

Aula 13: Sensores de posição empregados em determinação, navegação e controle de atitude: Magnetômetros (cont.).

Magnetômetros (cont.)

A intensidade magnética do ambiente pode ser obtida, a partir do espaçamento do pulso no quarto gráfico da Figura 36, como

$$\Delta H = (1 - 2K_2)H_D. \quad (7)$$

Para modelar a resposta da eletrônica do magnetômetro V_S é expresso numa série de Fourier como

$$V_S = A \sum_{n=1}^{\infty} \left(1 - e^{-i2\pi n K_2}\right) \frac{\sin K_1 n \pi}{n \pi} \cos\left(2\pi n \frac{t}{T}\right), \quad A = \frac{2B_s}{K_1 T}. \quad (8)$$

Na ausência de um campo magnético externo (i.e., $\Delta H = 0$), então $K_2 = 1/2$ e o termo entre parênteses da Equação 8 torna-se

$$(1 - \cos n\pi) = \begin{cases} 2 \\ 0 \end{cases} \quad \text{para } \begin{cases} n = 1, 3, 5, \dots \\ n = 0, 2, 4, \dots \end{cases}. \quad (9)$$

As Equações (8) e (9) mostram que os harmônicos pares da frequência principal só ocorrem na presença de um campo magnético externo. A relação de amplitudes entre a segunda e a primeira harmônica é

$$r = \frac{\left(1 - e^{-i2\pi\left(1 - \frac{\Delta H}{H_D}\right)}\right)}{\left(1 - e^{-i\pi\left(1 - \frac{\Delta H}{H_D}\right)}\right)} \frac{\sin 2\pi K_1}{2 \sin \pi K_1}. \quad (10)$$

Para $\Delta H \ll H_D$ e $H_C \ll H_D$, então $K_1 \ll 1$ e

$$r \approx \frac{\left(1 - 1 + i \sin\left(2\pi \frac{\Delta H}{H_D}\right)\right)}{\left(1 - 1 - i \sin\left(\pi \frac{\Delta H}{H_D}\right)\right)} = i \frac{\Delta H}{H_D} \pi. \quad (11)$$

Isso significa que a segunda harmônica está defasada $\pm 90^\circ$ em relação a fundamental. O sinal da segunda harmônica informa o sentido de ΔH relativamente ao

eixo do núcleo e a amplitude é proporcional a $\Delta H / H_D$. A medida do campo magnético externo pode ser degradada se a eletrônica do sensor não produz uma forma de onda fundamental livre da segunda harmônica ou se estão presentes desvios magnéticos residuais do satélite. Uma lista de especificações operacionais para vários magnetômetros *fluxgate* é dada na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações Operacionais para Magnetômetros *fluxgate* fabricados pela *Schonstedt Instrument Company* (1976)

