

DISPOSITIVO EMBARCADO ESCRAVO PROFIBUS-DP COM ASIC PROFICHIP VPC3+C

Igor Felipe Santos Gonçalves

Graduando do 9º Período de Engenharia Elétrica com Ênfase em Controle e Automação
Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT / Laboratório de Automação,
Sistemas Eletrônicos e Controle – LASEC, Uberlândia – MG, igor.fesagon@ufu.br

Marcelo Barros de Almeida

Prof. Dr. do Curso de Controle e Automação
Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT / Laboratório de Automação,
Sistemas Eletrônicos e Controle – LASEC, Uberlândia – MG, marcelo.barros@ufu.br

Márcio José da Cunha

Prof. Dr. do Curso de Controle e Automação
Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT / Laboratório de Automação,
Sistemas Eletrônicos e Controle – LASEC, Uberlândia – MG, mjcunha@ufu.br

Resumo - O trabalho apresentado neste artigo constitui-se de uma proposta de hardware inserida no âmbito das redes industriais. Este projeto tem como foco principal o desenvolvimento de um dispositivo escravo Profibus-DP, composto principalmente pelo ASIC (Circuito Integrado de Aplicação Específica) controlador de escravos Profibus-DP, VPC3+C, e pela plataforma de prototipagem rápida da Texas Instruments, EK-TM4C1294XL. Será exposto também, todo o processo de criação do protótipo desde a fase de projeto da placa adaptadora para o chip VPC3+C, em um software de criação de PCBs, até a montagem eletrônica em uma protoboard. Além disso, foram feitos testes na interface de comunicação escolhida entre os dispositivos para validação do protótipo. Como o projeto ainda está em andamento, os resultados encontrados ainda estão em nível de hardware, no entanto, a parte de software do projeto já foi prevista e iniciada.

Palavras-Chave - Profibus-DP, redes industriais, VPC3+C.

EMBEDDED DEVICE PROFIBUS-DP SLAVE WITH ASIC PROFICHIP VPC3+C

Abstract - The project presented in this paper consists of a hardware proposal inserted in industrial networks ambit. This project focuses primarily on the development of a Profibus-DP slave device, mainly composed of the ASIC (Application Specific Integrated Circuit) slave controller Profibus-DP, VPC3 + C, and rapid prototyping platform from Texas Instruments, EK TM4C1294XL. It will be exposed too, the whole process of creation of the prototype from the design phase of the breadboard to the chip VPC3+C, in a PCBs creation software, to the electronic assembly on a protoboard. In addition, tests were carried out in the communication interface between the chosen devices for prototype validation. As the project is still in progress, the results still found are at the

hardware level, however, the software part of the project was already planned and initiated.

Keywords - Industrial networks, Profibus-DP, VPC3+C.

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a necessidade de automação na indústria e nos mais variados setores está associada, dentre diversos aspectos, às possibilidades em aumentar a velocidade de processamento das informações, já que as operações estão cada vez mais heterogêneas. Assim, essas mesmas operações exigem maiores controles e melhores mecanismos de regulação, a fim de permitir decisões rápidas, elevando os níveis de produtividade e eficiência energética do processo produtivo [2].

O estabelecimento dos sistemas de automação fundamentado em redes de campo e tecnologia digital propiciou a obtenção de informações dos mais variados tipos e finalidades de uma planta de maneira interoperável e de alto rendimento [1]. A tecnologia Fieldbus, em especial o Profibus-DP, possibilitou o aperfeiçoamento das redes de comunicação industriais e também a descentralização das conexões de sensores e atuadores, evitando assim grandes extensões de cabeamentos de sinais analógicos, favorecendo a integridade das medições [3].

O termo Profibus é utilizado para descrever uma organização, um protocolo e, um sistema de comunicação digital que pode ser utilizado em várias áreas de aplicação [6]. É um padrão de rede de sistema aberto e independente de fornecedores, garantido segundo as normas EN 50170 e EN 50254 e, desde janeiro do ano 2000, definido pelas normas



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

IEC 61158 e IEC 61784, que abrange desde o meio físico aplicado até perfis de dados para deliberados conjuntos de equipamentos [1]. Nesse mesmo sistema, o protocolo digital de comunicação DP foi elaborado, com o propósito de ser um recurso de alta velocidade, permitindo uma comunicação ágil, cíclica e determinística na rede entre mestres e escravos [6].

