

TESTES ELÉTRICO FUNCIONAIS DO TRANSPONDER DE COLETA DE DADOS PARA NANO-SATELITE DO SBCDA

ANA C. S. OURIQUE¹, JOSÉ M. L. DUARTE¹, MANOEL J. M. CARVALHO¹, JOÃO C. P. RAE¹,
RAFAEL M. ARAÚJO¹, FELIPE D. SILVA^{1,2}.

*1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal130, Natal, RN – CEP: 59001-970.*

*E-mails: jmarcelo@crn.inpe.br, manoel@crn.inpe.br, jcprae@crn.inpe.br, anacouriques@crn2.inpe.br,
rafaelma@crn2.inpe.br*

*2. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Caixa Postal1524, Campus Universitário, Natal, RN – CEP: 59078-970
E-mails: felipe.dantas@crn.inpe.br*

Abstract. SBCDA (Brazilian System of Environmental Data Collection) is responsible for collecting environmental data to be processed, stored and transmitted in real time to its users. This is possible through a set of Satellites, Data Collection Network and Mission / Reception Centers. In order to contribute to this system, the CONASAT Project was created, which conceived a mission with nanosatellites in the CubeSat standard to serve the SBCDA. The equipment that communicates between the Data Collection Network and the Reception Centers is the DCS Transponder. This article presents the Electrical and Functional Test Plan of the DCS Transponder that will be used by CONASAT's CubeSats along with the results of these tests. The Verification and Test Plan shall ensure that the DCS Transponder meets the Design Requirements defined in the Product Specification. In addition to the description of the tests, the main results are presented.

Palavras-chave: Transponder, Nanosatellite, SBCDA, Data Collection, CONASAT, CubeSat.

1. Introdução

Atualmente o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) é composto pelos satélites SCD1, SCD2 e CBERS4, pela rede de cerca de 800 Plataformas de Coleta de Dados (PCD), instaladas no território brasileiro, pelos Centros de Recepção, localizados em Cuiabá-MT e Alcântara-MA, e pelo Centro de Missão em Natal-RN. Este sistema tem como objetivo coletar dados ambientais, processá-los, armazená-los e transmiti-los para os usuários, em tempo real. Com estes dados os usuários podem realizar previsões do tempo, estudar as correntes oceânicas, realizar planejamento agrícola, rastrear embarcações, entre outras aplicações [1].

Para dar continuidade ao SBCDA é necessário o desenvolvimento de novos satélites para compor o segmento espacial. Neste contexto, o INPE desenvolveu o projeto CONASAT, que concebeu uma missão baseada no uso de nanosatélites utilizando novas tecnologias de telecomunicações e processamento digital de sinais, contribuindo para a continuidade do sistema e para a formação, qualificação e capacitação de recursos humanos em áreas estratégicas do setor espacial brasileiro. Entre outras utilidades cada nanosatélite CONASAT deve receber sinais transmitidos pelas PCDs, em UHF, através de um equipamento denominado Transponder [2] que os retransmite na Banda-S às estações de recepção de coleta de dados do INPE, para em seguida enviar a informação ao centro de recepção para processamento, armazenamento e distribuição dos dados.

Para o projeto CONASAT foi desenvolvido o Transponder DCS (Figura 1). O presente artigo é focado na validação do Modelo de Engenharia, mais especificamente no plano de testes elétricos funcionais aos quais o Transponder DCS foi submetido e seus principais resultados. Os testes elétricos funcionais devem evidenciar a capacidade do sistema de atender as especificações [3,4] de funcionamento. Isto inclui verificar a qualidade do sinal, o consumo de energia, a robustez contra interferências, as interferências geradas e o funcionamento das telemetrias e telecomandos.

