

# Plano de Integração para Equipamentos com Barramento MIL-STD-1553

Laerte Jeronimo de Oliveira e Luís Gonzaga Trabasso,

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Departamento de Mecânica – Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – São José dos Campos – SP – CEP 12228-900

**Resumo** — Equipamentos com interface MIL-STD-1553 estão sendo cada vez mais utilizados para aproveitar as suas características de flexibilidade, conectividade e facilidade de integração. Porém, a integração de sistemas complexos nunca é um processo simples a ser realizado. A elaboração de um Plano de Integração é um dos primeiros passos a ser seguido para se ter uma integração bem sucedida. A verificação da interface MIL-STD-1553 deve ser considerada neste Plano. Este artigo apresenta um roteiro para a preparação desta parte do plano, os equipamentos de teste necessários e as características elétricas que devem ser verificadas.

**Palavras-Chave** — integração, barramento MIL-STD-1553, plano de integração.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização do barramento MIL-STD-1553 em sistemas militares vem se institucionalizando desde a década de 70, após a publicação desta norma pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD – *Department of Defense*), para solucionar os problemas encontrados no desenvolvimento de sistemas devido a sua maior complexidade e conectividade.

Dentre as vantagens, que explicam a disseminação deste barramento, está a sua flexibilidade para a implementação de uma arquitetura federada. A redução de peso e volume em relação a uma cablagem de arquitetura ponto a ponto a torna atrativa nas aplicações aeronáuticas. Além disso, este tipo de barramento facilita a integração de sistemas, bem como favorece a sua modernização.

Porém, para que a integração seja bem sucedida, deve-se escolher uma estratégia coerente e bem planejada, definindo a sequência de atividades e garantindo os recursos necessários para a sua execução. Estes pontos podem ser encontrados no Plano de Integração. O Plano de Integração deve incluir a verificação das capacidades do sistema, incluindo os testes de interface dos equipamentos com o barramento MIL-STD-1553, com a relevância apropriada.

A literatura sobre a norma MIL-STD 1553 foi primeiramente constituída dos manuais dos usuários dos fabricantes pioneiros em ofertar os dispositivos para implementação do barramento. Além de dados técnicos referentes aos produtos, estes manuais incluíam orientações e recomendações para o projeto correto, bem como listas de problemas mais comuns e de como resolvê-los.

L. J. Oliveira, laertejoliveira@uol.com.br, tel +55-12- 981119182, L. G. Trabasso, gonzaga@ita.br, tel +55-12 – 39475871

Os testes necessários para comprovar a aderência a norma são descritos no Handbook [1] e encontra-se poucos trabalhos publicados recentemente sobre como implementar a norma.

A integração de sistemas tem sido considerada como uma atividade complexa e problemática [2], mas tem atraído pouca atenção de pesquisadores [3]. O planejamento desta atividade pode evitar a maior parte dos problemas identificados em outros projetos [2].

Este artigo conjuga estes dois temas propondo alguns pontos a serem considerados em um plano de integração para os equipamentos que possuem interface com um barramento MIL-STD-1553.

Além desta introdução, este artigo é constituído de 2 outras seções.

Na seção II são apresentadas as características da camada física, dos componentes típicos, da arquitetura e das mensagens do protocolo MIL-STD-1553.

Na seção III é discorrido sobre o plano de integração e as fases pertinentes à integração do barramento MIL-STD 1553.

## II. MIL-STD-1553

O aumento da capacidade computacional das últimas décadas possibilitou a transferência de diversas funções, anteriormente realizadas por equipamentos eletromecânicos ou analógicos, para a tecnologia digital [4], desencadeando o uso, cada vez mais, de novos equipamentos eletrônicos. Esta transferência funcional acarretou a necessidade de haver uma maior troca de informação entre estes novos componentes. A comunicação ponto a ponto logo se mostrou desvantajosa em termos de flexibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e expansibilidade. A solução para estes problemas foi a implementação de barramentos de dados digitais. Especificamente para aplicações militares, o DoD publicou, em 1973, a norma militar MIL-STD-1553, definindo as características mecânicas, elétricas e funcionais de um barramento de dados digital serial, multiplexado no tempo, do tipo comando / resposta. Em 1978, a Norma foi revisada e emitida a sua versão B [5].

