

報告番号

※甲第1389号

主論文の要旨

題名 アーク時定数からみた
過渡空気アークの研究

氏名 松村年郎

主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号 氏名

松村年郎

電力供給の信頼性を向上させるという点から、事故時の故障電流を迅速かつ確実にしゃ断するために、しゃ断器等の責務が大きくなっている。電力系統において、しゃ断器をはじめとする電力用機器に発生するアークは、周波数50ないし60Hzを主体とする交流で点弧している。このようなアークは好ましい存在ではなく、直ちに消弧させる必要がある。アークの消弧は電流零点で起こるのが普通である。その点から交流電流零点近傍のアーク陽光柱の諸特性を調べることは重要である。

このような交流アークに関して、アーク時定数という概念が導入され、しゃ断アーク現象の理論的解析が試みられている。アーク時定数は、電流変化に対するアークコンダクタンスの応答の遅れを表す一つの指標であると言える。このアーク時定数について、多くの研究者が各種の方面から検討を加えているが、その物理的意味は十分解明されているとは言えない。

電力用しゃ断器に発生するアークには、気体の吹き付け、磁界の作用、陽光柱の移動、電極現象など各種の要因が複雑に影響し合っている。最初からこのような複雑な相互作用を有するしゃ断アーク現象を直接論ずるよりは、まず、一つ一つの作用を基礎的に解明し、アークへの個々の影響が判明した後に、総合的な考察を進めていくのが合理的である。

主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号氏名 松村年郎

本研究では、このような立場に立ち、陽光柱からのエネルギー損失が主として径方向への熱伝導から成っていると考えられる器壁安定化アークを対象とし、その過渡応答の理論的ならびに実験的解析を行っている。また、空気しゃ断器中のアークや故障点アークの消弧という観点から、アーク陽光柱の周囲気体として1気圧の空気を選び、空気中アークの時定数について定量的な検討を加え、その物理的な側面を明らかにすることを目的としている。そして、ここで求めたアーク時定数を用いて交流アークに適用できる新しいアークモデルを提案する。

本研究の内容を示す各章の概要は次の通りである。

第1章では、まず電力輸送の将来動向を示し、電気エネルギー輸送の高密度化に伴う短絡電流の増大に対処するために、交流しゃ断器のしゃ断容量を高める必要があることを述べている。

交流および直流電流のしゃ断の原理を示し、しゃ断アーク現象の解析においては、局所熱平衡の成立を前提としたエネルギー平衡式の熱力学的考察が主流を占めていることを述べている。さらに、これまでに公表されている過渡アークの数学的モデルを紹介し、しゃ断現象に対するアーク時定数の意味を述べている。

第2章では、器壁安定化アーク陽光柱において成立するエネルギー平衡式および質量保存式を示し、その数値解析

主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号

氏名

松村年郎

を行う。アークの動特性を調べる手法として、ステップ状の電流じょう乱を与える方法をとった。この手法は制御工学では古くから採用されているが、アークにおいては非線形な高温空気物性が介在するところが特異である。本研究では、空気の輸送特性および熱力学的諸特性の温度依存性を厳密に考慮している。

器壁の直径を5mmに選び、ステップ状電流変化に対して、アーク陽光柱内温度分布、単位長さ当たりのコンダクタンスおよび電界の強さの過渡応答を計算で求めている。その結果として、ステップ状電流変化に対してアークコンダクタンスはMayr理論で言われているように単純に指数関数的応答とはならないことが明確となった。その応答の速さを陽光柱の温度分布形状という観点から整理すれば、中心部が隆起した温度分布を呈しているときの方が平坦な温度分布を呈しているときよりコンダクタンスの時定数は小さい。器壁安定化空気アークの場合には、中心温度が9,000Kを越えると中心付近の温度のみが高まるという独特の性質を持っており、これが過渡応答にも反映している。このような結果は、アークを両電極から二端子素子とみなした電気特性という面からも、また分光学的な計測によって求めた温度分布という面からも実験的に確かめられている。

第3章では、第2章の結果に基づき、空気アークコンダクタンスに関するアーク時定数を求めている。ここでは、

主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号氏名

松村年郎

アーク時定数を定数とみる立場から離れて、各種ステップ状電流変化に対するコンダクタンスの過渡応答から、時々刻々のアーク時定数を求めている。その意味で本論文では過渡時定数と呼んでいる。

空気アークの場合、時定数は陽光柱内温度分布と密接に関係していることが判明した。そこで陽光柱中心温度を陽光柱の熱的状态を代表するパラメータに取り上げて、過渡時定数を中心温度の瞬時値と関連づけた。さらに、安定化器壁の直径の影響を調べ、過渡時定数が器壁直径の2乗に比例して大きくなることを見い出している。この器壁直径はアークの外部条件として明確に定まる。これはFrind氏らが陽光柱の導電領域の実効半径という不明確な量と時定数を対応づけているのとは対照的である。

その結果、陽光柱中心温度 T_0 [K] と過渡時定数 θ [μ s] との関連を、安定化器壁円筒の直径 D [mm] を境界条件として

$$\theta = \begin{cases} (0.6 \times 10^{-3} T_0 + 6.2) D^2 & (T_0 \leq 9,000 \text{ K}) \\ 0.8 D^2 & (T_0 > 9,000 \text{ K}) \end{cases}$$

という簡単な形にまとめあげることができた。この関係式は、技術的な応用を図るために、特徴を強調して抽出されたものである。実際にはこの特性のまわりにある程度のはらつきもあるし、また、9,000 K においても時定数の大きさは滑らかに変化する。しかし、後述のようにそのような要因は実際のアークの過渡応答にはあまり大きな影響を与

主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号 氏名

松村年郎

えず、この関係式は十分実用に耐え得るものである。

器壁直径5mmの場合について具体的に示せば、陽光柱が平坦な温度分布を保持している間、時定数は大きく、約40~60 μ sである。陽光柱が隆起した温度分布を呈している間、その時の時定数は小さく約20 μ sである。このような傾向は、隆起した温度分布を呈する期間には陽光柱の加熱が極めて効果的になされ、じょう乱に対する追随性が良くなるためにもたらされるものと考えられる。

第4章では、非定常なアークの諸特性を求めするため、Mayrモデルに替る新しい数値解析アークモデルを提案している。これには、アークコンダクタンスの過渡時定数と中心温度および器壁直径との関係を用いている。

その応用例として、60Hzの交流電流に対するアークコンダクタンスの変化を求め、電流零点近傍のアークの諸特性まで理論的に導いている。その結果は実験結果とよい一致をみている。もちろん、このようなアークの特性は、第2章で示した解析方法によっても求めることができるが、簡単に外部回路の方程式と連立させて、しゃ断アーク現象を解析できるようにするという立場から、このようなアークモデルは重要な意味を持っている。

このアークモデルは、電流波高値におけるアークコンダクタンスおよび陽光柱中心温度を初期値として、そこから零点通過を含む交流1サイクル全般にわたって一貫して適

主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号 氏名

松村年郎

用できる。電流波高値においては、アークは直流で点弧されたときと同じ状態にあるとみなせる。直流で点弧するアーク陽光柱のコンダクタンスや中心温度の大きさはすでに明らかにされており、その値を計算の初期値とすることができる。したがって、計算の初期値設定の困難はなくなり、ここで提案するアークモデルはしゃ断アークへのMayrモデル適用の欠点を克服したものと言える。

第5章では、本論文を総括し、本研究で得られた主な知見をまとめ、しゃ断現象解明への寄与を明確にしている。