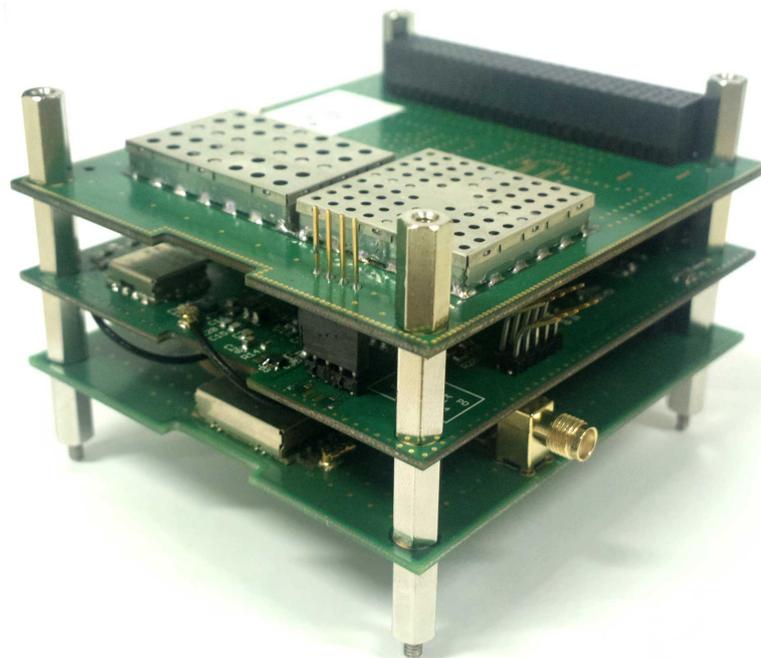


Figura 1. Foto do Transponder DCS.

2. Estrutura Básica do Transponder DCS

Os Sinais das PCDs, que chegam ao nanossatélite através de uma antena UHF, entram no Estágio de Entrada do Transponder DCS, onde são filtrados, amplificados e entregues ao Estágio Processador Digital. Neste estágio, o Conjunto dos Sinais das PCDs é convertido para Banda-Base e digitalizado; em seguida, o conjunto modula em fase, digitalmente, com índice de modulação constante, uma portadora. Este Sinal Modulado é então entregue ao Estágio de Saída, onde é convertido em um sinal analógico, filtrado, rebatido para a Frequência de 2,26756 GHz, para envio à antena de Banda-S e transmissão às Estações de Recepção Terrenas. A Figura 2 apresenta a estrutura do Transponder DCS.

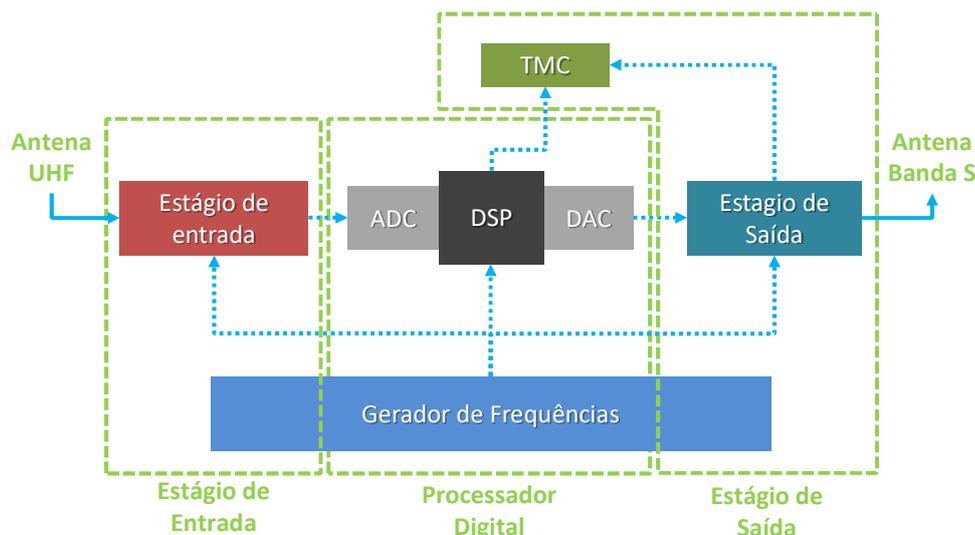


Figura 2. Diagrama de blocos geral do Transponder DCS.