O barramento foi primeiramente usado no avião de caça F-16 Falcon. Outros projetos de aeronaves rapidamente se seguiram, totalizando mais de 40 aplicações incluindo os caças mais avançados como F-22, F-35, Rafale e o Saab JAS 39 Gripen. O russo MiG-35 também utiliza um barramento similar ao MIL-STD-1553. No Brasil, as aeronaves da Embraer AM-X, Super Tucano e KC-390 também utilizam este barramento.

Alguns veículos militares terrestres, como tanques, também foram projetados para instalar o barramento MIL-STD-1553, bem como módulos da Estação Espacial.

### CAMADA FÍSICA

O barramento é caracterizado por um par de fios trançados, com não menos de 4 voltas a cada 33 cm, e blindados com impedância de 70 a 85 Ω com uma onda senoidal à frequência de 1 MHz. O código Manchester II é usado para transmitir o *clock* e dados no mesmo par de fios, eliminando o componente DC no sinal (que não pode passar pelo transformador de acoplamento). A taxa de transmissão é de 1.0 megabit por segundo (1 bit por μs). A precisão e a estabilidade de longo termo da taxa de transmissão são de ±0.1%; e a estabilidade de curto termo é de ±0.01%. A voltagem pico-a-pico do transmissor é de 18–27 Vpp [5]. Estas características são válidas tanto para o barramento principal quanto para os *stubs*, que conectam o barramento principal aos componentes do sistema.

A MIL-STD-1553 define três tipos de terminais, isto é equipamentos, que podem ser ligados ao barramento: Controlador de Barramento (BC – *Bus Controller*); Terminais Remotos (RT – *Remote Terminal*) e Monitores de Barramento (BM – *Bus Monitor*).

A Fig. 1 mostra como estes componentes podem ser conectados ao barramento através de transformadores de acoplamento. É importante notar também que o barramento principal possui nos seus extremos um Terminal (*Terminator*) de 78 Ohms, para reduzir os ruídos devido a reflexões encontradas quando existem descontinuidade de impedância [1].

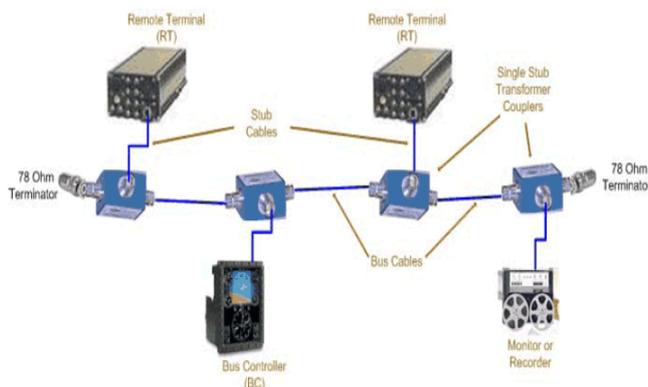


Fig.1 Exemplo de Configuração de Barramentos 1553. Fonte [6]

A norma MIL-STD-1553 permite a conexão de até 31 componentes no barramento.

O barramento pode ter uma redundância dupla ou tripla usando-se vários pares de fios independentes, e os dispositivos podem estar conectados a alguns ou a todos os barramentos.

### PROTOCOLO DO BARRAMENTO

O Controlador de Barramento (BC – *Bus Controller*) controla a transmissão de dados de e para múltiplos

Terminais Remotos (RT – *Remote Terminal*) de um modo Mestre – Escravo. Isto significa que, durante as transferências de dados, todas as comunicações são iniciadas pelo BC. Um RT não pode começar uma transmissão por si mesmo, se não tiver sido comandado, e não pode receber dados se o BC não tiver indicado que ele é o receptor dos dados a serem enviados. Em caso de falha do BC, um RT pode assumir o controle do barramento, mas não podem existir dois controladores de barramento atuando ao mesmo tempo. Pode também haver um ou mais Monitores de Barramento (BM – *Bus Monitor*); contudo, BMs não transmitem dados, e são normalmente usados para capturar ou gravar os dados do barramento para análise. Os RTs são todos os outros equipamentos conectados ao barramento. Estes equipamentos possuem um módulo de interface MIL-STD-1553, constituída por um transceptor, um codificador/decodificador, uma memória temporária e a lógica necessária para se comunicar com o BC.

