

Aula 08: Sensores de posição empregados em determinação, navegação e controle de atitude: Sensores de Horizonte. Componentes.

Componentes

A maioria dos sensores de horizonte consiste de quatro componentes básicos:

- um *mecanismo de varredura*;
- um *sistema óptico*;
- um *detector de radiação* e
- uma *eletrônica de processamento de sinais*.

Eles são normalmente classificados pelo método utilizado para varrer a esfera celeste ou *mecanismo de varredura*. Vários métodos são empregados, dos quais o mais simples é fixar rigidamente o sensor no corpo de um satélite que gira. Para esses *sensores de horizonte montados no corpo*, fixados a um determinado ângulo relativamente ao eixo de giro, o FOV é geralmente um pequeno círculo - ou quadrado - de cerca de 2° de diâmetro, se bem que um sensor consistindo de duas fendas em forma de leque, de 1° por 120°, voou nos satélites COS-B e ISEE-2 (Massart, 1974; Wetmore, *et. al.*, 1976). *Sensores de horizonte montados na roda* são similares aos sensores de horizonte montados no corpo, exceto pelo fato de que são montados em uma *roda de inércia (momentum wheel)* de um satélite e a roda, ao invés do satélite, é que propicia o movimento de varredura.

Diferentemente dos sensores de horizonte montados na roda, *Scanwheels*, uma marca registrada da *Ithaco, Inc.*, são sistemas integrados consistindo de uma roda de inércia, um sensor de horizonte e eletrônica que são usados para determinação e controle de atitude. Para satélites, onde o momento angular de um sensor montado na roda ou *Scanwheel* é indesejável pode-se empregar alguns projetos:

- uma torre que gira vagarosamente, tal como o *sensor de atitude panorâmico (PAS)* que voou no IUE e no ISEE-1;
- um espelho rotativo, tal como o *sensor de Terra não-giratório (NESA)* que voou no CTS¹;
- *Scanwheels* opostas ou sensores de horizonte montados na roda com momento angular líquido nulo.

Para qualquer sensor de horizonte, o ângulo de montagem do sensor, γ , é definido como o ângulo entre os eixo de giro e o eixo óptico.

O *sistema óptico* de um sensor de horizonte consiste de um *filtro* para limitar a banda espectral observada e *lentes* para focalizar a imagem do alvo no *detector de radiação*. Os componentes do sistema óptico dependem muito do projeto do sensor. Em muitos casos, *prismas* ou *espelhos* rotativos são incorporados ao sistema óptico para propiciar o mecanismo de varredura. As características de sensibilidade espectral das *Scanwheels* infravermelhas fabricadas pela *Ithaco*, propostas para o SEASAT, estão ilustradas na Fig. 20.

Os *detectores de radiação*, usados para detectar a presença do horizonte, podem ser classificados de acordo com suas regiões de sensibilidade espectral. Um *fotodiodo*, ilustrado na Fig. 21, consiste de uma junção P-N reversamente polarizada. A luz que incide no fotodiodo aumenta o número de elétrons e lacunas na região da junção, aumentando assim, a corrente de fuga, i_F (Ryder, 1967). Os fotodiodos tem um pico de sensibilidade no

¹ O PAS original voou no ERA-2 e também empregou um espelho rotativo.

infravermelho próximo, a cerca de $1,2\mu\text{m}$ para o germânio e $0,8\mu\text{m}$ para o silício. O espectro da luz visível estende-se de $0,4$ até $0,7\mu\text{m}$.