A tecnologia Profibus-DP descreve uma solução composta pelo protocolo DP, meio físico de transmissão RS485 ou fibra ótica e interface de aplicação, utilizada em especial, para conexões entre os sistemas de controle, compreendendo acesso aos sistemas descentralizados de entradas/saídas digitais, além de equipamentos com destaque na automação da manufatura como motores, inversores, soft-starters, entre outros [6]. Visando a modernização da planta industrial, o Profibus-DP hoje é utilizado como uma alternativa aos sistemas convencionais e bem difundidos 4 a 20mA, HART, entre outros.

Atualmente, existe uma organização denominada Profibus International, responsável por manter, atualizar e divulgar a tecnologia Profibus entre os usuários e membros. Além de todo esse suporte, hoje, o Profibus é o barramento de campo líder no mercado mundial [1]. Segundo a Organização Profibus (Profibus Nutzorganisation E. V.), que regulamenta e normatiza o padrão em questão, foram estimados até o momento mais de 34 milhões de nós instalados com tecnologia Profibus. Além desse fato, existem mais de dois mil fornecedores, são 24 organizações regionais e mais de 35 Centros de Competência em Profibus (CCPs) localizados em diversos países, inclusive no Brasil, citando como exemplo, o CCP na Escola de Engenharia de São Carlos-USP [1].

O dispositivo apresentado neste projeto também será um componente inserido em um sistema mais amplo e complexo de análise de redes Profibus-DP estando suas funcionalidades atreladas ao dispositivo embarcado para escuta, que é essencial para qualquer atividade na área e crucial para a prototipagem de outros equipamentos. O sniffer, como é denominado este dispositivo de escuta, está representado na Figura 1.a. O elemento abordado neste artigo está representado na Figura 1.c e está correlacionado ao desenvolvimento de novos dispositivos escravos. Os escravos (slaves) podem ser criados por meio do uso de ASICs específicos onde o trabalho de decodificação do protocolo é minimizado.

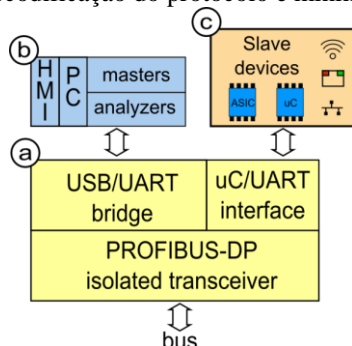


Fig. 1. Arquitetura completa do sistema.

Também é uma finalidade deste projeto a cooperação com empresas interessadas na pesquisa e produção do produto. Além do mais, este trabalho será parte de um projeto de desenvolvimento da tecnologia Profibus na Universidade Federal de Uberlândia, que é a criação de um Centro de

Competência Profibus (CCP), que auxiliará futuramente na qualificação de alunos, professores e profissionais de engenharia em geral.

A. Breve Resumo do Protótipo

Acerca do protótipo, especificamente de sua estrutura, este será constituído de um microcontrolador ARM Cortex-M4 TM4C1294 presente no kit de desenvolvimento da T.I. (Texas Instruments), EK-TM4C1294XL (representado na Figura 2). Além do microcontrolador, um controlador ASIC de escravos Profibus-DP da Profichip, VPC3+C (Figura 3), também será utilizado na implementação do dispositivo proposto, pois possui completa integração com o protocolo Profibus-DP [4]. A placa da T.I. foi escolhida por possuir certas características necessárias para a correta comunicação entre ela e o VPC3+C, além de possuir uma alta taxa de processamento.

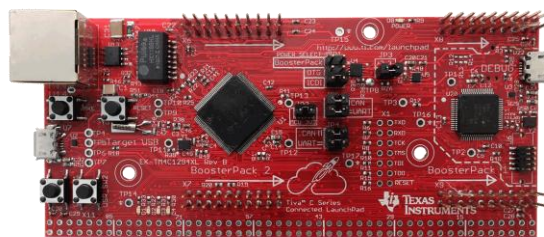


Fig. 2. Plataforma de desenvolvimento da Texas Instruments, EK-TM4C1294XL.



