

# HILS における電力変換部のスケールリダクションに関する基礎検討

三浦 克樹・渡辺 大貴・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

## 1. はじめに

シミュレーションを用いたシステム開発手法のひとつとして Hardware-In-the-Loop-Simulation (HILS) の活用が盛んである<sup>(1)</sup>。HILS ではリアルタイムシミュレータ (RTS) を用いてそれを制御用コントローラ、もしくは試作機と連携させることで実際の挙動に近い条件での開発が可能となる。しかし現行の RTS はアナログ I/O、デジタル I/O のサンプリングレートの制約により、高キャリア周波数のシミュレーションを行う際、外部入力されるゲート信号などを正確にサンプリングできず、波形の再現性が担保できない可能性がある<sup>(2)</sup>。

本論文では HILS を対象とした、時間軸のスケール変換を用いたシミュレーション手法について検討したので報告する。

## 2. 縮退率の決定法

RTS ではステップ時間の上限が制限される。したがって本論文では本来のモデルに対して時間軸を相対的に長くした制御的に等価なシミュレーションモデルを用いることで、ステップ時間に対して十分低いキャリア周波数でのシミュレーションを実現しこれらの影響を回避する。検討手法では対象となるモデル仕様を基に、周波数依存性のあるパラメータのみを全て縮退率  $N$  を用いてパラメータ変換する。縮退率  $N$  は(1)式にて定義する。

$$N = f_{sw}' / f_{sw} \dots \dots \dots (1)$$

ここで  $f_{sw}'$  は縮退後のキャリア周波数である。縮退率  $N$  を用いると、回路モデルのインダクタとキャパシタの値は本来のモデルの値の  $1/N$  倍となる。また、制御のカットオフ周波数は  $N$  倍となる。これにより振幅不変で時間応答のみを冗長にしたモデルを得ることができる。また本来のモデルの応答は RTS 内の時間単位に対して  $N$  で逆算することで得ることができる。本モデルでは各パルス周期が長くなるため、サンプリングや刻み時間の影響を相対的に少なくでき、再現性が改善できる。

図 1 に RTS のサンプリング周期  $T_{samp}$  と、キャリア周波数  $f_{sw}$  の積の逆数  $k$  を変化させた際の、電圧指令値  $V_{cmd}$  に対するサンプリング周期  $T_{samp}$  でサンプリングされた PWM パルスの基本波  $V_{fund}$  の比を示す。ここで「サンプリング周期でサンプリングされた PWM パルス」は RTS に入力されるゲート信号に相当する。電力変換器を線形アンプとしてみなした場合、 $V_{fund}$  は PWM パルスを復調することで  $V_{cmd}$  と同じ電圧が得られるが、サンプリングが粗い場合は  $V_{cmd}$  を復元できない。したがって、 $V_{fund}/V_{cmd}$  が 1 となる場合に変調前と同じ基本波が得られ、サンプリングが十分に行えていることを意味する。図 1 より、パルス幅が短い低変調率時において  $V_{fund}/V_{cmd}$  が 1 となる最低の  $k$  を満たすことでサンプリングの影響を回避できる。 $T_{samp}$  はシミュレーションする回路モデルの規模によって上限が決まるため、 $k$  が決定すると縮退後のキャリア周波数  $f_{sw}'$  が定まる。(1)式より  $k$  を用いて縮退率  $N$  を求めると(2)式となる。

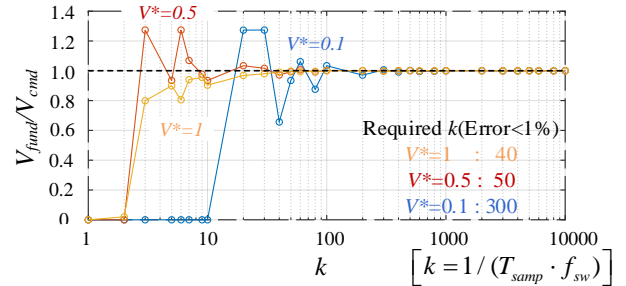
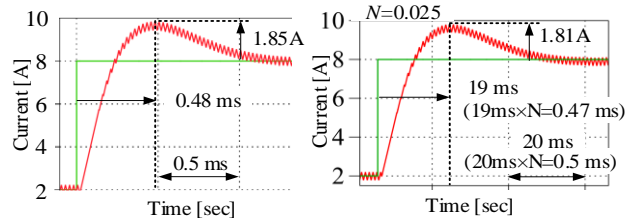


Fig.1 Relationship between sampling frequency ratio and voltage ratio of inverter model.

Table 1 Model specification.

	Full model	Reduction model ( $k=200, N=0.025$ )
Input Voltage	100 V	100 V
Output Voltage	200 V	200 V
Input Inductance	3 mH	120 mH
Carrier frequency $f_{sw}$	40 kHz	1 kHz
ACR cutoff frequency	4000 rad/s	100 rad/s
Deadtime	1 $\mu$ s	40 $\mu$ s



(a)Offline simulation (b)RTS simulation

Fig.2 Simulation result of offline and RTS simulation.

(Current command:2A→8A)

$$N = \frac{1}{k \cdot f_{sw} \cdot T_{samp}} \dots \dots \dots (2)$$

## 3. シミュレーション結果

表 1 にシミュレーション条件、図 2 に昇圧チョップのステップ応答のシミュレーション比較を示す。ここで図 2(a)は本来のシミュレーションモデル(オフライン)を、図 2(b)は RTS でのシミュレーションとなる。結果より、両方で振幅はほぼ一致しており、RTS シミュレーションでは応答時間が約  $1/N$  倍になっている。これを  $N$  倍して換算することで RTS 上においてもオフライン時の応答が得られていることがわかる。

今後の予定として実機波形との比較が挙げられる。

## 文 献

- (1) E. Adzic etc. :IEEE, IECON, pp. 5392-5397 (2013)
- (2) J. Allmeling etc. :IEEE, SPEC(2017)