

学 位 論 文 の 要 旨

Study on Design of Wide-Band Vibration-Based Piezoelectric Power Generator
(広帯域振動に基づく圧電式振動発電装置の構築に関する研究)

氏 名 Amat Amir bin Basari 印

This dissertation summarizes a study on design of wide-band vibration-based piezoelectric power generation with application to vehicle. In general, physical mode of operation of piezoelectric power generator can be divided into two. They are bending and impact mode. Vibration-based piezoelectric power generator in bending mode produces electric output optimally at resonant frequency of the power generator's structure. At non-resonant frequencies, the output of the power generator reduces drastically. This research work proposes a new vibration-based piezoelectric power generator which able to produce electric output in relatively wider frequency bandwidth so that the disadvantage of bending mode power generator can be improved. The mode of operation of the new power generator is impact mode.

Second chapter of this dissertation discusses the optimization methods of piezoelectric power generator in cantilever beam structure. The impedance matching technique is found to be effective in optimizing the output of cantilever beam piezoelectric power generator. The matching impedance is inversely proportional to the capacitance and resonant frequency of the piezoelectric power generator. Thus, increment in these parameters will result in reduction in the matching impedance of the power generator. In addition, it is also found that the optimum output power and energy of the power generator is dependent on different value of load. Meanwhile, evaluation results of effect of shape of the power generator shows that an optimum output can be obtained with triangular shape of power generator when compared to the rectangular power generator. The key factor to this is the uniformity of stress force's distribution that can be developed by the triangular power generator.

In the third chapter of this dissertation, discussion on the design of a wideband impact mode piezoelectric power generator is presented. The study of the impact mode piezoelectric power generation is started with the evaluation on the effect of the mechanical impact parameter on the electric output of the piezoelectric device. The relationship of output voltage and power with height,

velocity and momentum of impact is analyzed. According to this evaluation results, the velocity of impact highly affect the output when compared to the mass. This finding is utilized in the design of the power generator. The proposed power generator consists of three main structures. They are the base beam, vibrating beam and spacers. The base beam is the place where the piezoelectric device will be placed on. The vibrating beam is the one that will hit the piezoelectric device. Lastly, the spacers will be used to separate the two beams. The evaluation on the designed power generator shows that the power generator can operate in wide frequency bandwidth when configured in pre-load condition. This configuration can easily be adjusted by varying the variables of the vibrating beam to suit with the frequency bandwidth of the vibration so that the output of the power generator can be optimized. The output optimization technique is also introduced for the piezoelectric power generator operates in impact mode. The so-called indirect impact configuration is found to be effective in optimizing the output power of the power generator. With this configuration, the average output power of the power generator has increased from micro-watt to mili-watt of power. In addition, variation in the variables of the power generator is also performed and evaluated.

In the fourth chapter of this dissertation, evaluation of power storage circuit for the power generator is presented. The evaluation starts with some comparison of performance of full wave rectifier and voltage doubler circuit in rectifying the output of the power generator. Next, the evaluation of full storage circuit is performed. The storage circuit used in this evaluation utilized DC-DC buck regulator as the control circuit to optimize the dc output power.

Finally, application of the power generator in generating electric power from vibration of moving vehicle is also presented. At first, vibration of a moving truck is investigated. Vibration of engine room, the unsprung body, front and rear body of the truck is measured. Based on the obtained results, it shows that engine room produces the highest amount of vibration. Thus, by using the designed power generator, an experimental evaluation is conducted for the energy generation at engine room. Within 110s of time, the energy that generated by the power generator at engine room is approximately 1.57mJ. Thus, it is shown that the designed power generator is able to regenerate the vibration energy for low power devices.

本論文は、広帯域振動に基づく圧電式振動発電装置の設計及びその実験検証に関する研究をまとめたものである。応用目的は、車両の持つ複数の固有振動を利用し、低消費電力の電子機器へ電源供給するパワージェネレータを構築することである。圧電式パワージェネレータの発電方式は曲げモードと衝撃モードの二つに分類できる。曲げモードの振動を用いたパワージェネレータは、構造の持つ共振周波数で最大の出力を出すことができる。しかしながら非共振周波数では、パワージェネレータの出力は急激に減少する。これに対し、衝撃モードを用いたパワージェネレータはその出力エネルギーは小さいが比較的広帯域の周波数で発電可能である。本研究では、以上のパワージェネレータの欠点を改善し、広い周波数帯域でエネルギー回生可能な衝撃モードを用いたパワージェネレータを提案する。

第二章では、片持ち梁構造におけるパワージェネレータの出力最適化の方法について述べる。インピーダンス整合法は片持ち梁のパワージェネレータの出力を最適化するのに有効であることを示す。整合インピーダンスはパワージェネレータの静電容量及び共振周波数に反比例する。したがって、これらのパラメータの増減により、パワージェネレータの整合インピーダンスの調整が可能である。さらに、パワージェネレータの最適な出力電力とエネルギーは整合インピーダンスに依存して異なることを実験により検証する。一方、パワージェネレータの形状効果の評価では、最適な出力は三角形のパワージェネレータで得られることを示す。ここで重要となる要因は、従来の四角形では応力分布は固定端に集中するが、三角形のパワージェネレータでは発生する応力分布が均一となることである。

第三章では、衝撃モードを利用した広帯域パワージェネレータの提案とその評価について述べる。最初に、衝撃の質量や速度が圧電素子のエネルギー回生にどのように影響するかを評価する。圧電素子の出力電圧及び電力と衝撃の速さ及び運動量との関係を定量解析する。この結果より、衝撃の速度が質量と比較し、電力に影響を与えることを示す。次に、この結果を基にパワージェネレータの設計を行う。提案するパワージェネレータは、ベース、振動板及びスペーサの3つの構造で構成される。ベースは圧電素子を配置する板で、振動板は圧電素子を衝撃するための片持ちはりである。そして、スペーサは二つの板に空隙を作るためのものである。提案するパワージェネレータの実験検証より、予圧状態に構造設計することにより、広帯域でエネルギー回生可能であることを示す。本パワージェネレータの構成では容易に振動の周波数帯域を調整することが可能である。加えて、パワージェネレータが衝撃モードで動作するための出力の最適化手法についても解析する。解析結果より、直接的に圧電素子に衝撃を与えるのではなく、間接的に与える構造を提案し、これによりパワージェネレータの出力を増大化させることが可能であることを示す。ここでは、パワージェネレータの平均出力が μW から mW に増加することを実験検証により示す。さらに、パワージェネレータの物理的パラメータの変化についても定量評価する。

第四章ではパワージェネレータ用の蓄電回路の評価、提案を行う。回路の評価では、パワージェネレータの出力を全波整流器と倍電圧回路での整流性能の観点から比較する。加えて、整流した電力に対する蓄電回路の評価を行う。使用する蓄電回路には、DC-DCレギュレータを制御回路として導入し、DC出

力の最適化を図る。

最後に、設計したパワージェネレータを利用し、車両の振動からエネルギー回生実験を行う。振動実験に先立ち、トラックの振動を測定する。計測箇所はエンジンルーム、バネ下、フロント部及びリア部とし、これらの振動を再現可能な加振機を構築する。設計したパワージェネレータに対し、エンジンルームにおけるエネルギー回生の実験的評価を行う。110 秒内に、エンジンルームで回生可能なエネルギーが、約 1.57mJ であることを確認する。以上より、設計したパワージェネレータにより小電力機器向けに振動エネルギー回生できることを示す。