147 自励回転型自動発電機の研究 1 (初速度付加による自励回転の発生)

Study on Automatic Power Generating System Using Self-Excited Rotation

○ 香月義嗣 (東大) 大崎雄治 (東大) 正 保坂寛 (東大)
佐々木健 (東大) 正 板生清 (東大)

Yoshitsugu KATSUKI, Tokyo University, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo

Yuji OHSAKI, Tokyo University, Hiroshi HOSAKA, Tokyo University,

Ken SASAKI, Tokyo University, Kiyoshi ITAO, Tokyo University

An automatic electric power generator that utilizes self-excited rotation has been investigated as a power supply for information devices. By the approximate analysis with the dynamic model and the numerical simulation, we confirmed the conditions when the self-excited rotation takes place. In order to create self-excited rotation, we suggest a system that increases the angular speed. When revving up, the motor is used as an actuator rather than a generator. The experimental results show that generating capacity increases from $10 \mu\text{W}$ to $380 \mu\text{W}$ by the system. The input voltage and time was optimized to reduce energy loss. We propose a system that revs up the rotational plummet till self-excited rotation occurs in order to lessen the influence of the initial plummet position and angular speed.

Key words: Self-excited rotation, Increasing angular speed

1. 研究の背景

近年、情報機器の小型化、低消費電力化、通信手段のモバイル化・ワイヤレス化が進んでいる。さらに、i モードなどの普及で、場所を選ばずインターネットにつながる社会になりつつある¹⁾。以上から、近い将来自然環境や人工物環境、動物、農作物の情報をセンシングし、自動でネットに送信、蓄積するセンサネットワーク端末の活躍が予想される。ここで装置の小型化に伴うエネルギー供給の難しさが問題となる。そのため、化学反応を利用した2次電池の研究開発が盛んに行われているが、電池を利用する際には交換や充電が必要で、使用済み電池の処理といった環境問題も生じる。これらの解決策として、自然環境や人工物環境で無駄に放出されているエネルギーを有効利用することを考える。本研究では様々なエネルギー供給形態の中から、特に振動に注目する。

2. 研究の目的

直動型の振動発電システムは、高エネルギー効率であるが、最適条件の下で小型化すると板バネが長くなり、体積効率の低下が起きるという報告がある。そこで、本研究では高エネルギー効率で、小型化が可能である回転型自動発電機を対象とする。さらに、回転型特有の現象である自励回転に着目し、携帯機器に必要な数 10mW の発電を目指す。

3. 自励回転

非線形運動をしている回転錘が、リズム振動する外的因子の周期にすいつくようにびたりと同期して、運動する現象を自励回転という。このとき発電量が最大になることが先行研究で示されている。よって、いかに自励回転をおこすかが課題である。ここで Fig. 3 のモデルにおける回転錘の運動方程式は、

$$(ma^2 + J)\ddot{\theta} + c_e\dot{\theta} + maA\omega^2 \sin \omega t \cos \theta = 0 \quad (1)$$

と与えられ、

$$\frac{2c_e}{\omega Ama} < 1, \quad |\dot{\theta}(0)| > \omega \quad (2)$$

の時、自励回転が起こりやすいことが知られている³⁾。(2)の第2式は自励回転には初期角速度が必要であることを示している。よって、本研究では回転錘に強制的に初速度を与えることにより、自励回転を誘発するシステムを考える。

4. 初速度付加システム

4-1. 初速度の付加方法

強制的に自励回転を起こす方法として次のような方法を考案した。まず、発電機として用いるモータをアクチュエータとして利用し回転錘に初速度を与える。次に、自励回転に必要な速度を得た時点で速やかに発電機に切り替える(Fig.1)。アクチュエータを稼働させる電力には発電時に充電する蓄電池を用い、あらかじめ、ある程度蓄電しておく。システムの構造は将来的には Fig.2 のようなものを考えている。現時点では、Fig.3 のモデルで実験を行っている。

Fig.1 The flowchart of generating electricity

Fig.2 The structure of the system

Fig.3 Analytical model

4-2. システムの評価

システムの評価として、実験装置を製作し、揺動⇒加速⇒発電の発電量を測定した。その結果、加速に要したエネルギーを約 800s で回収し、長時間発電を行えば揺動発電の 40 倍の発電量が得られることが確認された(Fig.4)。これより、システムの有効性が示された。

Fig.4 Generating energy

$$(f=1.2\text{Hz}, A=6.0 \times 10^{-2}\text{m}, a=7.0 \times 10^{-2}\text{m}, m=65 \times 10^{-3}\text{kg})$$

5. システムの実現に向けて

5-1. 課題

装置の形状や入力条件を除くと、自励回転の有無に影響するパラメータは回転錘を加速する際の印加電圧と加速時間及び回転錘の初期状態（加速する際の初期角度と角速度）の3つである。これらの影響を確認し、最適化を行う必要がある。

5-2. 印加電圧と加速時間の最適化

初期角速度を付加するシステムの運動方程式を立て、静止状態からの加速時間をパラメータにとり回転錘の運動を推定するシミュレーション方法を構築した。次に、印加電圧と加速時間の両パラメータについて上記のシミュレーションを行い、各電圧における最適な加速時間を求めた。この結果を用いて各電圧での消費エネルギーを計算し、Fig.5を得た。これより、印加電圧は1～3Vが最適であることが示された。

Fig.5 The relation between voltage and energy
($f=1.2\text{Hz}, A=6.0 \times 10^{-2}\text{m}, a=7.0 \times 10^{-2}\text{m}, m=65 \times 10^{-3}\text{kg}$)

5-3. 初期状態の影響

回転錘が揺動運動をしているときは自励回転時に比べ角速度は微小である。よって、初期角速度は近似的に0とし、初期状態を回転錘の初期角度のみで考えた。一周を $\pi/4$ おきに8分割した角度それぞれに錘を静止させ、これを初期角度として加速を行い、自励回転の有無を確認した。この結果の一例をFig.6に示す。この例であれば、2V、1.5sで3回程度加速を行えば、確実に回転錘は自励回転すると言える。よって、初期角度の影響は加速を複数回行うことにより解決できる見通しがたった。

Fig.6 The frequency of the self-excited rotation
($f=1.2\text{Hz}, A=6.0 \times 10^{-2}\text{m}, a=7.0 \times 10^{-2}\text{m}, m=65 \times 10^{-3}\text{kg}, E=2\text{V}$)

5-4. 最適設計

上記を考慮して、最適設計の流れを考案した(Fig.7)。入力条件として歩行時の腰、手首および足の振動を想定して 10mW の発電を得るためのシステムの体積及び質量の最適設計を行った。また、加振部が1周する間に回転錘が2回転する2倍の自励回転も考慮して最適化した。例として腰用の振動発電機の体積と質量を最適化したものをFig.8に示す。

Fig.7 Flowchart of the best design

Fig.8 The size of the generator for the vibration of a waist

6. 結論

自励回転型自動発電機の実現方法として回転錘への初速付加を提案した。実験装置を製作し発電量の計測によって、システムの有効性を示した。また、各パラメータの影響について検討し、最適化を行った。

参考文献

- 1) 板生 清 他：ウェアラブル情報機器の実現，オプトロニクス社，1999
- 2) 井上 順吉：機械力学 理工学社 1982