

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



**Ciências**  
**ULisboa**

# **Development of a Communication Board for Electric Vehicle Chargers**

Ganna Oleksandrivna Kryuchkova

**Mestrado em Engenharia Física**

Versão Pública

Dissertação orientada por:  
Prof. Dra. Guiomar Gaspar de Andrade Evans

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu mentor André Peixoto por todas as horas que dedicou do seu tempo a ajudar-me. Agradecer por todas as explicações, reuniões e discussões que acabaram por resultar neste trabalho. Vou ficar para sempre grata pelo tempo investido em mim. Tive o melhor mentor de sempre.

Também queria agradecer ao Pedro Agulha, o meu segundo mentor, por toda a ajuda e disponibilidade, principalmente na parte final do trabalho.

E claro, agradecer ao Jorge Atabão e Rodrigo por todas as ajudas, sentido de humor e sempre boa disposição.

Quero agradecer ao meu chefe João Rosa Dias por ter acreditado que eu podia vir a ser uma boa engenheira e me ter dado a oportunidade de escrever a minha tese na sua equipa. Por ter sido sempre simpático, disponível e por me incluir na equipa.

Quero também agradecer à Dorina Rusu por ter notado o meu currículo e me ter direcionado para Corroios.

Obrigada também ao resto da equipa de engenheiros por terem sido sempre bons para mim. Obrigada às senhoras do refeitório pelas refeições maravilhosas e simpatia. Tive muita sorte com esta oportunidade e equipa e vou ficar para sempre grata.

Por último, quero agradecer á professora Guiomar por me ter despertado interesse pela área da eletrónica, por ter estado desde a licenciatura sempre disponível e pronta para ajudar, pelo apoio incondicional, pelo tempo e por ser uma excelente professora e orientadora.



# Abstract

For an electric vehicle (EV) to be charged, communication must be established with a charging station (EVSE). This communication is normally done through a plug, regulated by a control system. This control system is located both in the vehicle and in the charger, and it allows communication between them so that the charging process is performed with success.

This dissertation aims to study and develop the entire hardware system of a Supply Equipment Communication Controller (SECC) in form of a printed circuit board (PCB), that controls the communication between the vehicle and the charging station. This board will be part of the charging station, it will have a microprocessor (MPU), that will be programmed to generate a pulse-width-modulation (PWM) signal at 1 kHz and 5% duty-cycle, responsible for defining the different states of the charging process. It will also feature an integrated circuit (IC) that will implement power-line-communication (PLC) technology at 2-30 MHz through the HomePlug Green PHY (HPGP) protocol. The PLC signal generated on top of the PWM signal will then form a final modulated signal responsible for the entire communication. The internal communication on the board between the MPU and the PLC IC will be done by Serial Peripheral Interface (SPI) and Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C). For external communications, this board will have Ethernet (ETH), Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART), Universal Serial Bus (USB), and Controller Area Network (CAN) protocols available.

In addition to hardware development, it is intended to test the new SECC by sending a PLC message.

The rules for EV charging with a plug are based on the IEC 61851 standard principles. In the same way, the different communication stages between the vehicle and the charger are based on the Open Systems Interconnection model (OSI model) where the ISO 15118 and DIN 70121 standards will be implemented.

**Keywords:** electric vehicles, charging techniques, communication controller, pulse-width modulation, communication standards.



# Resumo

Para um veículo elétrico ser carregado é necessário que se estabeleça uma linha de comunicação com o carregador elétrico. Essa comunicação é normalmente efetuada através de um cabo elétrico que tem um conector, sendo necessário um sistema de controlo. O sistema de controlo é constituído por dois módulos, um localizado no veículo, *Electric Vehicle Communication Controller* (EVCC), e outro no carregador elétrico, *Supply Equipment Communication Controller* (SECC). Estes permitem que a comunicação entre ambos e o carregamento se processem com sucesso.