Fig. 3. ASIC controlador de escravos Profibus-DP, VPC3+C.

A respeito do funcionamento básico do protótipo, tanto da parte de hardware como de software (protocolo), é relevante ressaltar o papel do microcontrolador, que atua na criação de uma interface entre as I/Os digitais e o operador e também para atualizações de variáveis em tempo real. Juntamente com o microcontrolador, é importante destacar as funcionalidades do VPC3+C, que além de manipular as mensagens e o endereço de identificação na comunicação realizada, provê segurança na sequência dos dados transmitidos e no processamento do protocolo Profibus-DP [4].

B. Modelo de Comunicação Mestre-Escravo

O protocolo Profibus-DP especifica que o modelo de comunicação que será utilizado neste projeto é do tipo mestre-escravo. Desta forma, um escravo não deve iniciar nenhum tipo de comunicação no meio físico enquanto o mestre não requisitar. Por exemplo, o mestre (Controlador Lógico Programável, geralmente) envia mensagens solicitando dos escravos que enviem os dados obtidos pela instrumentação ou envia sinais a serem escritos nas saídas, para o controle dos atuadores ou nos registradores. Em cada ciclo de comunicação, o CLP pode ler ou escrever valores em cada um dos escravos.

A arquitetura e a filosofia do protocolo Profibus asseguram a cada estação envolvida nas trocas de dados cíclicos um intervalo suficiente para a execução de sua tarefa de comunicação dentro de um intervalo de tempo configurável. Para isso, utiliza-se do procedimento de passagem de “token”, usado por estações-mestres do barramento ao comunicar-se entre si, e do procedimento mestre-escravo para a comunicação com as estações escravas. O procedimento mestre-escravo possibilita ao mestre que esteja ativo (o que possui o “token”) acessar os seus escravos (através dos serviços de leitura e escrita) [7].

C. RS-485: O Meio Físico Mais Utilizado do Profibus

O RS-485 é a tecnologia de transmissão mais utilizada no Profibus, embora a fibra ótica possa ser usada em casos que envolvem longas distâncias (maior do que 80Km) [8]. Abaixo, as principais características:

- Transmissão assíncrona NRZ;
- Baud rates de 9.6 kBit/s a 12 Mbit/s, selecionável;
- Par trançado com blindagem;
- 32 estações por segmento, máx. 127 estações com repetidores;
- 12 MBit/s = 100 m; 1.5 MBit/s = 400m; < 187.5 kBit/s = 1000 m;
- Distância expansível até 10Km com o uso de repetidores;
- 9 PIN, D-Sub conector;
- Equipamentos Profibus-DP não são alimentados pelo barramento.

Normalmente se aplica em áreas envolvendo alta taxa de transmissão, instalação simples a um custo baixo. A estrutura do barramento permite a adição e remoção de estações sem influências em outras estações, com expansões posteriores sem nenhum efeito na operação. Quando o sistema é configurado, apenas uma única taxa de transmissão é selecionada para todos os dispositivos no barramento. Além disso, há necessidade da terminação ativa no barramento no começo e fim de cada segmento, conforme a Figura 4, sendo que, para manter a integridade do sinal de comunicação, ambos terminadores devem ser energizados [8].

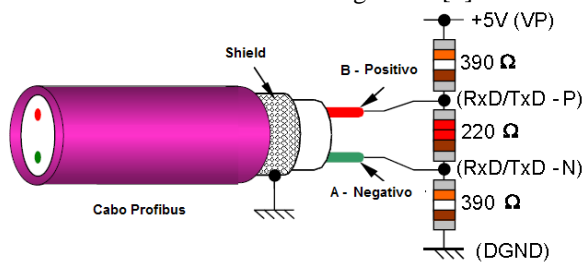


Fig. 4. Cabeamento e terminação para transmissão RS-485 no Profibus-DP.