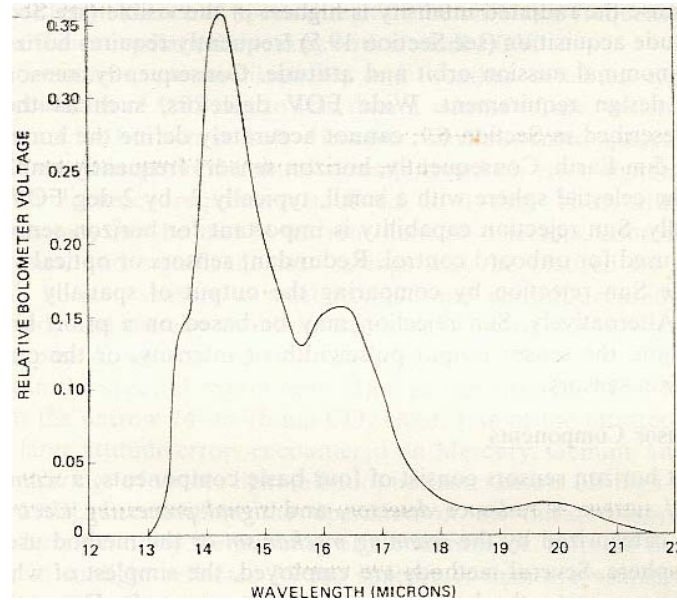


Fig. 20 – Sensibilidade óptica espectral das Scanwheels do SEASAT-A. O sistema óptico inclui uma *janela*, um *prisma óptico* e um *bolômetro* (Cortesia da *Ithaco Corporation*).

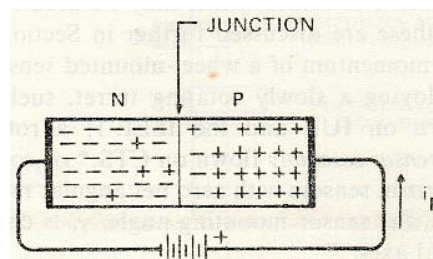


Fig. 21 – Esquema típico para o fotodiodo.

Os detectores que respondem a comprimentos de onda mais longos, de radiação de corpo negro infravermelha, são baseados nos princípios operacionais do *termistor*, *termopar* ou *cristal piroelétrico* (*Barnes Engineering Co.*, 1976). Um *bolômetro* é um termômetro muito sensível a alterações na resistência de um circuito elétrico, ou *termistor*, e é usado para detectar radiação infravermelha. Termistores consistem de conglomerados fundidos, ou *sinterizados*, de manganês, cobalto e óxido de níquel, na forma de placas, bolachas ou pastilhas, tipicamente da ordem de $0,5\text{ mm}$ por $0,5\text{ mm}$ por $10\mu\text{m}$ de espessura, colada a um substrato para dissipar o calor (*heat sink*). A radiação incidente aquece as pastilhas e altera a resistência (tipicamente da ordem de $3,5\%/^{\circ}\text{K}$). A alteração da resistência é convertida para uma tensão que é amplificada. Quando a radiação é removida da pastilha a sua temperatura retorna àquela do *heat sink*, com uma constante de tempo que depende da condutância térmica da cola, entre a pastilha e o substrato. Uma constante de

tempo típica é da ordem de 3 ms. Bolômetros são capazes de sentirem diferenças térmicas de 0,001 °K devido a radiação, independente de alterações na temperatura ambiente quatro ordens de magnitude maiores (Astheimer, 1976). As alterações diminutas na temperatura são observadas modulando a radiação incidente, por exemplo, varrendo o alvo, e, portanto, removendo o efeito das alterações na temperatura ambiente na tensão de saída pelo acoplamento de capacitância para o amplificador.

Um *bolômetro* pode ter uma ou duas bolachas no plano focal do sistema óptico. As duas bolachas de um sistema *dual-flake* detectam radiação originária de diferentes regiões da esfera celeste. Consequentemente, os dois sinais podem ser combinados, num circuito eletrônico AND, para fornecer rejeição solar se a separação entre as bolachas é tal que o Sol não pode ser visto pelas duas bolachas simultaneamente. Os termistores geralmente são *imersos* numa lente de germânio transparente a radiação infravermelha, para aumentar a intensidade de radiação no termistor.

Uma *termopilha* consiste de uma cadeia de junções termopares conectadas em série. Cada termopar consiste de uma junção quente e de uma junção fria. As junções quentes são isoladas de um *heat sink* (sumidouro de calor) e cobertas com um agente de enegrecimento para reduzir reflexão. As junções frias são conectadas diretamente a um *heat sink*. Quando exposta à radiação infravermelha, a junção quente é aquecida e fornece uma tensão de saída mensurável. As junções termopares normalmente utilizadas são bismuto e antimônio. Detectores termopilhas são simples, requerem mínima eletrônica e não possuem partes móveis. Entretanto, padecem de resposta lenta e são usados apenas em sistemas que não fazem varredura.

