角加速度の一実測装置†

岡田 昌 丈*・八 木 剛*・篠 宮 栄**

A Measuring Device of Angular Acceleration

Yoshitomo OKADA*, Tsuyoshi YAGI* and Sakae SHINOMIYA**

This paper presents the fundamental acceleration response characteristics of a measuring device of angular acceleration. Moreover, the calibration method of the angular acceleration of this device is presented, and an applied example of this device is offered.

Key Words: angular acceleration, alternating torque, accelerometer, DC tachogenerator, fluctuating velocity

1. ま え が き

家電機器、事務機器、音響機器および精密計測機器などにおける小形回転機の各種応用分野においては、この小形回転機の振動トルクおよび回転むらなどの問題が取り上げられ、その検出および測定に多くの場合、筆者らの1人が提案した2相誘導発電機形加速度計^{1)~6)}が用いられている。しかし、エンコーダの精度および製作技術などの向上と各種自動制御系のデジタル化への移行に伴い、従来、自動制御系の速度帰還要素として使用されていた2相誘導発電機の生産が、多くのメーカーで中止されるようになってきた。その結果、2相誘導発電機を直流励磁することにより得られる2相誘導発電機形加速度計を利用することもまた、困難になってきた。このような現状より、2相誘導発電機形加速度計に代わる新しい角加速度の実測法または実測装置の出現が強く望まれている。

本文では、以上のような現状を考慮し、2相誘導発電機形加速度計に代わる新しい角加速度の実測装置として、DCタコゼネレータと低ノイズ微分回路より構成される簡易な角加速度の一実測装置を考案し、試作したところ、かなりの精度で小形回転機の振動トルクなどの実測が行え得ることが明らかになったので、その装置の概要と基礎特性を報告する。また、この試作装置の角加速度較正

法および、一適用例も併記する。

なお、この装置の特徴は、2相誘導発電機形加速度計で問題視されているような、加速度計出力電圧の入力振動振幅依存性および温度依存性(本装置の場合は、装置内に発熱源をもたない)の問題がなくかつ、低ノイズ微分回路の回路定数を必要に応じて調整することにより、必要とする振動周波数の角加速度が、高いS/N比の下で容易に検出可能となった点にある。

2. 角加速度実測装置の概要と角加速度応答特性

角加速度実測装置は、Fig. 1に示すように、供試機の角速度 ω_r [$=\omega_0 + \theta_m \omega_i \cos \omega_i t$, ここに、 ω_0 : 回転角速度、 θ_m : 入力振動振幅、 ω_i : 振動角速度] をDCタコゼネレータで速度起電力 e_i [$=K_a B_m (\omega_0 + \theta_m \omega_i \cos \omega_i t)$, ここに、 K_a : 発電機定数、 B_m : ギャップ磁束密度] の形で検出し、この出力電圧 e_i を高周波ノイズの影響の小さい低ノイズ微分回路に入力することにより、供試機の角速度の変動分、すなわち角加速度の大きさに比例した角加速度応答出力電圧 e_o

$$[=K_a B_m C_1 R_2 \alpha / \sqrt{\{1 + (\omega_i C_1 R_1)^2\} \cdot \{1 + (\omega_i C_2 R_2)^2\}} \cdot \sin(\omega_i t - \phi)]$$

ここに、 $\alpha = \theta_m \omega_i^2$ (角加速度の大きさ)、 ϕ : 低ノイズ微分回路の入、出力電圧間の位相角] が得られるようにし

Fig. 1 Schematic diagram of a measuring device of angular acceleration

† 平成7年度電気関係学会東北支部連合大会で発表 (1995・8)

* 足利工業大学工学部 足利市大前町 268

** 群馬大学工学部 桐生市天神町 1-5-1

* Faculty of Engineering, Ashikaga Institute of Technology, Ashikaga

** Faculty of Engineering, Gunma University, Kiryu
(Received March 8, 1995)
(Revised June 19, 1995)

Fig. 2 Output voltage vs input angular acceleration characteristics of the proposed device

Fig. 3 Block diagram of experimental circuit

たものである。

つぎに、この角加速度実測装置の角加速度応答特性を2相サーボモータの1相を交流励磁、他相を直流励磁した、いわゆる正弦波励振装置¹⁾を用いて、実験的に検討および考察する。

Fig. 2は、Fig. 3に示すような2相誘導電機形加速度計、正弦波励振装置、および本実測装置よりなる角加速度応答実験装置を用いて、振動周波数(f)が $f=50$, 100, 150および200 Hz なるときの角加速度—出力電圧特性を実測し、その結果を示したものである。なお、正弦波励振装置の角加速度は、従来から使用されている2相誘導電機形加速度計を用いて実測した。