Modelo	Campo (nT)	Eixos	Saída nula (V)	Sensibilidade (mV/nT)	Ortogonalidade	Tensão (V)	Corrente (mA)	Tamanho (cm ³)	Peso (g)
SAM-72C-HR	$\pm 6 \cdot 10^4$	2	$2,5 \pm 0,01$	$41,7/100 \pm 1\%$	$\pm 1^0$ eixo a eixo e eixo a sup. ref.	14 a 34	20	70,5	71
SAM-73C	$\pm 6 \cdot 10^4$	3	$2,5 \pm 0,01$	$41,7/100 \pm 1\%$	$\pm 1^0$ eixo a eixo e eixo a sup. ref.	14 a 34	35	88,0	142
SAM-42C-2	$\pm 1 \cdot 10^4$	2 min	$2,5 \pm 0,025$	$1/3 \pm 1\%$		24 a 33	14	60,3 sen 459 ele	63,8 sen 539 ele
SPM-438-10	± 20	3	2,5			12, 0,-12	Pot. <600 mW	688 sen 1180 ele	408 sen 678 ele
SPM-438-10	± 128 e ± 32	3	$2,5 \pm 2\%$	$2,5/32$ e $2,5/128$	± 15 min. arco	$12 \pm 1\%$	37,5	688 sen 1020 ele	350 sen 850 ele
SPM-61B-1	± 200	1		$2,5/200 \pm 1\%$		$12 \pm 1\%$	Pot. <500 mW	35,2 sen 538 ele	60 sen 500 ele
SAM-63B-1	$\pm 4 \cdot 10^4$ e $\pm 10^4$	1 ou mais		$\pm 4 \cdot 10^4$ nT sobre 4,5 a 0,5 V		14 a 18	40	15,01 sen 287 ele	<90,7 sen <453 ele
SPM-63B-1	± 320 e $\pm 3,2 \cdot 10^3$	3	$2,5 \pm 1\%$	$2,5/320$ e $2,5/3,2 \cdot 10^3$	± 6 min. arco	$12 \pm 1\%$	55	688 sen 1180 ele	460 sen 950 ele
SPM-63B-7	± 600	3		$2,5/2,5 \cdot 10^3$ e $2,5/6 \cdot 10^4$	$\pm 0,25^0$	± 10 e $\pm 15 \pm 1\%$	75	603 sen 660 ele	<453 sen <272 ele
SPM-63B-2	± 200	3	$2,5 \pm 1\%$	40/200	± 15 min. arco	$12 \pm 1\%$	37,5	770 sen 1020 ele	225 sen 850 ele

Outra vasta categoria de magnetômetros são os chamados dispositivos *quânticos*, pois utilizam propriedades fundamentais atômicas para medir a intensidade e direção do campo magnético. Sensores quânticos foram usados para medidas experimentais de campo em várias espaçonaves. Entretanto, devido aos requisitos de peso e potência, não são sensores de atitude apropriados para pequenos satélites.

O mais simples dos dispositivos quânticos é o *magnetômetro de precessão de próton*. Se uma amostra de hidrogênio é colocada num forte campo magnético ela irá exibir um campo magnético fraco após a remoção do campo magnético forte. Além disso, o campo magnético induzido precessará, em torno de um campo magnético externo, \mathbf{H} , com a frequência de Larmor, $\gamma_p |\mathbf{H}|$, onde γ_p é a razão giromagnética (Grivet e Malner, 1967). A medida da frequência de precessão resultante fornece uma medida precisa da intensidade do campo magnético externo. Entretanto, dado que a direção do campo magnético não é disponível, os magnetômetros de precessão de próton não são usados como sensores de atitude.

Um segundo tipo de dispositivo quântico é baseado no fenômeno do *bombeamento óptico* relatado por Dehmelt, 1957. Os magnetômetros baseados bombeamento óptico possuem uma fonte de luz que produz um feixe intenso de radiação

colimada ressonante, um polarizador circular, uma célula de absorção contendo o vapor a ser bombeado opticamente, uma bobina de rádio frequência para produzir a ressonância no vapor bombeado e uma fotocélula para monitorar a transmissão de luz (Bloom, 1962). A medida do campo magnético ambiente, no *magnetômetro de bombeamento óptico*, é uma função complicada da transparência do vapor. Rubídio, césio e hélio são usados como gases a serem bombeados opticamente (Slocum e Reilly, 1963). Os magnetômetros de bombeamento óptico produzem informações de direção e intensidade do campo magnético e são utilizados como magnetômetros de pesquisas. Um magnetômetro de vapor de rubídio com uma faixa de 15000 a 64000 nT e uma sensibilidade de ± 2 nT voou a bordo do satélite OGO-II. Ele pesava 4,4 kg e exigia 8 W de potência para operar, dos quais 6 W eram para a lâmpada somente (Farthing e Folz, 1967). O preço alto e os requisitos de potência normalmente tornam proibitivo o uso desses magnetômetros como instrumentos de atitude.