

Title	Studies on Enhanced Performance of a Stand-Alone Gas Engine Generator with a Permanent Magnet Synchronous Generator by Applying Active Rectifier and Virtual Synchronous Generator Control
Author(s)	Hlaing, Htar Su
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/76562">https://doi.org/10.18910/76562</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## Abstract of Thesis

Name ( Htar Su Hlaing )	
Title	<p>Studies on Enhanced Performance of a Stand-Alone Gas Engine Generator with a Permanent Magnet Synchronous Generator by Applying Active Rectifier and Virtual Synchronous Generator Control</p> <p>(自励式整流器と仮想同期発電機制御による永久磁石同期発電機を有する自立形ガスエンジン発電機の高性能化に関する研究)</p>
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>Gas engine generators are widely used in the field of emergency power supplies and combined heat and power applications. They can also serve as main power sources in places where utility power is not available. Moreover, compared to diesel engines, gas engines are more environment-friendly as they release low exhaust emissions. A gas engine generator consists of a mechanical part (engine) and an electrical part (generator). Different kinds of generators can be used to convert the engine's mechanical energy to the electrical energy. Among them, the permanent magnet synchronous generator (PMSG) provides the advantages of no excitation current, small size, less weight and high efficiency.</p> <p>Despite the effectiveness of gas engine generators, they cannot fully provide their advantages to the system. The reason is the engine's delayed response to the sudden load changes. The gas engine has a time constant of a few seconds to reach the demanded torque due to the fuel injection function. Consequently, the speed deviation is large during load transitions. If the speed variation is larger than the permitted limits, the operation will be shut down. Therefore, for the current users of gas engines, the load step capability is restricted in order to maintain the engine speed variation within the allowable limits. For this reason, the transient behavior of gas engine becomes a major challenge in using gas engines.</p> <p>To improve the transient performance of gas engine, this dissertation proposes a virtual synchronous generator (VSG) control method to the stand-alone gas engine generator. To reduce the engine speed deviation, an electric double layer capacitor (EDLC) based energy storage system (ESS) is added at the dc-link of the system. A PMSG control approach is developed to control both the dc-link voltage and the stator voltage by applying the insulated gate bipolar transistors (IGBTs)-based active rectifier, instead of a diode rectifier. Furthermore, the control characteristics of different control methods of PMSG are also evaluated.</p> <p>The structure of this dissertation is organized as follows:</p> <p>In chapter 1, the research background, an overview of previous research works, the problem issues of gas engine generator and the objectives of this research are described.</p> <p>In chapter 2, the VSG control method combined with an ESS is proposed for the stand-alone operation of gas engine generator. The benefit of VSG control method for the proposed system is evaluated and the outcomes are compared with the results of the same system using a constant-voltage constant-frequency (CVCF) control method. An energy variables based feedback control is proposed for the control of energy storage system. The required amount of energy storage capacity is calculated based on the demanded load power. A simulation study and an experimental test are carried out to verify the usefulness of the proposed control scheme.</p> <p>In chapter 3, an active rectifier is used for the ac-dc power conversion in order to improve the stator current waveform of the engine generator. This system provides the full controllability and improves the efficiency and reliability of the system. For the control of PMSG side converter, the constant stator voltage (CSV) control is proposed. The VSG control method is used for the control of load side converter. The transient performance of the proposed system is compared with that of the system using a diode rectifier in simulation study.</p> <p>In chapter 4, some different control schemes of PMSG are studied. The two control concepts of zero d-axis current control method and unity power factor control method are explained. The system responses of the mentioned control methods are evaluated by computer simulation.</p> <p>In chapter 5, thesis outcomes are summarized and the conclusion of this dissertation is presented.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( HTAR SU HLAING )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	高井 重昌
	副 査	教授	舟木 剛
	副 査	教授	牛尾 知雄
	副 査	教授	白神 宏之
	副 査	招へい教授	阪部 茂一