A Fig. 2 exibe a arquitetura típica do caça F-16 com emprego de Barramentos MIL-STD-1553/B.

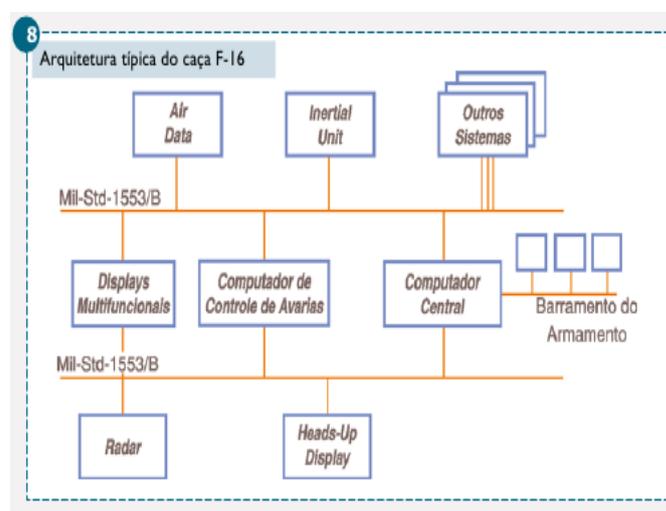


Fig. 2. F-16 MIL-STD-1553. Fonte [7].

A norma define três tipos de palavras que podem circular no barramento:

- Comando;
- Dados;
- Status.

Cada palavra tem 20 bits, dos quais os três primeiros são bits de sincronismo, o último de paridade e os restantes 16 bits contém a informação a ser transmitida.

A palavra de Comando especifica qual RT, através dos bits de endereço e sub-endereço, deve transmitir ou receber dados (dependendo do valor do bit 9), e quantas palavras receberá ou transmitirá (de uma até 32 palavras). Também poderá ser utilizada para permitir o gerenciamento do barramento pelo BC ou para a recuperação e manuseio de erros, através de palavras que são denominadas *Mode Codes*.

A palavra de Dados contém a mensagem a ser compartilhada. Tanto o BC quanto o RT podem enviar dados.

A palavra de Status é utilizada para que o RT confirme o recebimento de uma mensagem válida.

A fig. 3 mostra a forma de onda elétrica típica para uma mensagem de dados do RT para o BC.



Fig.3 RT Sinal Elétrico Típico do RT para o BC [8].

### III. PLANO DE INTEGRAÇÃO

A crescente utilização de equipamentos eletrônicos digitais resultou também em um aumento de complexidade nos sistemas associados. A solução para o desenvolvimento destes sistemas complexos é a sua decomposição em vários subsistemas com funcionalidades específicas. Como consequência, esta decomposição cria a necessidade de integrar-se estes subsistemas para ter-se o todo. A integração, portanto, torna-se uma atividade importante para se conseguir as funcionalidades requeridas na concepção do sistema. Observa-se, entretanto, que muitos pesquisadores, ainda que associados a uma organização preocupada com o aprimoramento de processos, não dispensam a devida atenção ao tema integração [3].

Muitos problemas surgem nesta fase do desenvolvimento, que podem ser tanto técnicos quanto gerenciais, quais sejam:

- Gestão de configuração inadequada;
- Estabelecimento de estratégia de testes inadequada;
- Organização e atribuição de responsabilidades inadequadas;
- Inter-relações deficientes no ambiente de integração durante o desenvolvimento do projeto;
- Estratégia de testes e plano de integração não desenvolvidos nos tempos corretos;
- Ferramentas de testes e infraestrutura de testes não disponíveis para testes do sistema;
- Tempo insuficiente para os testes;
- Independência existente entre o desenvolvimento de requisitos e os processos de desenvolvimento de software;

- Falhas de interface devido a uma inadequada comunicação entre as equipes de desenvolvimento;
- Falta de maturidade dos processos;
- Requisitos incompletos;
- Atraso no desenvolvimento do software do ambiente de testes;
- Ferramentas de testes deficientes no nível de subsistema;
- Falta de padronização dos dados de engenharia;
- Desenho do projeto deficiente.

Mais de 50% de todas as falhas do sistema podem ser rastreadas até as especificações de requisitos [9].