Para casos com mais de 32 estações ou para redes densas, devem ser utilizados repetidores. O comprimento máximo do cabeamento depende da taxa de transmissão, conforme a Tabela I.

Tabela I – Comprimento em função da taxa de transmissão

Baud rate (kbit/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	2000
Distância/Segmento (m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

II. O PROTÓTIPO

O projeto, conforme já mencionado, se baseia em um ASIC denominado VPC3+C, responsável pelo controle do escravo Profibus-DP a nível de protocolo, e a plataforma da T.I. com microcontrolador ARM. Uma representação elétrica desse ASIC e seus pinos podem ser visto a seguir, na Figura 5.

A. Esquemas Elétricos

1) Chip VPC3+C

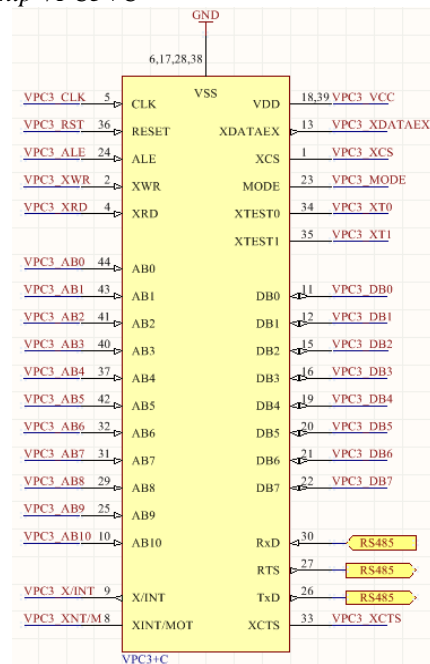


Fig. 5. Esquemático do chip VPC3+C feito em um programa de criação de placas de circuito impresso (PCB).

Antes de entrar em detalhes dos esquemas elétricos, é interessante ressaltar algumas informações a respeito do ASIC VPC3+C contidas em seu datasheet.

- Pode ser operado com tensões de 3.3V ou 5V. Será utilizado 3V3 por causa da compatibilidade com ARM;
- Todos os sinais (representados por pinos) que começam com X são ativo baixo. Ex.: XDATAEXCH, X/INT, etc;
- VDD = VCC e VSS = GND;
- Corrente máxima aceita pelo pino XDATAEXCH é igual à 8mA.

Como já mencionado, o chip VPC3+C possui pinos que só são ativos quando o nível lógico for low, ou seja, quando forem aterrados. Para esses pinos (Tabela II), é usual inserir resistores de pull-up (Figura 6) para evitar flutuação de sinal.

Tabela II – Pinos ativo baixo

Pinos Ativo Baixo	
XCS	Pino 1
XWR	Pino 2
XRD	Pino 4
X/INT	Pino 9
XTEST0	Pino 34
XTEST1	Pino 35

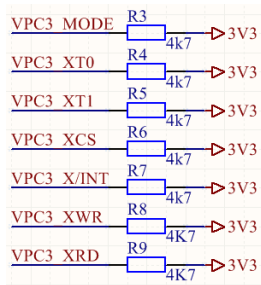


Fig. 6. Resistores pull-up.

A resistência de 4k7 foi escolhida, pois é um valor recomendado pelo manual e garante a estabilidade do sinal. O pino MODE, descrito na Figura 6, é utilizado para configurar a interface do processador junto com o pino XINT/MOT. Os pinos XCTS e XINT/MOT (Figura 7) também são ativo baixo. Mas diferente dos demais, eles são conectados através de pull-downs, pois precisam manter o nível baixo todo o tempo de operação.



Fig. 7. Resistores pull-down.

O pino X/INT (Figura 6) é vinculado à interrupção. Como ele também é ativado por nível lógico baixo, fez-se necessário o uso de um pull-up. Além disso, este pino será controlado por um I/O do processador presente na placa da TI. O pino XDATAEX também é ativado por nível lógico baixo, por esta razão que o LED teve que ser posicionado da forma como mostra a Figura 8. O resistor em série com o LED ($V_{led} = 1.8\text{ V} \rightarrow$ LED vermelho) foi definido conforme cálculo abaixo.

