

小論文

エレクトレット発電機の角速度センサーへの応用

多田 泰芳*

(1996年4月10日受理)

Application of Electret Generator to Angular Velocity Sensor

Yasufusa TADA*

(Received April 10, 1996)

An angular velocity detector using an electret generator as the sensor is proposed. The detector is composed of the electret generator generating a square wave with amplitude proportional to the angular velocity of the rotor, an amplifier, a fullwave rectifier, and a low-pass fourth-order filter. The detector is designed as a trial to detect a sinusoidal rotational irregularity within two cycles per one rotation. Detection of a rotational irregularity of 1 Hz on a steady rotation of 0.5 Hz is performed as an example. The detector has a simple structure and very small moment of inertia.

1. はじめに

現在、瞬時角速度およびその変動すなわち回転むらの検出は、主として回転位置センサであるロータリエンコーダの出力パルスをデジタル演算処理する方式により行われており¹⁾、これと競合するような汎用のアナログ型センサを用いた装置は見当たらない。しかしながら、デジタル方式はアナログ方式に比べて精度は高いが分解能では劣るので必ずしも万能とはいえない¹⁾。筆者らはこれまでに、エレクトレット発電機(以下EGと略す)が瞬時角速度に正比例する振幅の方形波電圧を発生することを報告した²⁻⁴⁾。このようなEGをセンサとして用いれば、エンコーダ方式の装置に比べて構成が簡単な、小型で、慣性モーメントが小さいなどの特徴をもつ、瞬時角速度および回転むらを検出するアナログ式装置を得ることができると考えられる。そこで本報では、一つの試みとして、EGを用いて1回転中に2周期以下の割合で生じる回転むらを検出できる装置を試作し実験を行ったので、その結果について述べる。

2. 原理

EGが定速回転時に発生する振幅 V 、周期 T の理論方形波電圧例の1周期分を図1(a)に、それを全波整流した

形の直流波形を図1(b)に、実際の方形波例の一部分³⁾を図1(c)に示す。方形波の振幅 V 、したがって直流の振幅 V は回転子の瞬時角速度 ω に比例するが、このような直流には時間 T の間に2周期のリプル分が存在する。 ω が変動するとき、 V の変動より回転むらを知るためにはこのリプル分を除去する必要がある。

極数が共に1の固定子と回転子で構成されたEGを用いるとすると、回転子の1回転の時間と方形波の周期 T とが一致するので²⁾、1回転分の整流波形の中に2周期のリプル分が存在する。このリプル分の周期に比べて、回転むらの周期が十分に短い場合はハイパスフィルタを用いてリプル分を除くことができるが、回転むらの周期が同じ程度の場合には、このリプル分をフィルタリングにより分離することは困難である。このような場合には、EGの極数を多極にし、リプル分の周期を回転むらの周期に比べて十分に短くすれば、ローパスフィルタを用いることにより回転むらのみを取り出すことができる。EGの極数の増加はその出力電圧の増加ともなる。本研究では、1回転中に生ずる2周期以下の回転むらの検出を行うので、角速度検出装置の基本構成は多極のEG、全波整流回路およびローパスフィルタから成る。

EGが瞬時角速度 ω で回転しているときのローパスフィルタの瞬時出力電圧を v とすると、 v は、

$$v = k_1 \omega \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 k_1 は一般に、EGの方形波電圧の振幅 V と、増幅器、全波整流回路およびローパスフィルタの利得によって決まる定数である。この k_1 を予め

キーワード：エレクトレット発電機、角速度センサー

* 群馬工業高等専門学校電気工学科 (371 前橋市鳥羽町 580)
Department of Electrical Engineering, Gunma
College of Technology, 580, Toriba-machi, Mae-
bashi, 371 Japan

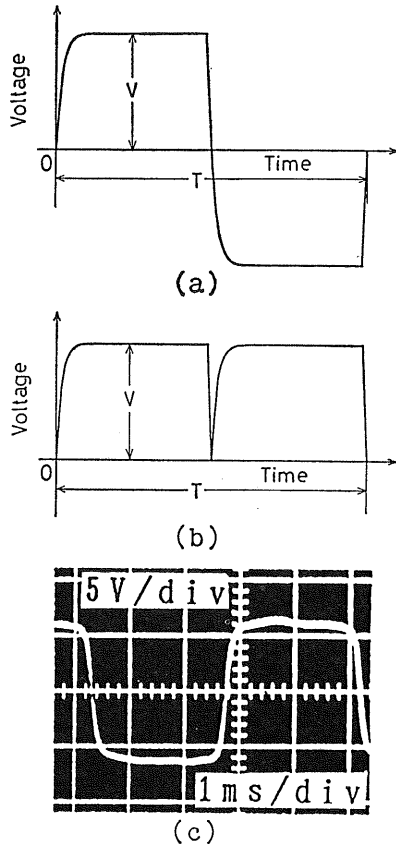


図1 (a) EG の理論出力方形波電圧例の一周期分, (b) 理論出力方形波の全波整流波形, (c) 実際の出力方形波例の一部

Fig. 1 (a) One cycle of a theoretical output square wave voltage of EG, (b) Full-wave rectification voltage of the theoretical output square wave, (c) One part of an actual output square wave.