Examinando as causas raízes, observou-se que as falhas funcionais foram predominantemente causadas por erros em compreender e aplicar os requisitos enquanto falhas de interface resultaram principalmente de uma inadequada comunicação entre as equipes de desenvolvimento (em vez de dentro de equipes individuais) [10].

Para minimizar estes problemas, propõem a adoção de um Plano de Integração que deve ser elaborado no início do desenvolvimento do projeto. Considerando como ponto de partida os requisitos e uma ferramenta eficaz de comunicação.

O Plano de Integração deve contemplar os seguintes tópicos:

1. Escolha da estratégia de integração;
2. Definição dos processos de Engenharia de Sistemas aplicados à integração;
3. Identificação das atividades de integração dos componentes e dos sistemas;
4. Elaboração da Matriz de Interfaces dos Componentes e dos Sistemas;
5. Definição da sequência de integração;
6. Identificação do responsável para cada atividade;
7. Identificação dos recursos necessários;
8. Cronograma a ser cumprido;
9. Análise de caminho crítico da integração;
10. Procedimentos a serem seguidos;
11. Ferramentas requeridas;
12. Estruturação de ambiente e pessoal capacitado.

Estes tópicos já mostram um ordenamento das atividades de integração, com a flexibilidade necessária para realimentações e adaptações, considerando-se as características do sistema a ser integrado.

Especificamente para a integração da interface MIL-STD-1553, embutida nos equipamentos que constituem um sistema, este trabalho dirige a atenção para os tópicos 1, 3 e 7, identificados pelos índices A,B e C, respectivamente. No tópico 1 deve-se verificar a influência da estratégia da integração da interface. Para o planejamento ser eficaz a identificação das atividades é essencial, bem como os recursos necessários.

### ESCOLHA DA ESTRATÉGIA DE INTEGRAÇÃO

As estratégias existentes mais utilizadas para a integração incremental centrada na arquitetura são a *botton up* e a *top down* [9].

Na estratégia *botton up*, a integração é iniciada com os componentes do sistema de uma forma isolada. A seguir, estes componentes são agrupados de forma gradual, até resultar no sistema completo.

Na estratégia *top down*, os requisitos de alto nível, as premissas utilizadas na concepção e os conceitos operacionais são verificados utilizando-se ferramentas de análise e modelagem. A partir desta verificação, pode-se dividir o sistema em subsistemas e utilizar as mesmas ferramentas para realizar a integração dos subsistemas. Por fim, pode-se verificar o correto funcionamento dos componentes e diminuir o risco de não se obter as funcionalidades do sistema quando todos os componentes e subsistemas estiverem operando juntos.

Independentemente da estratégia adotada deve-se verificar, em algum instante deste processo, as características da interface do equipamento com o barramento MIL-STD-1553.

### IDENTIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES DE INTEGRAÇÃO

A identificação das atividades de integração deve estar alinhada com o objetivo primário do teste de integração, que para o caso em análise, é verificar o cumprimento do comportamento da interface de barramento de dados de um terminal com os requisitos da norma MIL-STD-1553.

O objetivo primário pode ser dividido em objetivos meios, que nesta fase constituem em verificar:

- O aterramento apropriado;
- As características elétricas;
- A forma de onda;
- A implementação correta de *mode codes*;
- A implementação correta dos bits de status;
- O comportamento frente ao ruído;
- O tempo de resposta aos comandos.

Esta fase do processo de integração é conhecida como Pré-Integração ou Integração Elétrica.

A fase seguinte verifica se a interface está alinhada com objetivo do projeto no qual o equipamento será utilizado. Usando-se as especificações dos equipamentos e as diretrizes do programa podem-se verificar as características do terminal remoto e definir suas margens e limitações. A informação obtida é essencial para evitar incompatibilidades antes da integração do sistema. Uma vez que o teste de validação não tem o objetivo de verificar o funcionamento ou aspectos funcionais do subsistema associado com o terminal remoto, ele pode ser realizado logo que o terminal remoto estiver disponível.

