



Title	Modeling, Stability and Accuracy of Power Hardware-in-the-loop Simulation of Power Electronic Systems
Author(s)	Miao, Hong
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/23479">https://hdl.handle.net/11094/23479</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	苗 茜
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学 位 記 番 号	第 23834 号
学 位 授 与 年 月 日	平成22年3月23日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学 位 論 文 名	Modeling, Stability and Accuracy of Power Hardware-in-the-loop Simulation of Power Electronic Systems (パワーエレクトロニクスシステムのPHILS(Powe Hardware-in-the-loop Simulation)におけるモデリング、安定性および精度に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 伊瀬 敏史 (副査) 教 授 高井 重昌 教 授 舟木 剛 教 授 谷野 哲三 教 授 白神 宏之 准教授 三浦 友史

## 論文内容の要旨

This dissertation focuses on the development of power hardware-in-the-loop (PHIL) simulation of power electronics systems. In comparison to the HIL simulation developed to the design of controller, which is so called controller HIL, there are two issues which severely limit its development: stability problem and acceptable calculation accuracy. It should be noted that even the investigated system is of stable, the PHIL built for it may lose stability. Stability of the PHIL system must be analyzed before it is carried out, otherwise, the HUT may be severely damaged. Moreover, even a PHIL simulation is carried out successfully, it may be a futile effort if the simulation has low accuracy.

This research investigated the modeling, stability and accuracy of PHIL simulation through examples of PHIL which are built for a gas engine cogeneration system (GECS) and a boost chopper circuit. Following achievements were achieved in this research:

1) Numerical models of gas engine (GE) and permanent magnet synchronous generator (PMSG) were built based on MATLAB/Simulink/Simpowersystem and the validity of the models was verified through experiment. Then, the models were modified by a real time solver, ARTEMIS, to achieve "real time" calculation.

2) A PHIL simulation of GECS was built, in which GE and PMSG were replaced by their numerical models and simulated by digital simulator. A real matrix converter (MC), together with its controller, interfaced the numerical models via power amplifier, d/a and a/d converter. The successful implementation of the PHIL was meaningful for the development of the MC for the GECS and the scheme can also be applied for developing power converter systems with a gas turbine or a wind turbine system.

3) The stability problem of the PHIL simulation of inductor coupled system was analyzed. The factors which

affect the stability of PHIL were pointed out. It is found that in a PHIL simulation built for an inductor coupled system, the values of the inductor of the simulated part and the inductor of the real hardware had significant effect on the stability. Moreover, the time delay introduced in the PHIL simulation also affected the stability of the PHIL. In this research, a method to stabilize the PHIL simulation without decreasing its accuracy was also proposed and verified.

4) Through the investigation of a PHIL simulation built for a boost chopper, the accuracy of it was analyzed. The causes of the error of PHIL simulation were given and a method to predict the accuracy was also proposed. The analysis results were verified by the comparison of three results: (1) the experiment of real boost chopper, (2) the PHIL simulation built for the boost chopper and (3) the offline simulation of the PHIL simulation.

### 論文審査の結果の要旨

パワーエレクトロニクスの応用分野の拡大に伴い、その設計において電力変換システムの主回路や制御回路だけでなく周辺システムの挙動をも考慮することが求められるが、種々の応用分野に対してそれに応じた適切な試験環境を用意することは容易ではない。その際に、対象とする電力変換システムの挙動に注目するためにシステムの一部分のみを実際のハードウェアを用い、その周辺部分は高速コンピュータを用いた計算機シミュレーションを行うことが、近年行われている。このような手法は実際のハードウェアとその周辺部分のシステムを記述するモデルを含む計算機シミュレーション部分がお互いに物理量や信号のやり取りを行い、システム的に閉ループシステムとして構成されるため、HILS(Hardware-in-the-loop Simulation)と呼ばれる。これにより、より簡便に種々の状況下でのシステムの動作実験が可能となり、パワーエレクトロニクスシステムの設計に寄与する。本論文では、電力変換を行う主回路部分およびその制御回路を実際のハードウェアとし、その周辺部分は計算機シミュレーションを行い、両者を電力増幅器および信号フィードバック回路で結合した電力回路のハードウェアを含む PHILS(Power Hardware-in-the-loop Simulation)に関して、対象のモデリング、安定性解析および精度について詳細に検討を行ったものである。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 計算機におけるモデルの計算時間やアナログ・デジタルの変換時間のために、対象とするシステムが安定な場合であっても PHILS が不安定となる場合があることを示している。
- 2) 電力システムやモータドライバシステムなどでよく見られるよう、ハードウェア部分とソフトウェア部分とがインダクタで結合されている場合、シミュレーションが不安定となる場合があることを示し、安定となる条件を明らかにしている。
- 3) 上記 2) で不安定となるような場合において、精度の悪化を招かずに安定にシミュレーションを行う方法を示している。
- 4) ガスエンジン発電機とマトリックスコンバータを含むコーチェネレーションシステムのモデリングを行い、そのモデルに基づいた PHILS が安定に行われる事を示し、その結果を別途行ったシミュレーション結果と比較して PHILS の妥当性を確認している。
- 5) シミュレーションの精度を評価するため、簡単な回路構成のチョッパ回路を対象として PHILS を行い、実験結果とも比較して提案手法で精度の悪化を招かないことを示している。

以上のように、本論文はパワーエレクトロニクスシステムの PHILS においてしばしば問題となる不安定性の問題に対してその解決法を与えるものであり、また、具体的なシステムのモデリングおよび精度の検討を行なっており、この分野の技術の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。