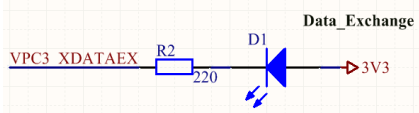


Fig. 8. Circuito do LED.

$$V - V_{led} = R \cdot I$$

$$3V3 - 1.8V = R \cdot (8mA) \quad (2)$$

$$\therefore R = 187,5\Omega$$

Como esse valor de resistência não é um valor comercial, adotou-se o mais próximo que é o de 220 Ω .

O chip VPC3+C pode ser configurado para trabalhar em quatro modos diferentes (Tabela III). A interface é configurada por meio de dois pinos, o XINT/MOT para escolha entre Motorola e Intel, que se diferenciam pela forma como o bit é escrito e lido na memória; e o MODE, para definição entre síncrono e assíncrono, onde o assíncrono necessita da sinalização do pino XREADY [4].

O modo escolhido para o projeto é o *Synchronous Intel Mode*, pois é compatível com o modo escolhido de operação do processador ARM.

Tabela III – Modos de configuração da interface de comunicação

XINT/MOT	MODE	Processor Interface Mode
0	1	Synchronous Intel Mode
0	0	Asynchronous Intel Mode
1	0	Asynchronous Motorola Mode
1	1	Synchronous Motorola Mode

O modo de operação escolhido permite escolher entre dois modos de endereçamento de memória, 2K Byte RAM ou 4K Byte RAM. No modo 4K Byte existe um pino adicional (A11) para sinal do barramento de endereço. Já no modo 2K esse pino não é utilizado, e por isso deve ser ligado ao 3V3. O modo escolhido foi o 2K Byte, por causa de sua simplicidade. Por causa dessa escolha de operação, os pinos AB8, AB9 e AB10 foram aterrados.

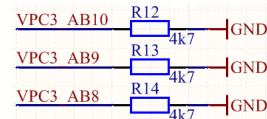


Fig. 9. Resistores envolvidos no modo de comunicação escolhido.

Para funcionamento do chip VPC3+C, é necessário um sinal de clock externo de 48 MHz, derivado de um oscilador a cristal, na entrada CLK (pino 5). O oscilador SMD utilizado para gerar o clock, é o SOC7 da Relm Components. Osciladores a cristais estão presentes na maioria dos equipamentos eletrônicos que exigem que seus circuitos funcionem de maneira totalmente ordenada e sincronizada por um sinal de frequência única, o qual determina quando cada um deve realizar uma determinada operação.

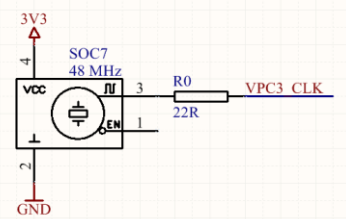


Fig. 10. Oscilador a cristal SOC7.

Por último, foram inseridos capacitores de desacoplamento (by-pass) nos pinos de alimentação e no oscilador a cristal. É indicado utilizar capacitores de desacoplamento somente para pinos de alimentação, pois eles sofrem variações de corrente impostas pela rede devido a períodos intermitentes da demanda energética do circuito. É função do capacitor de desacoplamento atuar nestes casos, pois nem sempre a fonte de alimentação consegue suprir essas oscilações. Resumindo, o capacitor de desacoplamento supre a necessidade instantânea de corrente do circuito quando descarregado, ou seja, funciona como uma bateria auxiliar de ação rápida. Paralelamente, funciona também como um filtro, direcionando os ruídos de alta frequência para o GND. Para pinos comuns não é aconselhável.

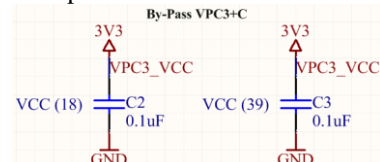


Fig. 11. Capacitores de desacoplamento do chip VPC3+C.

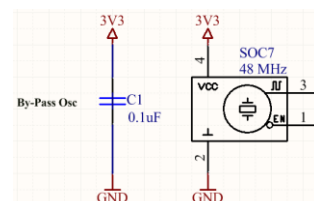


Fig. 12. Capacitor de desacoplamento do oscilador a cristal.