3. Testes Elétricos Funcionais

Objetivam verificar a concordância do desempenho do Transponder DCS com o especificado em projeto. É dividido em duas partes: **A** e **B**.

Os testes elétricos funcionais tipo **A** são responsáveis por conferir todos os aspectos especificados no pré-projeto e identificar variações no funcionamento. Neste devem ser realizados testes de:

- Corrente de surto: Medição dos pulsos de corrente requeridos pelo Transponder DCS no momento da energização.
- Consumo de potência: Medição do consumo de potência DC do Transponder DCS para a condição de estágio de saída ligado e desligado.
- Potência de saída: Medição da potência de saída do Estágio de saída DCS.
- Frequência e banda de saída: Medição da frequência e banda de saída com e sem a presença de sinal RF de entrada. Espúrios e harmônicos são verificados no intervalo de 100 MHz a 5GHz.
- Distorção IQ: Medição da distorção IQ do modulador em quadratura do Estágio de saída.
- Índice de modulação: Medição do índice de modulação em fase do sinal de saída, com sinal de entrada RF forte (-98dBm) e um fraco (-128dBm).
- Susceptibilidade: Medição, e verificação de alterações, da banda e saída e do índice de modulação aplicando uma série de frequências aleatórias na entrada.
- Ripple: Medição da variação do ganho do Transponder DCS relacionado à frequência de entrada.
- Linearidade: Medição dos produtos de intermodulação gerados no intervalo de frequência de funcionamento do Transponder DCS.
- Figura de ruído: Estimativa da relação entre o sinal e o ruído do estágio de entrada do Transponder DCS.

- Telemetria da amostragem do ADC: Verificação do funcionamento correto da telemetria feita pelo EGSE (*Electrical Ground Support Equipment*). Verifica-se a presença ou não de espúrios na DFT do sinal amostrado.
- Telemetria do Nível de Saída e temperatura do Estágio de saída: Verificação das telemetrias de potência do sinal de saída, temperatura do estágio de saída e telecomando de redução de potência transmitida através do EGSE.

Os testes elétricos funcionais tipo B são mais brandos e analisam apenas aspectos gerais de funcionamento. São responsáveis pela verificação do funcionamento do Transponder DCS após algumas fases dos testes ambientais. Neste devem ser realizados testes de:

- Medição da potência do sinal de saída do estágio de entrada;
- Medição da potência dos sinais chave do Processador Digital (saídas de osciladores e sinal IQ);
- Medição da potência do sinal de saída do Estágio de saída;
- Medição do consumo de potência DC do Transponder DCS para condição de estágio de saída ligado.

4. Principais Resultados

A Tabela 1 inclui os principais resultados obtidos nos testes elétricos funcionais do transponder DCS. Os testes foram realizados sob temperatura $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$. Em todas as medições, as perdas dos cabos, conectores e *couplers* utilizados na entrada do Transponder DCS foram compensadas no nível do gerador utilizado.

Tabela 1. Especificações e resultados obtidos nos testes elétricos funcionais para Transponder DCS.

Parâmetro	Especificado	Medido
Tempo de ligamento	< 10 s	≈ 3,6 s
Consumo de Potência (Pós estabilização)	TBD	4,5W
Frequência e Banda de Saída	2267,52 MHz ± 625 kHz	2267,52 MHz ± 625 kHz
Potência de Saída - Saída do Receptor	>-47,5 dBm ± 1 dB	-47 dBm
- Saída do Transmissor	26 dBm ± 2 dB	25.41 dBm ± 1,5 dB
Distorção IQ - Vazamento do LO (<i>Local Oscillator</i>)	< -20 dBc	- 20,30 dBc
- Distorção de Fase e Amplitude, e realimentação da portadora	< -20 dBc	-24,01 dBc

