

## Aula 21: Sensores de velocidade empregados em determinação, navegação e controle de atitude: Giroscópios. Giros Integradores de Velocidade.

### Giros Integradores de Velocidade

O giro integrador de velocidade é, geralmente, o mais utilizado em sistemas de controle de atitude devido à alta precisão e baixa deriva. O *gimbal* é montado de uma tal forma que seu movimento praticamente não tem atrito nem mola de restrição. Ele é usualmente um cilindro selado que está imerso ou flutua num fluido. O eixo de giro no cilindro é suportado, em geral, por mancais aerostáticos ou de rolamento. Dado que o amortecimento viscoso e a constante de mola são pequenos, a solução em regime permanente da Equação (15) indica que a saída de um RIG (isto é, a velocidade de rotação do *gimbal* em torno do eixo de saída) é proporcional ao deslocamento angular do satélite em torno do eixo de entrada, ou

$$\dot{\theta} = \frac{L}{I_o} \theta_i. \quad (15-a)$$

Em aplicações práticas o movimento do *gimbal* é geralmente limitado a uns poucos graus. Dois procedimentos diferentes são freqüentemente utilizados para medir grandes ângulos e para melhorar a precisão de medida de pequenos ângulos. No primeiro método, o giro é montado numa plataforma que está rodando, num sistema de malha fechada, usando o sinal de movimento do *gimbal* para manter a posição do *gimbal* próxima da posição de deslocamento nulo. A saída do giro é, então, proporcional à velocidade de rotação da plataforma que, por sua vez, é proporcional a velocidade de rotação do satélite em torno do eixo de entrada. Por outro lado, o giro pode ser fixado no satélite com o *gimbal* sendo torqueado magneticamente, usando um sistema em malha fechada para manter a deflexão próxima da posição de deslocamento nulo. Da mesma forma como é feito para os RGs, a saída do giro é obtida da corrente de torqueamento, que é proporcional a velocidade de rotação da plataforma. Tal giro é chamado de *strapdown torque rebalanced RIG*. A corrente de torqueamento pode ser analógica ou digital. O torqueamento digital tem a vantagem de poder ser utilizado em aplicações de computadores. A corrente de torqueamento de ambos os tipos de giro de torqueamento rebalanceado pode ser diferenciada após breves intervalos de tempo antes da saída, de tal forma que a saída resultante do giro, durante qualquer um desses pequenos intervalos de tempo, é proporcional às velocidades diferenciais de rotação do satélite e, então, à velocidade média do satélite durante o intervalo. Um RIG operando dessa forma é designado de *giro integrador de velocidade no modo velocidade*.

A principal fonte de erro em um RIG é a instabilidade da deriva de velocidade. Os erros sistemáticos de deriva, desalinhamento do eixo de entrada e erro de fator de escala podem ser modelados e corrigidos. Em RIGs de torqueamento rebalanceado com estruturas flutuantes, a componente de instabilidade de deriva causada por efeitos térmicos é minimizada por aquecedores (*heaters*) controlados automaticamente. A maioria da instabilidade de deriva residual resulta normalmente dos deslocamentos aleatórios, a partir da posição nula, na malha de controle do torque de rebalanceamento. Uma componente de pequeno período desta instabilidade, chamada de *deriva aleatória*, pode estar relacionada ao ruído de torque flutuante (isto é, ruído no torque aplicado à estrutura flutuante). Da mesma maneira, uma componente aleatória chamada de *rampa de deriva da velocidade*,

pode estar relacionada à derivada do ruído no torque flutuante. Os efeitos dessas duas fontes de ruído na incerteza das saídas do giro, podem ser modelados de modo a prever erros na atitude do satélite. Ocasionalmente, entretanto, as flutuações em tensão e alterações no meio ambiente magnético causam deslocamentos sistemáticos da posição nula, que são difíceis ou impossíveis de modelar. Em muitos casos, a utilização de uma fonte de potência regulada para o giro reduz os efeitos das flutuações em tensão, às custas de um acréscimo considerável no custo.

Informações adicionais em relação aos RIGs são dadas em Schimdtbauer, *et al.*, 1973; Greensite, 1970; Thomson, 1963 e Scott e Carrol, 1969. A Tabela 9 lista as características de RIGs típicos fabricados pela Bendix e Honeywell.

Tabela 9 – Características de Giros Integradores de Velocidade (fonte: Bendix Corporation e Honeywell, Inc)

Giro	Volume, diâmetro x comprimento (cm)	Peso (kg)	Potência (W)	Deriva aleatória $1\sigma$ ( $^{\circ}$ /hr)	Faixa de entrada ( $^{\circ}$ /s)	Momento angular (gm.cm <sup>2</sup> /s)
Honeywell GG 334 RIG (SDOF)	5,89 11,94	0,77	17 MAX	0,003	$\pm 5,6$	185 000
Bendix 64 RIG (SDOF) (para IUE e HEAO-1)	6,35 27,94	0,77	8-16	0,006	$\pm 2,5$	430 000

### Giros para Controle de Atitude

O momento angular de um giro para controle de atitude (CMG) é devido ao giro do rotor, em torno do seu eixo, com uma velocidade angular constante. Dado que o eixo de giro é apoiado em estruturas móveis, uma rotação comandada na estrutura causa uma mudança no vetor momento angular criando um torque de controle paralelo ao eixo de saída. A magnitude do torque depende da velocidade angular do rotor e da velocidade angular da estrutura. Visto que a excursão da estrutura é limitada e que a velocidade de rotação não deve exceder valores máximos especificados, isso exige um particionamento das componentes de torque entre vários CMGs (Chubb, *et al.*, 1975; Coon e Irby, 1976). Entretanto, poderão ocorrer configurações indesejáveis para o vetor momento angular. Nesse caso, torna-se necessário um sistema de controle auxiliar (jatos de gás, p.e.) para amortecer o momento angular. As características de CMGs são listados na Tabela 10.

Tabela 10 – Características de Giros para Controle de Atitude (fonte: Bendix Corporation)

Model	Peso (kg)	Veloc. do Rotor (RPM)	Momento angular (kg.m <sup>2</sup> /s)	Torque max. (Nm)	Liberdade da estrutura ( $^{\circ}$ )	Veloc. max. da estrutura ( $^{\circ}$ /s)	Tamanho aproximado
Bendix Double Gimbal MA-2000	253	4200 a 12000	1400 - 4100	237	ilimitada	5 30	1,1 m Dia. Esfera
Bendix Double Gimbal MA-2300 p/ Skylab	190	9000	3100	165	$\pm 80$ $\pm 175$	4 7	1,0 m Dia. Esfera
Bendix Single Gimbal MA-500 AC	66	7850	340 - 1000	680	$\pm 170$	57,3	Cilindro 0,51 m Dia. 0,81 m Comp.
Bendix Single Gimbal MA-5-100-1	17	8000	7	140	ilimitada	1146	Cil. 0,25 m Dia. 0,25 m Comp.