

電力系統瞬時値解析プログラムの開発(その3)

- 非線形回路に対する収束性の向上 -

背景

電力系統の瞬時値解析プログラムは、従来からの異常電圧・異常電流現象の解析に加えて、近年では電力品質やパワーエレクトロニクス回路(以降、「PE回路」)の解析に用いられるようになった。このようなニーズに応えるため、当所では電力系統瞬時値解析プログラム XTAP^{*1}の開発を進めてきた。特に PE 回路の解析では、半導体スイッチング素子の特性により解くべき回路方程式が非線形性の強いものとなるため、従来の Newton-Raphson 法では解に収束しない場合があった。

目的

PE 回路のように強い非線形性を示す回路の解析に対しても、高速かつ確実に解に収束する反復計算アルゴリズムを開発し、XTAP に実装する。

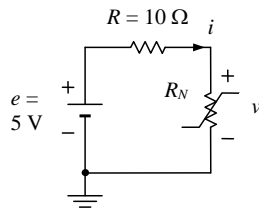
主な成果

1. 両軸 Newton-Raphson 法の考案： 従来の Newton-Raphson 法は非線形特性(非線形抵抗であれば電圧 - 電流曲線)の片方の座標軸のみを参照して反復計算途中の動作点を更新する。これに対して、両方の座標軸の情報を用いて動作点を更新する反復計算手法(以降、「両軸 Newton-Raphson 法」)を考案し、従来の Newton-Raphson 法では収束不能となるケースに対しても収束することを示した(図1)。
2. 開発アルゴリズム： 両軸 Newton-Raphson 法を活用し、従来の Newton-Raphson 法および Katzenelson 法^{*2}と組み合わせることにより高速かつ確実に収束する^{*3}アルゴリズムを開発した。本アルゴリズムは、先ず従来の Newton-Raphson 法を適用し、収束しなければ両軸 Newton-Raphson 法、さらに収束しなければ Katzenelson 法に切替えるというものである。収束する確率は低いが計算量の少ない手法から、より収束する確率は高いが計算量が多くなる手法に順次切替えることにより、計算速度と確実な収束を両立した。
3. 適用例： 開発アルゴリズムを XTAP に実装し、半導体スイッチング素子の非線形特性を詳細に考慮したインバータ回路の瞬時値解析に適用した(図2)。従来の Newton-Raphson 法を用いた場合には、解に収束しない時刻が存在し解析続行不能となったが、開発アルゴリズムでは解析可能となった。

*1 eXpandable Transient Analysis Program の略。XTAP の開発については、電力中央研究所 研究報告 H06002, H07004, H07005, R06017, R07016 を参照。

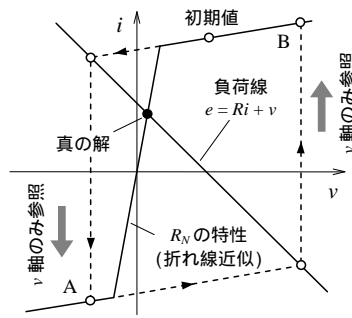
*2 非線形特性が単調増加で区分折れ線近似されている場合には数学的に収束が保証されている反復計算手法。ただし、反復回数が多く、単独で用いると実用的ではない。

*3 開発アルゴリズムでは、Katzenelson 法と同じ条件で収束が保証される。

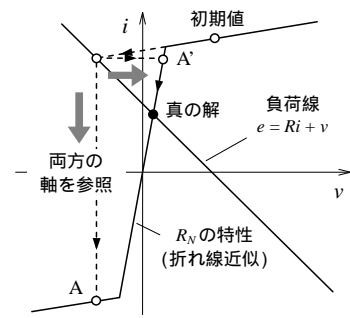


単純な回路例で
収束の軌跡を図解

(NR: Newton-Raphson)