Índice de Modulação - 401.605 MHz, -98 dBm - 401.635 MHz, -98 dBm - 401.665 MHz, -98 dBm - 401.605 MHz, -128 dBm - 401.635 MHz, -128 dBm - 401.665 MHz, -128 dBm	(1,6 a 2,0) rad	≈ 1,72
	(1,6 a 2,0) rad	≈ 1,66
	(1,6 a 2,0) rad	≈ 1,65
	(1,6 a 2,0) rad	≈ 1,64
	(1,6 a 2,0) rad	≈ 1,78
	(1,6 a 2,0) rad	≈ 1,94
Linearidade - 401.605 MHz, -100 dBm - 401.640 MHz, -100 dBm - 401.665 MHz, -100 dBm	< -30 dB	-36,41 dB
	< -30 dB	-31,9 dB
	< -30 dB	-36,54 dB
Ripple	< 2 dB pico-a-pico	1.61 dB
Figura de ruído - 401.605 MHz, -98 dBm - 401.635 MHz, -98 dBm - 401.665 MHz, -98 dBm	< 4 dB	3,211
	< 4 dB	2.371
	< 4 dB	1,604
Susceptibilidade - Entrada 10 MHz a 400MHz, -80 dBm - Entrada 400 MHz a 500 MHz, -70 dBm - Entrada 500 MHz a 1400 MHz, -80 dBm - Entrada 1400 MHz a 2400 MHz, -80 dBm	(1,6 a 2,0) rad	OK
	(1,6 a 2,0) rad	OK
	(1,6 a 2,0) rad	OK
	(1,6 a 2,0) rad	OK
Ponto de Saturação do Receptor	> - 90 dBm	- 87,24 dBm
Telemetria da Amostragem do ADC	-	OK
Telemetria do Nível de Saída e Temperatura do Transmissor	-	OK

A Tabela 2 apresenta o quadro comparativo entre alguns parâmetros do Transponder DCS para CubeSat e do Transponder DCS dos satélites CEBERS [7].

Tabela 2. Comparativo Transponder do CEBERS e Transponder DCS para CONASAT.

Parâmetro	Transponder CBERS	Transponder DCS
<i>Ripple</i>	2dB	1.61 dB
Distorção IQ - Vazamento do Lo - Distorção de Fase e Amplitude, e realimentação da portadora	<-40dBc	<- 20,00 dBc
	<-40dBc	<-20,00 dBc
Consumo de Potência	18,2W	4,5W

5. Conclusões

O transponder DCS foi desenvolvido buscando compor o projeto CONASAT, visando melhorar o desempenho do Sistema de Coleta de dados Ambientais. O procedimento de testes proposto permite o desenvolvimento de estudos e mapeamento de falhas, visando garantir que o modelo final atenda as expectativas do projeto permitindo que o mesmo seja carga útil de uma grande quantidade de satélites, não se limitando apenas ao projeto CONASAT. Os resultados dos testes evidenciam a viabilidade da utilização deste equipamento em questões não apenas de economia, mas de qualidade de sinal.

6. Agradecimentos

Pelo auxílio financeiro, material e intelectual que auxilia na criação de produto tecnológico significativo para o Brasil, permitindo ao INPE oferecer este avanço tecnológico para a sociedade:

- ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação;
- a Agência Espacial Brasileira;
- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; e
- a Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

7. Referências

- [1]Tude, E. A. P. et al. Análise do Sistema de Coleta de Dados MECB/SS, São José dos Campos, 96 p. [INPE-3820-NTE/253]. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.
- [2]Ippolito Jr, I. J., Satellite communications systems engineering: atmospheric effects, satellite link design, and system performance. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 376 p.
- [3]ESPECIFICAÇÃO DO TRANSPONDER DIGITAL. **CNS-SPC-PY-07-001 -V1.1.** Brasil, 2014
- [4]DESCRIÇÃO DO TRANSPONDER DIGITAL. **CNS-DDD-PY-07-001 -V1 .1** Brasil, 2014.
- [5]EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering testing.** Noordwijk, 2012. (ECSS-E-ST-10-03C).



[6]EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Electromagnetic compatibility**. Noordwijk, 2012. (ECSS-E-ST-20-07C_REV-1_07FEB2012).

[7]SUBSISTEMA DE COLETA DE DADOS. **OMNISYS grupo Thales**. Brasil, 2010.
(Em: http://www.omnisys.com.br/prod_dcs.asp).