Os *detectores piroelétricos* consistem de uma placa fina de cristal, como sulfato de triglicina, ensanduichada entre dois eletrodos. A radiação incidente aumenta a temperatura do cristal e causa uma polarização espontânea das cargas no material, resultando numa diferença de potencial entre os eletrodos, que pode ser medida. Os detectores piroelétricos podem ser utilizados em sistemas de varredura porque são rápidos e tem uma alta relação sinal/ruído sem ruído de baixa frequência.

A saída de um sensor de horizonte de varredura é a medida do tempo entre a passagem por uma direção de referência e o pulso eletrônico gerado quando a saída do detector de radiancia atinge o - ou cai abaixo do - nível selecionado de limiar. A direção de referência, para um sensor montado no corpo, é geralmente um pulso solar de um sensor em separado, enquanto que, para sensores montados na roda, é típico a utilização de um *pick-off* magnético fixado no corpo. Se a saída do detector aumenta ao cruzar o limiar, o pulso corresponde a uma transição escuro-claro, ou aquisição de sinal (AOS – *Acquisition of signal*). Se a saída do detector decresce ao cruzar o limiar, o pulso corresponde a uma transição claro-escuro, ou perda de sinal (LOS – *Loss of signal*). Os pulsos AOS e LOS também são chamados de cruzamentos de entrada/saída ou limiar de entrada/saída.

Vários sistemas eletrônicos fornecem o tempo entre a passagem pela referência e a passagem pelo limiar de entrada ($t_I \equiv t_{AOS} - t_{REF}$), o tempo entre a passagem pela referência e a passagem pelo limiar de saída ($t_O \equiv t_{LOS} - t_{REF}$), a *corda terrestre* ($t_W \equiv t_{LOS} - t_{AOS}$) e o tempo médio entre a entrada e a saída de limiar ($t_M \equiv (t_{LOS} + t_{AOS})/2 - t_{REF}$). A porcentagem do tempo de varredura em que a radiancia permanece acima do limiar é o *ciclo de trabalho*. A Figura 22 ilustra as saídas possíveis. O

conhecimento da velocidade de varredura ou do ciclo de trabalho permite a conversão do tempo para ângulo de varredura, a bordo ou em Terra.