求めておけば、 v と式(1)より ω を求めることができる。

ここでは、 ω の変動の具体例として、 ω が一定値 Ω_0 を中心に角速度 ω_1 、振幅 Ω_m で正弦波状に変動する場合を考える。すると ω は、

$$\omega = \Omega_m \sin(\omega_1 t + \alpha) + \Omega_0 \quad (2)$$

とあらわせる。ここで、 $\Omega_m < \Omega_0$ で、 t は時刻、 α は初相である。式(2)を式(1)に代入すると

$$v = V_m \sin(\omega t + \alpha) + V_0 \quad (3)$$

$$V_m = k_1 \Omega_m \quad (4)$$

$$V_0 = k_1 \Omega_0 \quad (5)$$

が得られる。この v の V_m 、 ω_1 、 V_0 を測定し、その結果と式(4)と(5)より Ω_m 、 Ω_0 を求めれば、それらと式(2)より、 ω を確定できる。

3. 実験装置

角速度センサとして用いる EG は不平衡出力^{2,3)}の円筒型 EG である。このような EG の一例を図2に模式図で示す。図2(a)は金属円筒に方形の穴を6個等間隔に空けることにより作られた6個の方形電極をもつ6極の固定子の側面図、図2(b)は金属円筒面に6枚の方形エレクトレットを等間隔に張り付けた6極の回転子の側面図、図2(c)はそれらを組み合わせたEGの断面図である。回転子円筒の片側には図2(c)に見られるようにシャフトを通すための底が付いている。また、図2(c)では省略されているが、回転子はシャフトとスリップリングを通して接地されており、固定子は負荷抵抗を介して接地されており、この負荷抵抗より出力が得られる。

瞬時角速度検出実験用装置のブロックダイアグラムを図3に示す。発振器 OSC より角速度 ω_1 、振幅 V_m' 、初相 α の正弦波電圧 $V_m' \sin(\omega_1 t + \alpha)$ を発生させ、これと直流電圧 V_0' とを差動増幅器 A_1 により加え合わせると、その出力電圧 v' は

$$v' = V_m' \sin(\omega_1 t + \alpha) + V_0', \quad V_m' < V_0' \quad (6)$$

となる。この v' を速度制御装置を介してモータ M に加えると、式(2)で表される正弦波状回転むらを含む角速度 ω でモータが回転する。この ω を角速度検出装置の出力電圧 v に変換し、これをレコーダに記録し、その結果より回転むらを知ることができる。

この実験では、具体例として、1回転中に生ずる2周期以下の正弦波状回転むらをリップル分と 20 db (10 倍) 以上の比で取り出すことを行う。そのため、EG の固定子と回転子の極数は共に 10 とし、ローパスフィルタは

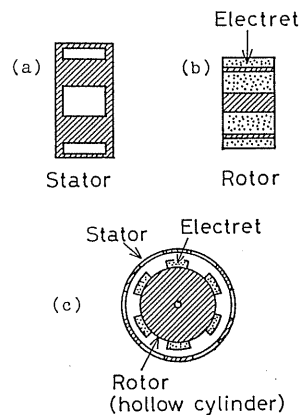


図2 (a) 6極の円筒型固定子, (b) 6極の円筒型回転子, (c) EG の横断面図

Fig. 2 (a) Cylindrical stator with 6-pole, (b) Cylindrical rotor with 6-pole, (c) Cross section of EG.

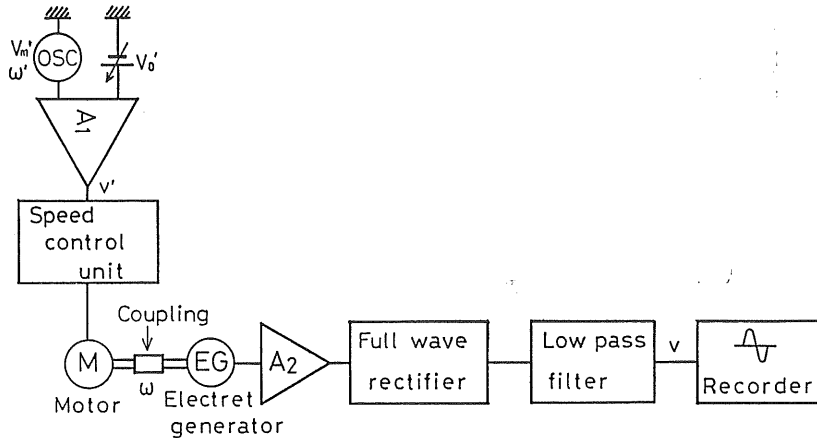


図3 瞬時角速度検出実験用装置のブロックダイアグラム

Fig. 3 Block diagram of setup for experiment of angular velocity detection.

