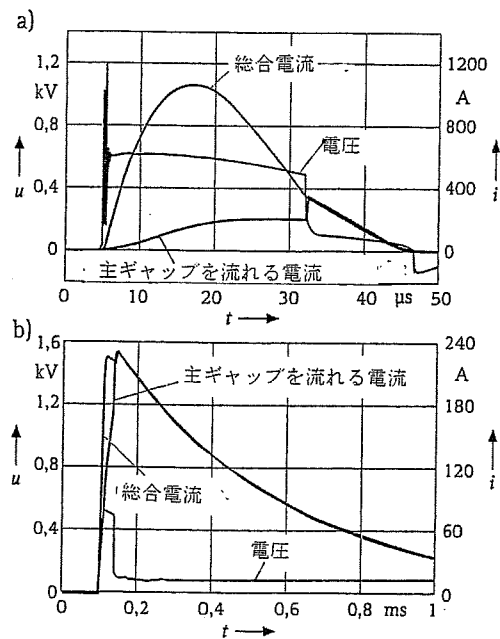
- 測定された過電圧が特定の波高値 a_1 よりも大きく又特定の作用時間 b_1 よりも長ければ、すべて続流を発生する。
- この検討には、繰り返して加わるバースト・インパルスにより引き起こされる集積効果も含まれている。
- 特定の値を持ち又特定の作用時間を持つ全ての過電圧は、電源インピーダンス $Z_1=2 \Omega$ を持つハイブリッド発電機により加えられ、測定された過電圧とそれにより発生したサージ電流を流す結果となっている。

エネルギーに依存するトリガーを装備した SPD のデータの活用

続流を流す過電圧の数を決めるためには、活性化限界に従った最小動作インパルスが決められなければならない。エネルギーに依存するトリガーを持つ SPD を活性化するために、必要な最小固有エネルギー W/R 前述のばあいには、 $W/R=16 \text{ A}^2\text{s}$ であることが確認された。この値は $8/20 \mu\text{s}$ 波形では $i_{s20}=1 \text{ kA}$ に相当し、 $10/350 \mu\text{s}$ 波形では $I_p=240 \text{ A}$ に相当する。観察された種々の波高値のインパルスで直撃雷対応の SPD のギャップが活性化される場合の最低限界は、図 3 に示されている。SPD を動作させるために加えられる最小エネルギーと $Z_f=2 \Omega$ の電源インピーダンスの条件では、発生する過電圧の値が $U=2 \text{ kV}$ の値を超過して初めて、当該 SPD に続流が発生する。このような過電圧の発生は、年間に $p = 1 \dots 3$ 回である。(Ackermann, G. Ueberspannung in Niederspannungsanlagen. etz11481993) H.3, S.218-223)

算定された頻度は、続流発生の可能性のある過電圧の数であって、年間の過電圧の総数ではない。年間総数に対応する過電圧は複合アレスター DEHNventil を活性化する事はできるが、過電圧のエネルギー量からして、その一部のみが続流を発生する事が出来る。続

流を発生する過電圧の数は最小波高値の限界（図2の限界曲線 a1）と最小作用時間の限界（図2の限界曲線 b1）が低下するにつれて急激に上昇する。



a) $i_{max} = 1 \text{ kA} (8/20 \mu s)$ のサージの波尾で SPD が点弧

b) $i_{max} = 240 \text{ A} (10/350 \mu s)$ のサージの波頭で SPD が点弧

図3 エネルギーに依存するトリガーを持つ DEHNventil の挙動

寿命試験

低圧システムに設置された SPD の寿命は、大きなエネルギーを持った低減されなければならない過電圧の数、続流の数及びその波高値に依存する。低圧設備の種々の場所における推定短絡電流の値は既に調査されている。(Noack, F.: Kurzschluss-Kenngrößen von Niederspannungsnetzen, etz 116 (1995) H.5, S.218-223)

その際に短絡電流の全ての測定値の約 95 %が $i_{peff} \leq 5 \text{ kA}$ であった。大きな遮断容量を持つ最新の直撃雷電流対応 SPD は発生する続流を、設置点の推定短絡電流の大きさに無関係に、小さな値に限流して遮断する能力を持っている。さらにまた過電圧の発生は特定の位相のみで起こるのではなくて、商用周波の周期内のすべての位相に均等に分布している。

このような前提条件の下で、SPD の寿命を証明するための手段が決められなければならない。そのために電圧 U_c の商用周波数の電源と推定短絡電流 $i_p = 5 \text{ kA}$ が設定された。SPD の挙動は $8/20 \mu s$ の波形で適切な波高値を持つサージ電流で試験される。サージは商用周波電圧に同期され 0° から 30° のステップで制御される。個別の負荷間の時間間隔は動作試験 (IEC 61643-1:2002-01) に従う。試験に際しての破壊限界として a_h 、試験回路に接続されている 35 A の NH ヒューズの動作を取り上げた。この判断基準は SPD の一般的な寿命ではなくて、選定されたヒューズが接続状態をこれ以上保持できないという動作協調上の限界を示すものである。試験は DEHNventil 保護器シリーズの各種型式により実施され、それぞれの通過エネルギーが記録された。結果は図4に纏めてある。