## 論文審査の結果の要旨

ガスエンジン発電機は非常用電源や熱電併給発電（コージェネレーション）の用途に広く用いられている。また、電力系統が得られない地域における主電源としても用いられている。天然ガスを燃料とするガスエンジンはディーゼルエンジンと比べて排気ガスに含まれるCO<sub>2</sub>などの環境有害物質の排出量が少なく、環境にやさしい発電方式である。しかしながら、エンジンそのものの機械的な応答速度により急激な負荷変化に対する応答特性は良くないため、負荷の急激な変化時にエンジン停止を起こさないように負荷の変化率を抑制するなど運用に工夫をする必要がある。本研究では、電力系統に接続せずに独立に負荷に電力を供給する自立形のシステムにおいて、ガスエンジンに永久磁石同期発電機を接続し、発電機の交流出力を整流器によって直流に変換し、インバータ（直流/交流電力変換器）を用いて負荷側所望の交流に変換する方式のガスエンジン発電機を対象としている。このような形式のガスエンジン発電機はエンジンの回転速度を負荷に出力する交流の周波数と独立に出来るため、負荷急変に伴う電力の変化がエンジンに与える影響を緩和することが出来る、エンジンの最適な回転速度を負荷の周波数に依らずに自由に設計できるなど実用上有利な点が多い。しかしながら、インバータおよび整流器の制御方式や回路方式によってシステムの特性は大きく変化するため、これらの電気的システムの改良によるシステム全体の特性向上のための技術開発が重要となる。本研究ではインバータの制御手法において、電力系統で一般的な回転機である同期発電機の特性をソフトウェアにより模擬する仮想同期発電機制御（Virtual Synchronous Generator, 以下 VSG 制御）および電気的エネルギー貯蔵装置を適用することによる高性能化について検討している。VSG 制御および電気的エネルギー貯蔵装置の適用により負荷急変時の電力変動がエンジンに与える影響を大きく緩和すると同時に、自立運転と系統連系運転を無瞬断に切り替えることが出来る。次に、発電機の交流出力を直流に変換する際に一般的なダイオード整流器に代えて、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子を用いた自励式整流器による高性能化について検討している。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 自立形のシステムにおいて、従来一般的であった CVCF (Constant Voltage Constant Frequency) 制御ではなく VSG 制御をインバータに適用することの優位性を計算機シミュレーションにより示している。
- 2) VSG 制御に加えて直流側に電気二重層キャパシタを用いたエネルギー貯蔵装置を用いることによる優位性を計算機シミュレーションおよび 10KW の実験装置を用いた実験により示している。すなわち、9kW の負荷印加時にエネルギー貯蔵装置なしで 260min<sup>-1</sup> (定格速度の 15.2%) の速度低下であったものがエネルギー貯蔵装置を加えることにより計算機シミュレーションでは 90min<sup>-1</sup> (定格速度の 5.3%)、実験では 160min<sup>-1</sup> (定格速度の 9.4%) の速

度低下に抑制されている。

- 3) エネルギー貯蔵装置の設計方法およびシステム全体の制御系の構成および設計方法を示している。また、制御系の安定性解析も行っておりシステムが安定である条件を示している。
- 4) 自励式の整流器を用いることによって発電機の高調波が大きく減少することを計算機シミュレーションで示し、発電機の効率向上が可能であることを示している。
- 5) 自励式の整流器を用いる場合の制御方法として、固定子電圧一定制御方式 (Constant Stator Voltage, CSV)、d 軸電流ゼロ制御方式 (Zero d-axis Current, ZDC)、力率 1 制御方式 (Unity Power Factor, UPF) の 3 つの方式を検討し、それらの特性を計算機シミュレーションにより比較している。特性比較の結果、CSV 方式が負荷急変時のエンジン速度の低下、負荷電圧の低下の観点、ならびにエンコーダが不要といった観点から最も優れていると結論づけている。

以上のように、本論文は自立型のガスエンジン発電機の高性能化について有益な知見を与える内容となっており、この分野の技術の発展に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。