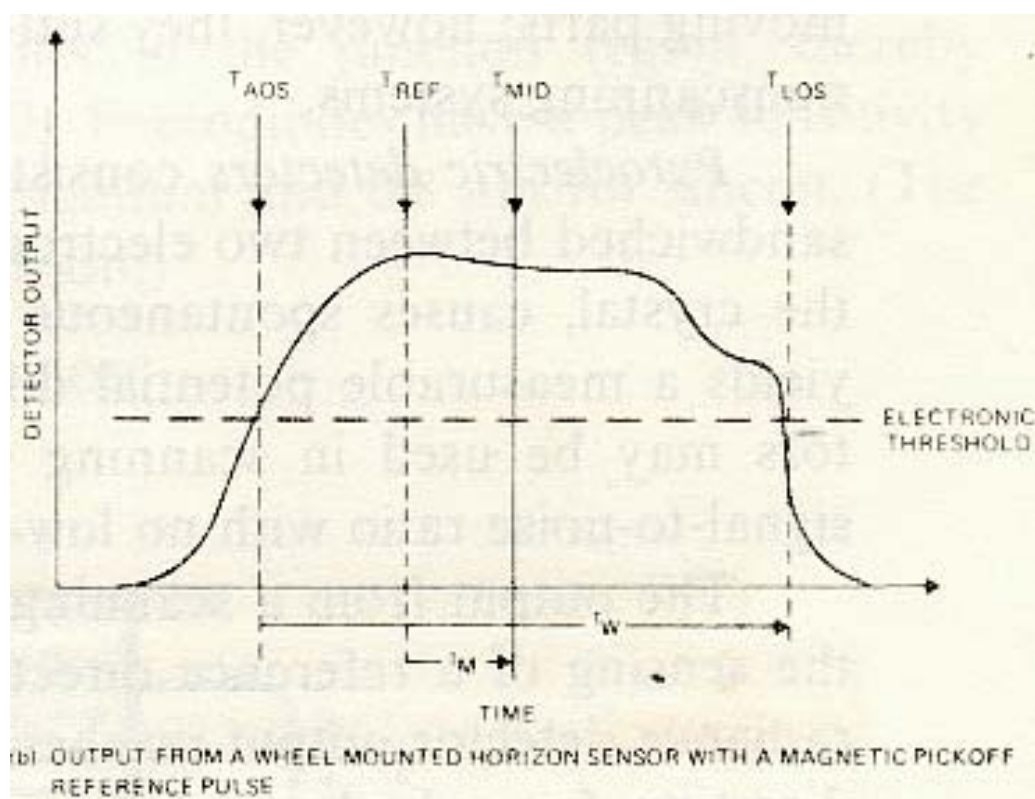
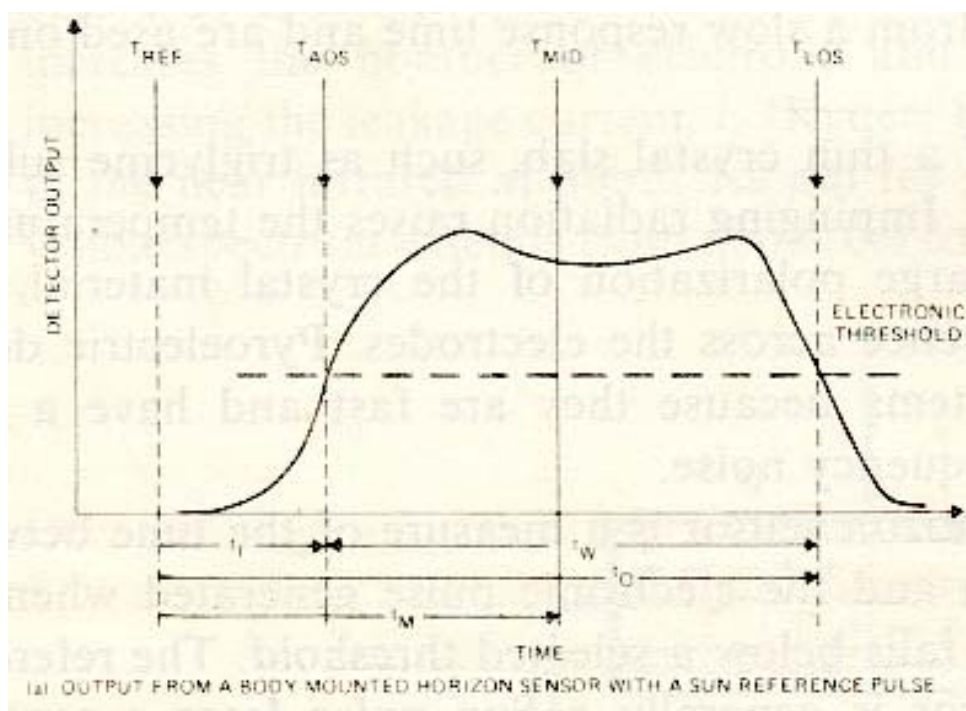


Fig. 22 – Sinais de saída da varredura de sensores de horizonte.

Os tempos de cruzamento dependem do campo de visada, do perfil de radiancia do corpo que está sendo varrido, da *função de transferência* e do *localizador*. A função de transferência relaciona o pulso de radiação incidente no detector com a saída da eletrônica do sensor de horizonte. A função de transferência inclui o tempo de resposta térmico do detector e as constantes de tempo relacionadas com a amplificação e a formatação do pulso. De um modo geral, os sensores são projetados e calibrados de forma que a saída do sistema pode ser usada diretamente para controle e determinação de atitude, dentro de uma dada precisão e sob condições normais. A técnica eletrônica para determinar o limiar de detecção do horizonte, chamado *localizador*, pode afetar significativamente a precisão total do sistema. Muitos *localizadores* tem sido estudados (Thomas, 1967) e dois são bastante utilizados: o *localizador de limiar fixo* especifica a saída do detector observada, a qual define o horizonte; o *localizador de porcentagem fixa de saída máxima* ou *localizador normalizado* redefine o limiar para cada período de varredura como sendo uma porcentagem fixa da máxima saída encontrada num período de varredura anterior. Melhores resultados são obtidos com localizador de limiar normalizado porque é menos sensível a variações geográficas e sazonais na radiancia. Um localizador ligeiramente modificado foi proposto para o SEASAT, definindo o limiar como sendo 40% da média da saída observada do detector, sobre a Terra, entre 5° e 11° do horizonte localizado. Os limiares para AOS e LOS são determinados independentemente.