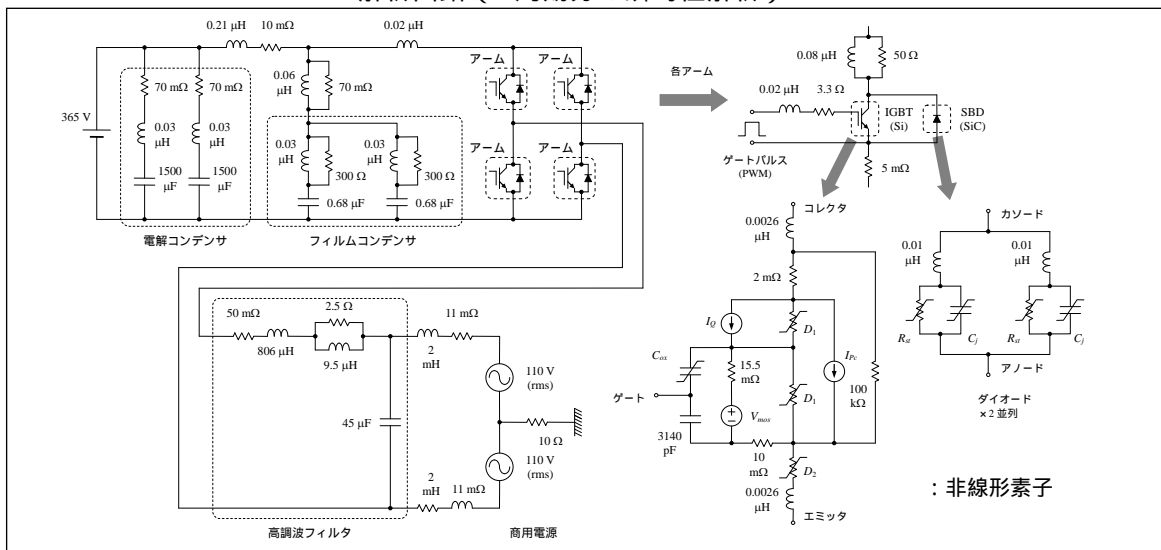
従来のNR法では、解 から v 軸のみを参照し、次ステップの動作点として A を採用。... の無限ループに陥り、真の解に到達不可。



両軸 NR 法では、解 から v と i の両方の軸を参照して A と A' を動作点の候補とし、前動作点に近い A' を採用。これにより、真の解に収束する。

図 1 新しく考案した両軸 Newton-Raphson 法の収束特性

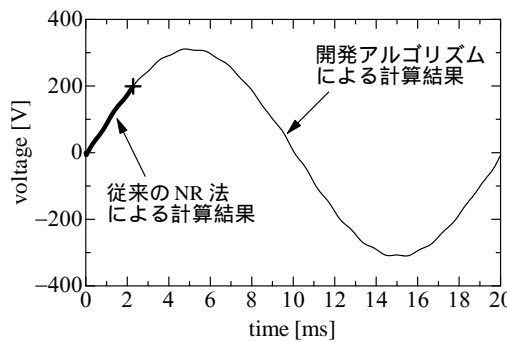
解析回路 (1 周期分の瞬時値解析)



従来の NR 法を適用

2.3 ms 付近の時刻で
反復計算が収束せず、
解析続行不能。
右図中の + 印が収束
しなかった時刻。

インバータ出力電圧計算結果



開発アルゴリズムを適用

全ての時刻において
反復計算が収束し、
最後まで計算可能。

図 2 半導体スイッチング素子の非線形特性を詳細に考慮したインバータ回路の解析

研究報告 H08002	キーワード：電力系統、瞬時値解析、非線形回路、ニュートン・ラプソン法、収束性
担当者	野田 琢 (電力技術研究所 高電圧・電磁環境領域)
連絡先	(財)電力中央研究所 電力技術研究所 Tel. 046-856-2121 (代) E-mail : eperl-rr-ml@criepi.denken.or.jp