2) Plataforma EK-TM4C1294XL

Para se comunicar com o chip VPC3+C, será utilizada a interface EPI (External Peripheral Interface), que proporciona acesso a dispositivos externos usando um barramento paralelo, permitindo maior taxa de acesso para periféricos externos e memória. A EPI possui diversas opções de configuração, permitindo acesso a periféricos síncronos ou assíncronos, além do modo 8051 onde um multiplexador de linhas de dados e endereço é usado para reduzir a quantidade de trilhas externas. Além disso, a EPI atua como um barramento paralelo de alta velocidade para periféricos externos e memória.

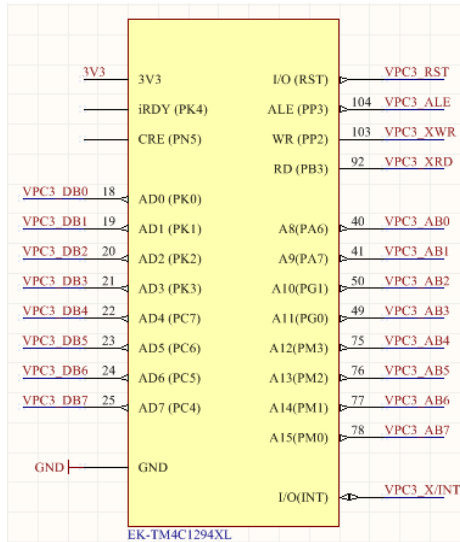


Fig. 13. Esquemático do modo escolhido da plataforma de desenvolvimento EK-TM4C1294XL.

Para acesso ao VPC3+C, foi usado o modo denominado Host Bus Mode, que acessa SRAM, NOR Flash e outros dispositivos, endereçando em modo multiplexado ou não [5]. O modo escolhido foi EPI Host Bus 8-bit multiplexado, pois é compatível com o modo de operação do VPC3+C.

B. Montagem do Protótipo

A montagem do dispositivo foi realizada em duas etapas. A primeira etapa consistiu no desenvolvimento e na fabricação da placa adaptadora (“breadboard”) para o chip VPC3+C e para o oscilador a cristal. O projeto da breadboard foi feito em um programa específico para criação de PCBs (Figura 14) e sua fabricação foi executada em uma fresa própria para desenvolvimento de placas de circuito impresso.

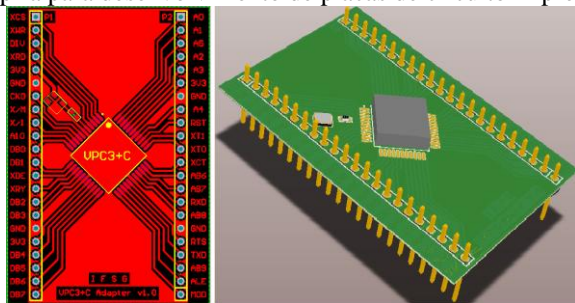


Fig. 14. Projeto da placa adaptadora para o chip VPC3+C.

A segunda etapa da montagem foi feita em uma protoboard (Figura 15), com a placa adaptadora para o chip VPC3+C já fresada e com os componentes soldados.

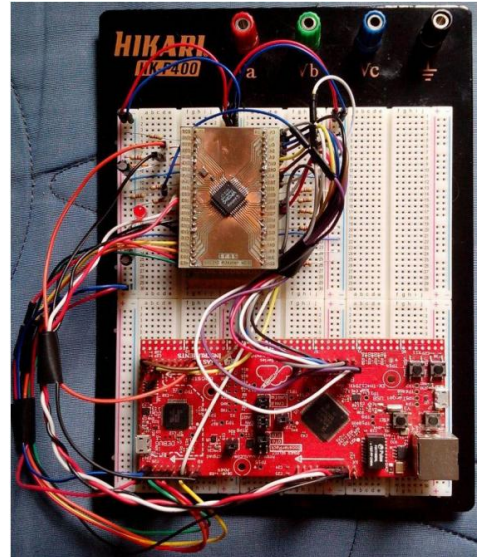


Fig. 15. Montagem do protótipo em um protoboard.