Fig. 2より、振動周波数が一定の場合には、本装置の角加速度応答出力電圧は、角加速度の大きさに比例して直線的に増大することがわかる。すなわち、入力振動振幅依存性のないことがわかる。しかし、その振動周波数が50, 100, 150および200 Hz と増加した場合には、単位角加速度当たりの出力電圧傾度、いわゆる本装置の角加速度感度 $(e_o/a)_f$ が $(5.5 \times 10^{-5} \sim 0.75 \times 10^{-5}) [V_p/(\text{rad/sec}^2)]$ と漸減傾向を示し、角加速度応答出力電圧には、周波数

Fig. 4 Waveforms at various parts of the proposed device

Fig. 5 Normalized frequency response characteristics for the output voltage of the proposed device

依存性のあることがわかる。すなわち、同角加速度入力時の角加速度応答出力電圧は、振動周波数の増大に伴って、次第に減少することがわかる。なお、本装置の実用性をさらに高めるためには、加速度応答出力電圧に対する周波数依存性の影響を取り除くことが望まれるが、この点に関しては稿を改めて報告したい。また、Fig. 4に、 $\omega_0 \neq 0$ 時における DC タコゼネレータの角速度応答出力電圧波形(e_i)および低ノイズ微分回路の角加速度応答出力電圧波形(e_o)を参考までに示した。

3. 出力電圧の角加速度較正

ここでは、本装置より得られる角加速度応答出力電圧の角加速度較正法について述べる。

まず、角加速度実測装置の振動周波数(f)と角加速度感度 $(e_o/a)_f$ との関係、すなわち、 $f-(e_o/a)_f$ 特性(Fig. 5 参照)を正弦波励振装置と2相誘導電機形加速度計または励振装置の回転子軸に貼付けしたミラーおよび、ランプスケール¹⁾などを用いて求める。ついで、この f と

$(e_0/\alpha)_f$ との関係を利用することにより、本装置で検出した角加速度応答出力電圧を、次式に基づき角加速度較正する。すなわち、

$$\alpha_x = E_x / (e_0/\alpha)_f \quad [\text{rad/sec}^2] \quad (1)$$

ここに、

α_x : 供試機の角加速度

E_x : 角加速度応答出力電圧 [波高値, V_p]

$(e_0/\alpha)_f$: 振動周波数 f 時の角加速度感度
[$V_p/(\text{rad/sec}^2)$]

4. 適用例

今回考案・試作した角加速度実測装置の一適用例として、2相サーボモータの電圧不平衡運転時に発生する、電

源周波数の2倍の振動周波数の振動トルクの実測例を示す。

Fig. 6 は、本装置を用いて実測した、振動トルクに基づく角加速度 ($\alpha_{f=100}$) と2相サーボモータおよびDCタコゼネレータなどの回転子系全体のイナーシャ J [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$] より、 $T_0 \approx J\alpha_{f=100}$ [$\text{N}\cdot\text{m}$] なる関係式から決定した、振動トルクの実測値と理論値⁷⁾を対比し示したものである。

Fig. 6 より、両者は良く符合しており、今回考案・試作した角加速度実測装置が妥当なものであることがわかる。

5. あとがき

本文では、DCタコゼネレータと低ノイズ微分回路より構成される角加速度の一実測装置を考案・試作し、この装置の角加速度応答特性を実験的に明らかにした。また、本装置の角加速度較正法を明らかにすると共に、本装置の適用例を示し、今回考案・試作した角加速度実測装置の妥当性とその有用性を明らかにした。

参考文献

- 1) 須藤, 篠宮, 戸恒, 梅沢: 二相誘導発電機形加速度計の基礎特性の検討, 制御工学, 11-6, 308/313 (1967)
- 2) 須藤, 篠宮: 2相誘導発電機形加速度計の加速度応答特性におよぶ回転速度の影響, 計測自動制御学会論文集, 7-3, 211/218 (1971)
- 3) 篠宮, 岡田, 須藤: 自在継手を利用した2相誘導発電機形加速度計の加速度校正, 計測自動制御学会論文集, 9-5, 538/544 (1973)
- 4) 篠宮 栄: 2相誘導発電機形加速度計の特性に及ぼす入力振動振幅の影響, 電気学会論文誌, 94-B-10, 526/532 (1974)
- 5) 篠宮 栄: 2相誘導発電機形加速度計の応答特性の改善法, 電気学会論文誌, 95-B-4, 201/208 (1976)
- 6) 篠宮 栄: 2相誘導発電機形加速度計の出力電圧の温度誤差とその補償法, 電気学会論文誌, 96-B-7, 341/348 (1976)
- 7) 須藤, 戸恒: 2相サーボモータの振動トルクの解析, 計測自動制御学会論文集, 7-2, 106/112 (1971)
- 8) 岡田, 篠宮, 八木: 角加速度実測装置の試作とその基礎特性, 平成7年度電気関係学会東北支部連合大会, 2B6 (1995)

Fig. 6 Alternating torque characteristics of a 2-phase servomotor under unbalanced operation (output 5 W)