

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

ANÁLISE DE MANOBRAS ORBITAIS NÃO IDEAIS COM PROPULSÃO A PLASMA

Estácio Pimentel Ximenes Neto¹; Antônio Delson C. de Jesus²

1. Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: estacio.pxn@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: ald1j1@gmail.com

PALAVRA-CHAVE: Plasma, Propulsão, Desvios

INTRODUÇÃO

A dinâmica de veículos espaciais (foguetes, satélites, sondas, ônibus espaciais, etc.) pode ser estudada a partir da atuação da força de empuxo. Esta força é produzida por um artefato tecnológico que chamamos de propulsor e os veículos espaciais são dotados de um sistema de propulsão que varia em complexidade. Este fato está associado à demanda das missões espaciais com suas especificidades. Geralmente, a propulsão a combustíveis sólidos é de alto custo e ainda ocupa espaço importante no corpo dos veículos espaciais. Este tipo de propulsão ainda é o mais eficiente para a implementação da velocidade de escape da Terra. Durante a realização das manobras espaciais e suas respectivas correções torna-se desejável um sistema de propulsão, no qual se possa maximizar a carga útil e se minimizar o consumo de combustível. A propulsão a plasma (ou mesmo elétrica (Martinez e Pollard, 1998)) é atualmente um dos mecanismos de propulsão mais eficientes para manobras de precisão nas atividades espaciais e vem sendo estudada desde os últimos 50 anos (Choueiri, 2004). Além disso, esta propulsão é considerada ótima do ponto de vista de consumo eficiente do combustível. Outras vantagens podem também ser apontadas no uso deste tipo de propulsão, por exemplo, no aumento considerável da carga útil do veículo espacial devido ao uso reduzido de massa do combustível. É uma propulsão de baixa potência (Ferreira et al, 2009) comparada com a produzida pelo combustível sólido (na faixa de 0,1 a 0,5 N), no entanto, apresenta impulso específico (por unidade massa) alto. Os primeiros resultados brasileiros de um desenvolvimento de um propulsor a plasma movido a efeito hall foram apresentados por pesquisadores da UNB (Ferreira e Ferreira, 2003). Neste trabalho, investigamos manobras não ideais do ponto de vista do sistema propulsor, atribuindo-se desvios no vetor empuxo (Jesus, 1999), para valores dentro desta faixa da propulsão a plasma.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo seguiu os seguintes passos: 1) Dedução de equações e discussão da dinâmica de propulsores a plasma do tipo hall de ímãs permanentes, pré-existentes; 2) Dedução e discussão da dinâmica de transferência orbital sujeita a desvios no vetor empuxo, produzido por um propulsor não ideal; 3) estabelecimento de uma equivalência entre as forças de um propulsor não ideal e a do sistema propulsor a plasma.

RESULTADOS

Os desvios no vetor empuxo devido à não idealidade do sistema propulsor podem ser de dois tipos: 1) aqueles na magnitude da força e; 2) aqueles na direção da força. Os desvios na)ângulo de “pitch”) e/ou fora do plano da órbita (ângulo de “yaw”). As expressões algébricas que relacionam os desvios nestes ângulos com os desvios nas coordenadas cartesianas da órbita são:

$$\overline{\Delta y} \cong \left(\sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{l+n+2} (\Delta\beta_{\max})^{2(n-1)} (\Delta\alpha_{\max})^{2(l-1)}}{(2n-1)!(2l-1)!} - 1 \right) P_1(t) \quad (1)$$

$$\overline{\Delta x} \cong \left(\sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{l+n+2} (\Delta\beta_{\max})^{2(n-1)} (\Delta\alpha_{\max})^{2(l-1)}}{(2n-1)!(2l-1)!} - 1 \right) P_2(t) \quad (2)$$

$$\overline{\Delta z} \cong \sum_{l=2}^{\infty} \frac{(-1)^{l+1} (\Delta\beta_{\max})^{2(l-1)}}{(2l-1)!} P_3(t) \quad (3)$$

As funções $P_i(t)$, ($i=1, \dots, 3$) são funções que aparecem devido à variação da massa do veículo espacial. O lado direito destas equações mostram a variação nas coordenadas x, y e z da órbita do veículo espacial, devidas à não idealidade dos propulsores, representada pelos desvios nos ângulos no plano ($\Delta\alpha$) e fora do plano ($\Delta\beta$) da órbita, respectivamente. Claramente vemos das equações acima que a variação na massa do combustível interfere na precisão da órbita, portanto, no posicionamento e na missão a ser executada pelo veículo espacial. As forças que foram levadas em consideração nesta dinâmica foram a força gravitacional e a força devida aos propulsores (força empuxo) e estas equações mostram o efeito da propagação do erro de uma força propulsora não ideal. A força empuxo, escrita em função dos parâmetros de um propulsor a plasma é dada por:

$$T = \frac{I_b}{Aqn} \left(\frac{dm}{dt} \right) \quad (4)$$

Nesta equação aparecem a área total do canal de aceleração do empuxo (A), a carga elétrica (q), a densidade de carga na corrente (n), a corrente do feixe de plasma (I_b) e a variação da massa no tempo (dm/dt). Os resultados obtidos nesta investigação apontam para uma equivalência direta entre os elementos que definem a força de plasma com os desvios do vetor empuxo, devido a sua baixa magnitude.

CONCLUSÃO

Concluimos dizendo que a força de propulsão a plasma é comparável com a propulsão comum em dois níveis: 1) aos desvios em direção no e fora do plano da órbita e; 2) à

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

magnitude da força devido aos propulsores a combustíveis sólidos, quando estas são muito pequenas. Baseados nisto, estabelecemos limites de aplicabilidade para propulsores a plasma.

REFERÊNCIAS

CHOUERI, E. Y. A Critical History of Electronic Propulsion: The First 50 Years (1906-1956). *Journal of Propulsion and Power*, vol. 20, n. 2, March-April 2004.

FERREIRA, J. L., FERREIRA, I., Sukhanov, A., Mourão, D. C., winter, O. C., Moraes B. S., Pôssa, G. C. Low Thrust Propulsion Technologies using Plasma Thrusters for Solar system small bodies exploration. *Proceedings IAU Symposium No, 263, 2009.*

FERREIRA, I. S., FERREIRA, J. L. Primeiros Resultados do Desenvolvimento de um Propulsor à Plasma por Efeito Hall. *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, vol. 22, No. 2, PP. 58-62, 2003.

JESUS, A. D. C. Análise Estatística de Manobras Orbitais com Propulsão Contínua sujeita a erros no vetor empuxo. São José dos Campos, SP, Brasil, *Tese de Doutorado* - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (1999)(INPE-7504-TDI/719).

MARTINEZ-SANCHEZ, M, POLLARD, J. E. Spacecraft Electric Propulsion: An Overview. *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 14, No. 5, September-October, 1998.