31. 電子回路シミュレータを用いた 放電ランプ点灯回路の解析

逸見 正
(御影工高)

尾崎 進
(神戸高専)

榊見 和孝
(神戸大学)

1. はじめに

放電ランプの点灯回路の解析は、放電ランプの電流・電圧特性が非線形かつヒステリシス特性を有するために複雑であるが、筆者らは等価コンダクタンスモデルを提案して放電ランプ点灯回路の解析を行ってきた[1]。しかし、等価コンダクタンスモデルは微分方程式で表現されており、点灯回路の回路方程式と併せると連立の微分方程式となるために、放電ランプの点灯回路の解析には、この連立の微分方程式の解を得る必要がある。これまで筆者らは、Runge-Kutta法等の算法を用いたり、数式処理システムMathematicaを用いてきたが、今回、等価コンダクタンスモデルを用いた数式モデルによって電子回路シミュレータ上で放電ランプの等価回路を実現する手法を提案する。この等価回路は光出力特性も考慮しており光束の相対値も得られる。電子回路シミュレータ上で放電ランプを一つの部品として扱うことが出来るため、点灯回路の解析を視覚的に確認しながら容易に行うことが出来る。

2. 放電ランプの等価回路

＜2-1＞電気的特性 放電ランプを等価コンダクタンスモデルを用いた数式モデルで記述すると次のようになる。

$$\frac{d}{dt}g(t) = \frac{1}{a}Ai^2(t) - aBg^2(t) \cdots \cdots (1)$$

ここで $i(t)$ はランプ電流、 $g(t)$ は放電ランプの等価コンダクタンスである。A,Bはランプによって決定される定数、 a はランプの封入ガス圧・プラズマ温度等のランプの内部状態を表し、定格点灯においては $a=1$ となる[2]。(1)式の数式モデルの両辺を時間領域で不定積分すると

$$g(t) = \int \left\{ \frac{1}{a}Ai^2(t) - aBg^2(t) \right\} dt + C \cdots \cdots (2)$$

となる。これより積分器、乗算器、加減算器及び、CCVS（電流依存型電圧源）、VCR（電圧依存型抵抗器）を用いて等価コンダクタンスモデルによる放電ランプの電気的特性を表現する等価回路を構成することが出来る。

図1 光出力特性も含めた放電ランプの等価回路

図2 放電ランプ マクロのシンボル

＜2-2＞光出力特性 筆者らは高圧放電ランプの光出力特性について検討、報告してきた[3]。まず、等価コンダクタンスモデルから求めたランプの等価コンダクタンスと発光管内の放電プラズマの温度を算出する。次に、この放電プラズマから放射される線スペクトルの強度を求める。そして、光束の相対値を得る。これら一連のメカニズムを1次遅れ系と関数を用いて表現することによって、放電ランプの光出力特性を実現する等価回路を構成することが出来る。

＜2-3＞等価回路 定格点灯状態での放電ランプの電気的特性及び光出力特性を表現する等価回路を図1に示す。この等価回路を電子回路シミュレータ上でマクロとして定義し、図2に示すようなシンボルを割り当てることによって、1つの部品として扱うことが出来る。

3. シミュレーション結果

図3に抵抗点灯回路の構成例を示す。40W高圧水銀ランプの定数A,Bを用いて電子回路シミュレータでトランジェント解析させて得たランプ電圧、ランプ電流波形を図4に示す。

図3 抵抗点灯回路の構成例

図4 電気的特性のシミュレーション結果
(40W高圧水銀ランプ 電源200V50Hz)

4. まとめ

電子回路シミュレータを用いた放電ランプ点灯回路の電気的特性及び光出力特性の解析手法を報告し、40W高圧水銀ランプの抵抗点灯回路でのシミュレーション結果を示した。今回は定格点灯状態の場合を報告したが、ランプの発光管内の水銀が完全に蒸発していない飽和状態については、筆者らが既に報告しているランプ電力 P と内部状態定数 a の関係[4]を用いることにより解析可能である。電子回路シミュレータを用いることにより視覚的に確認しながら特性を評価することが可能となった。また電子安定器を用いた点灯回路の設計や解析に対して有用であると考えられる。

参考文献

- [1] 尾崎 進、榎見 和孝：「等価コンダクタンスモデル式による高圧水銀ランプ点灯システムのシミュレーション」, 照明学誌, 73, No. 9, 561~565 (平成元)
- [2] 逸見 正、尾崎 進、榎見 和孝：「飽和状態における放電ランプの数式モデル」, 電学論A, 118, (平10-1)
- [3] 尾崎 進、井上 剛、坊 博：「等価コンダクタンスモデルによる放電ランプの光束計算」, 電学論A, 61, (昭61-1)
- [4] 逸見 正、尾崎 進、榎見 和孝：「発光管内の状態を考慮した放電ランプの特性解析」, 平6電気学会関西連大, G397

Analysis of operating circuits for discharge lamp using electric circuits simulator
Itsumi Tadashi, Ozaki Susumu, and Masumi Kazuyoshi