しゃ断周波数が 1.7 Hz の 4 次のアクティブフィルタとした。これにより、この角速度検出装置で検出できる回転むらの周波数範囲は 0.35~1.7 Hz となった。固定子円筒の内径は 42 mm, 厚さは 1 mm, 長さは 19 mm, 方形の穴の軸方向の長さは 8 mm とし, 回転子円筒の外径は 40 mm, 厚さは 1 mm, 長さは 13 mm, 底の厚さは 2 mm とし, エレクトレットの素材としては厚さ 2.5 μm のテフロン FEP (Du Pont 社) を用い, 固定子および回転子円筒の材質はアルミとした。差動増幅器 A1, 電流-電圧変換器 A2, 全波整流器およびローパスフィルタのいずれも OP AMP を用いて構成した。

4. 実験結果および考察

試作した瞬時角速度検出装置の ω-v 特性を図4に示

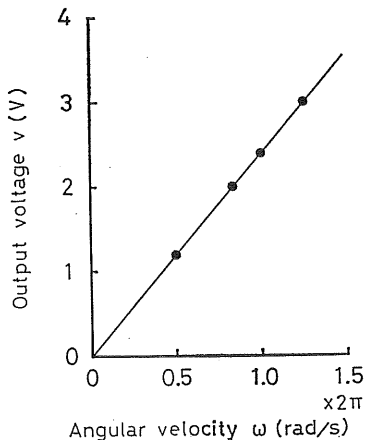


図4 角速度検出装置の特性

Fig. 4 Characteristics of the angular velocity detector.

す。これより式(1)の k1 を求めると, k1=1.2/π となる。

直流電圧 V0' を調節してモータの定速回転数を 0.5 Hz とし, OSC から図5(a)を示す 1 Hz の正弦波を発生させ, モータ M に 1 Hz の回転むらを生じさせたときの, 角速度検出装置の出力 v を図5(b)に示す。比例定数 k1, 図5(b)の Vm, および式(4)より角速度 ω の振幅 Ωm を求めると, Ωm=0.55 rad/s (0.09 Hz) となり, k1, 図5(b)の V0, および式(5)より定速回転時の角速度 Ω0 を求めると, Ω0=3.1 rad/s (0.5 Hz) となる。したがって, ω は Ω0+Ωm=3.7 rad/s (0.59 Hz) から Ω0-Ωm=2.6 rad/s (0.41 Hz) まで変化したことになる。

この角速度検出装置で検出可能な回転むらの範囲は

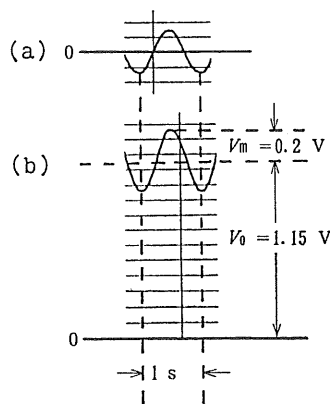


図5 (a) 発信器の出力電圧波形, (b) 角速度検出装置の出力電圧

Fig. 5 (a) Output voltage waveform of oscillator, (b) Output voltage of the angular velocity detector.

0.35~1.7 Hz と狭い。この範囲を 0.17~1.7 Hz と広げるためには EG の固定子および回転子の極数を増やす必要があるため、フィルタの周波数特性を基に検討したところ、それらの極数は共に 21 以上となった。この多極化は、それらの構造が極めて単純なので容易に行いうる。さらに、ローパスフィルタとしてシャ断周波数を 10 倍ずつずらしたものを複数個用意すれば必要な測定範囲を得ることができる。

5. ま と め

EG を瞬時角速度センサとして用い、1 回転中に生ずる 2 周期以下の正弦波状回転むらを検出できるアナログ型の角速度検出装置を試作した。実際に、0.5 Hz で定速回転するモータに 1 Hz の正弦波状回転むらを生じさせ、これを検出できることを確かめた。この装置の回転

むらの測定範囲は 0.35~1.7 Hz と狭かったため、必要な測定範囲を得るための方法を示した。この装置は簡単な構造で慣性モーメントの小さい EG のほか、EG 自身が瞬時角速度情報をもった電圧を出力するため、OP AMP を用いた電流-電圧変換回路、全波整流回路、ローパスフィルタといった単純な電子回路により構成できるという特徴をもっている。以上、EG を用いた本装置がエンコーダ方式と競合できる可能性を示した。

参 考 文 献

- 1) 大島康次郎, 秋山勇治: サーボセンサの基礎と応用, p. 7, p. 18, p. 185, オーム社 (1988)
- 2) Y. Tada: IEEE Trans. Electr. Insul., **EI-21** (1986) 457
- 3) Y. Tada: Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) 846
- 4) 多田泰芳: 静電気学会誌, **19** (1995) 235