Além dos testes específicos, alguns parâmetros da interface MIL-STD-1553 devem ser monitorados continuamente durante todo o ensaio. Estes parâmetros são:

- Tempo de resposta;

- Dados contíguos;
- Codificação apropriada do código Manchester;
- Contagem de *bits*;
- *Bit* de paridade;
- Contagem do número de palavras;
- Endereço do terminal remoto;
- Palavra de status;
- Bits de sincronismo.

Recomenda-se ainda as seguintes atividades para evitar-se problemas:

- realize calibração nos equipamentos de testes;
- confira a cablagem a ser utilizada nos testes;
- verifique os conectores e pinos dos equipamentos sob teste;
- não limite os testes a valores nominais, execute testes em todo o range e além dele;
- verifique o comportamento da interface quando se solicita a transmissão com um número diferente de palavras do que é esperado.

Não se deve considerar que testes de validação não sejam necessários nos casos em que o RT usa componentes certificados. É fundamental que estes componentes estejam sendo utilizados juntos na forma correta.

Mesmo que componentes validados estejam sendo usados corretamente, o posicionamento relativo destes componentes com outros pode causar problemas. Por exemplo, o tamanho de cabos pode aumentar o ruído.

O fato do equipamento já estar operando em outras plataformas não garante que ele foi totalmente verificado na sua aplicação anterior, isto é, estar funcionando não significa que o RT cumpre totalmente a norma MIL-STD-1553 para a sua aplicação atual.

### RECURSOS NECESSÁRIOS

Recomenda-se os seguintes equipamentos para testes de validação da interface do barramento de dados MIL-STD-1553[11]:

- Equipamento de Teste para barramento MIL-STD-1553 (que simule as funções de BC, RT e BM);
- Osciloscópio;
- Gerador de ruído;
- Voltímetro;
- Painel de Conexão;
- Analisador de impedância;
- Gerador de Função.

O Equipamento de Teste é um instrumento de teste modular projetado para teste e avaliação da MIL-STD-1553.

O Gerador de ruído deve proporcionar ruído branco Gaussiano limitado em banda, necessário para o teste de rejeição de ruído de terminais remotos projetados para MIL-STD-1553.

O painel de conexão fornece a ligação do barramento, rede, terminais e cabos necessários para as configurações de teste.

#### IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Uma integração de sistema bem sucedida necessita, como em todas as atividades humanas complexas envolvendo vários atores, de um bom planejamento. Este planejamento não se limita simplesmente a um cronograma, mas sim a diversos fatores que devem ser avaliados previamente a tomada de ações. Os doze tópicos contemplados no Plano de Integração do capítulo III devem endereçar os principais problemas da integração.

Especificamente para a integração de sistemas que utilizam o barramento MIL-STD-1553, foram detalhados três destes tópicos diretamente relacionados às interfaces destes equipamentos que constituirão os sistemas. A adoção destes tópicos na integração evitará problemas, atrasos e custos maiores no desenrolar das outras atividades de integração.

#### REFERÊNCIAS.

- [1] MIL-HDBK-1553A -1988
- [2] N. Pomroy, G. R. McConnel, "The application of modelling to assist C3I system integration", Third International Conference on Command, Control, Communications and Management Information Systems, v. , p.,1989.
- [3] A. C. Silva, G. Loureiro, "System integration issues – causes, consequences & mitigations", IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2011.
- [4] M. M. Swassing, "A brief history of military avionics", 2013 SEPT/SFET International Symposium.
- [5] MIL-STD-1553B "Time division command / response multiplex data bus", 1978
- [6] <http://www.altadt.com/support/tutorials/mil-std-1553-tutorial-and-reference/>. Acessado em 26/06/2015
- [7] <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1829-eletronica-embarcada-e-protocolos-de-comunicacao-na-aviao>. Acessado em 01/07/2015.
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/MIL-STD-1553>. Acessado em 01/07/2015.
- [9] J. H. van Moll, R. W. M. Ammerlaan, "Identifying pitfalls of system integration – an exploratory study", Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Software Testing Verification and Validation Workshop (ICSTW'08).
- [10] R. R. Lutz, "Analyzing software requirements errors in safety-critical, embedded systems", IEEE International Symposium on Requirements Engineering, Jan 4-6, 1993, San Diego, CA
- [11] L. Earhart, "Experiences in validating MIL-STD-1553 remote terminals," 1993 Aerospace Avionic Systems Division Conference Proceedings, p. 266.