Nesta etapa foram conectados os componentes necessários para o funcionamento do ASIC VPC3+C, entre estes componentes, estão os resistores de pull-up e pull-down, os capacitores de desacoplamento e o circuito do LED. Para concluir a montagem, realizaram-se as conexões segundo os esquemáticos apresentados nas sessões anteriores, entre o chip VPC3+C e o EK-TM4C1294XL.

C. Configuração Inicial do Software do Protótipo

Para o correto funcionamento da EPI entre o microcontrolador e o chip VPC3+C é necessário que as formas de ondas geradas por um e aceitas pelo outro sejam equivalentes. Com este objetivo, os parâmetros de tempo de escrita e leitura das funções de configuração e inicialização do microcontrolador foram deduzidos, a partir de cálculos simples de frequência, para que se chegasse a uma forma de onda correspondente à descrita no manual do chip VPC3+C (Figura 16).

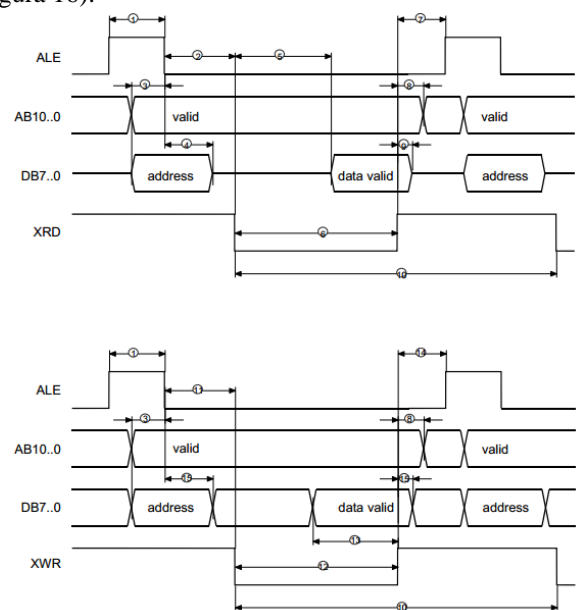


Fig. 16. Formas de onda do modo Synchronous Intel Mode, sendo a primeira imagem relacionada a leitura (XWR = 1) e a segunda a escrita (XRD = 1).

Tabela IV – Temporização do modo Synchronous Intel Mode

No.	Parameter	V _{DD} = 3.3V	Unit
1	ALE pulsewidth	10 (mín)	ns
2	ALE↓ to XRD↓	20 (mín)	ns
3	Address to ALE↓ setup time	10 (mín)	ns
4	Address holdtime after ALE↓	10 (mín)	ns
5	XRD↓ to data valid	103 (máx)	ns
6	XRD pulsewidth	115 (mín)	ns
7	XRD↑ to ALE↑	10 (mín)	ns
8	Address (AB7..0) holdtime after XRD/XWR↑	5 (mín)	ns
9	Data holdtime after XRD↑	4 (mín) 16 (máx)	ns
10	XRD/XWR cycle time	155 (mín)	ns
11	ALE↓ to XWR↓	20 (mín)	ns
12	XWR pulsewidth	83 (mín)	ns
13	Data setup time to XWR↑	10 (mín)	ns
14	XWR↑ to ALE↑	10 (mín)	ns
15	Data holdtime after XWR↑	10 (mín)	ns

A Figura 17 mostra uma parte do código feita para a realização dos primeiros testes da interface na IDE (do inglês, Integrated Development Environment) da Texas Instruments, Code Composer Studio.

```
EPIConfigHB8Set(EPI0_BASE, EPI_HB8_MODE_ADMUX |
EPI_HB8_WRAWAIT_3 | EPI_HB8_RDWAIT_3 |
EPI_HB8_ALE_HIGH | EPI_HB8_WORD_ACCESS |
EPI_HB8_CSCFG_ALE, 0);
```

Fig. 17. Código de configuração Host Bus Mode 8-bit.