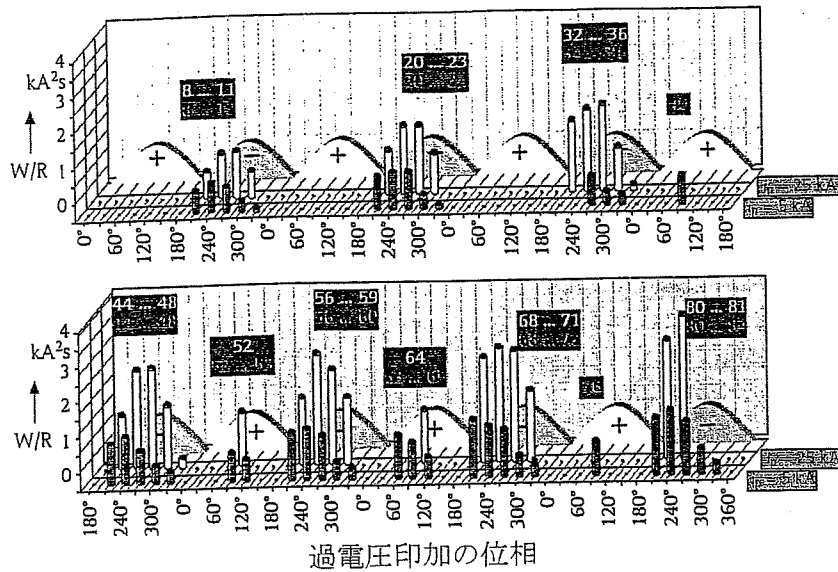


Bild 4 図4 $i_p = 5 \text{ kA}$ 及び $i_p = 25 \text{ kA}$ の場合、続流発生回数の増加につれて DEHNventil の $i^2 \times t$ は増加する。

図4から分かるように供試器の実際の適用条件において、僅かの幾つかの位相のみで続流が発生している。(図中に記入された数値は、回路電圧の正半波又は負半波における続流発生回数を示している。) 続流発生回数が増加するにつれて、それぞれの同一位相角における続流通電積算値も増加し、推定短絡電流 $i_p = 25 \text{ kA}$ で約 85 回、 $i_p = 5 \text{ kA}$ で約 115 回が寿命限度である。1.5 kV の制限電圧は全試験において維持されている。従ってこの試験において、SPD にその機能と選択性 (上位の過電流遮断器との動作協調) の障害が発生することはなかった。

続流を発生させるような過電圧を受ける回数は、年間 $p = 1 \dots 3$ 回なので、DEHNventil 型の SPD の期待寿命 t_{BSA} は約 33 年以上となる。

DEHNventil シリーズの SPD は、推定短絡電流 $i_p = 5 \text{ kA}$ 並びに $i_p = 25 \text{ kA}$ における算定された期待寿命に至るまで試験され、上位 (電源側) に接続された 35 A 定格のヒューズとの選択動作協調が保持されていること、即ちこれらの SPD の $\{(通過電流)^2 \times 時間\}$ の積分値は 35 A 定格ヒューズ最小溶断エネルギー $\{(通過電流)^2 \times 時間\}$ 小さいことが実証された。なお DEHNventil 型 SPD シリーズは閉鎖されたケースに収納されていて、放電中に外部への高温ガスや粒子の放出がないという特長をもっている。

まとめ

大きな放電容量と低い制限電圧を持った最新のギャップ・ベースの雷電流アレスタ (10/350 μs 波形対応) 又は複合アレスタの設計に際しては、SPD が頻繁に動作することを考慮しなければならない。頻繁に動作する事は、頻繁に続流が発生することに結び付く。従って SPD は顕著な続流限流機能を備えてなければならない。

例えば発生する過電圧の回数、そのエネルギー保有量並びに商用周波数の続流の発生回数と波高値などの要素は雷電流アレスタの寿命に影響を及ぼす。サージ電流の数と続流の数はアレスタの機能に障害を発生することのない、可能な動作の回数を決めることになる。雷電流アレスタの寿命を決めるためには、まずは危険パラメータとその作用を分析しなければならない。その場合、十分なエネルギー保有量を持つ過電圧のみが続流を発生す

ることが認識されねばならない。雷電流アレスタ DEHNventil の試験結果は、小さなエネルギー保有量を持つ過電圧では続流の発生はないことを示している。

特定の値と特定の継続時間を超える過電圧のみが対象となる。試験では $1 \mu s$ を超える作用時間の過電圧のみが考慮された。この測定は寿命調査のための基礎となるものである。

この調査研究は大きな遮断容量を持つ雷電流アレスタ DEHNventil によって実施され、IEC 61643-1 : 2002-01 による動作試験により補遺された。測定により十分なエネルギーを持つインパルスのみが続流発生を可能にすることが実証された。この状態は電源インピーダンス 2Ω を持つハイブリッド発電機による 2 kV を超える全ての過電圧によりシミュレートでき、対象とする低圧システムで年間 1...3 回の発生頻度となる。

密閉型アレスタ ($n \geq 80$) における続流発生は大きな推定短絡電流 (その機能に障害を及ぼさない範囲で) の場合に起こり、DEHNventil の寿命は約 33 年と算定された。それに比較し限流効果の少ない従来のギャップ・ベースの雷電流アレスタの期待寿命は、続流遮断に際して大きな消耗を発生するので、はるかに短い。