A priori, foram realizados alguns testes que a princípio mostraram eficácia na comunicação. Porém, para que o projeto avance, será necessário utilizar um analisador lógico para a validação da comunicação.

III. CONCLUSÕES

A respeito dos objetivos iniciais apresentados para o projeto, foi proposto o desenvolvimento de um escravo fundamentado na tecnologia Profibus-DP, a ser desenvolvido inicialmente em nível de prototipagem, sendo sua primeira fase, a proposta de hardware apresentada neste artigo. A partir do momento que o protótipo já estiver sido implementado, anseia-se que este trabalho auxilie no ensino e na pesquisa dos alunos do curso de Controle e Automação. Além disso, este trabalho terá um papel relevante na parceria entre a UFU e Organização Profibus na criação do CCP, que contribuirá no futuro, na capacitação de alunos, professores e profissionais de engenharia. Finalmente, também será parte fundamental na criação de novos e inovadores projetos tendo em vista o mercado Profibus e a parceria entre empresas do ramo e a própria instituição universitária.

O desenvolvimento do escravo Profibus-DP é muito conveniente, pois um mercado sólido, em crescimento e com grande comunidade em cooperação mútua necessita de produção de tecnologias alternativas e de produtos mais acessíveis, com recursos inovadores e atrativos aos investidores. Como o dispositivo ainda está em fase de prototipagem, ele ainda não possui uma robustez e uma

aparência atraente para ser comparado com produtos consolidados no mercado, mas é compreensível por ser parte de uma pesquisa em evolução.

Com relação aos resultados obtidos, foram feitos alguns testes básicos de configuração e inicialização, na IDE da T.I., da interface de comunicação escolhida entre o microcontrolador e o chip VPC3+C, para análise, na sequência, do seu funcionamento em um osciloscópio. Para que a comunicação ocorra, as formas de ondas de ambos os dispositivos devem respeitar os tempos de acesso descritos em manual. Para isto, foram ajustados os parâmetros da configuração do microcontrolador com valores aproximados no que resultou em um princípio de comunicação entre ambos.

Os próximos passos, a serem realizados, serão dedicados à elaboração do código final para o microcontrolador e a portabilidade do código fornecido pela Profichip para a plataforma da Texas Instruments. Na sequência será feita a avaliação do escravo em um sistema de teste a ser montado com auxílio do dispositivo de escuta de barramentos e um mestre Profibus-DP.

Basicamente, serão realizados testes de escrita/leitura na interface de comunicação EPI entre o chip e o microcontrolador com auxílio de um osciloscópio na interpretação dos sinais; e análise do frame Profibus-DP em testes na interface RS-485, com assistência do sniffer Profibus, para validação do protótipo.

Para pesquisas e projetos futuros, será sugerido o desenvolvimento do escravo em uma placa de circuito impresso única, para que o produto se torne mais compacto, específico e visualmente atrativo. Nesta etapa, será necessário adquirir o microcontrolador usado e toda a parte do circuito de potência e conexões externas (I/Os) para o correto funcionamento do dispositivo.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Cassiolato, et al, *Descrição Técnica Profibus*, Associação PROFIBUS Brasil América Latina, São Paulo, 2012.
- [2] C. Cassiolato, *Redes Industriais*, SMAR Equipamentos Industriais, São Paulo, 2012.
- [3] R.V. Torres, *Simulador de Redes Profibus*, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Paulo, 2013.
- [4] Profichip, *VPC3+C User Manual*, Alemanha, 2014.
- [5] Texas Instruments, *Tiva™ TM4C1294NCPDT Microcontroller Data Sheet*, Austin, 2014.
- [6] WEG, *Manual da Comunicação Profibus-DP*, Jaraguá do Sul, 2012.
- [7] Mecatrônica Atual (2016). *Características do Protocolo Profibus*. Acedido em 30 de Maio de 2016, em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1866-caracteristicas-do-protocolo-profibus-e-sua-utilizacao-em-reas-classificadas>.
- [8] Smar Brasil (2016). *O que é Profibus?*. Acedido em 07 de Setembro de 2016, em: <http://www.smar.com/brasil/profibus>.