A presente dissertação tem como objetivo o estudo e desenvolvimento de uma placa SECC que controla em tempo-real a comunicação entre um veículo e um carregador elétrico. Esta placa será implementada nos carregadores elétricos DC da família de carregadores Sicharge UC da Siemens. Terá um microprocessador (MPU) que será o *host* da placa e irá controlar todos os sinais e dados de acordo com as normas IEC 61851 e ISO 15118. Este MPU irá gerar um sinal *pulse-width modulation* (PWM), com uma frequência de 1 kHz e *duty-cycle* de 5%, responsável por definir os diferentes estados do processo de carregamento através de variações na amplitude do sinal. O MPU terá também que comunicar com um circuito integrado (IC) que irá implementar a tecnologia *Power-Line-Communication* (PLC), com uma frequência entre 2-30 MHz, utilizando o protocolo *HomePlug Green PHY* (HPGP). O sinal PLC será gerado por cima do sinal PWM formando um sinal final modulado responsável por toda a comunicação e gestão do carregamento, este sinal chama-se *Control Pilot* (CP). A comunicação interna na placa entre o MPU e o PLC IC será através dos protocolos de comunicação série, *Serial Peripheral Interface* (SPI) e *Inter-Integrated Circuit* (I<sup>2</sup>C). Para comunicações externas, a carta terá disponíveis os protocolos *Ethernet* (ETH), *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), *Universal Serial Bus* (USB) e *Controller Area Network* (CAN bus). Pretende-se também adicionar uma interface *Low-Voltage Differential Signaling* (LVDS) que permite que o MPU, opcionalmente, controle um *display* (LCD) externo.

A sequência de carregamento do veículo elétrico é baseada na norma IEC 61851 que define as regras para o carregamento de veículos elétricos através de um cabo e conector. Por sua vez, as diferentes etapas de comunicação entre o veículo e carregador elétrico são assentes no *Open Systems Interconnection Model* (OSI model) onde devem ser implementadas as normas ISO 15118 e DIN 70121. A ISO 15118 é uma norma estruturada que, com base nas sete camadas do modelo OSI, define as regras e sequências da comunicação de alto nível entre o veículo e carregador elétrico. A norma DIN 70121 foi desenvolvida como uma versão condensada da ISO 15118 para facilitar a sua compreensão, visto que esta é muito extensa.

Para além do desenvolvimento da carta, pretende-se estudar e implementar o envio de uma mensagem PLC. Como não há garantias que irão estar disponíveis todos os componentes da carta a tempo do término deste projeto, será utilizada uma carta de avaliação SECC da empresa VertexCom com as mesmas interfaces de comunicação e o mesmo IC que implementa a tecnologia PLC através do protocolo HPGP. Assim, será feito o *debug* dessa carta de modo a se entender o funcionamento dos seus protocolos de comunicação, seguido pela inicialização do PLC IC e, por último, pretende-se enviar a mensagem PLC. Este processo exemplificará como se processa a comunicação entre um carregador e veículo elétrico através do SECC.

Inicialmente, foram discutidas três soluções possíveis para o novo SECC, onde o requisito inalterável era que o novo PLC IC fosse o MSE1021 da VertexCom. A primeira solução seria utilizar um microcontrolador (MCU) como *host* do SECC, a segunda solução era utilizar um microprocessador (MPU) da família NXP i.MX 8M Plus, e a terceira e última solução era ter uma placa apenas com o PLC IC, o que constitui as duas primeiras camadas do modelo OSI, ou seja, uma filtração e comunicação física. Tudo o resto iria via SPI para outra placa, a qual seria o *host*, e implementaria as restantes camadas do modelo. Como a prioridade para o desenvolvimento do SECC era ter uma primeira versão com o novo PLC IC da VertexCom a ser testado numa estação de carregamento num curto período, a solução mais prática a desenvolver no tempo desejado foi escolher um *System on Module* (SOM) com um MPU da família NXP i.MX 8M Plus. A utilização de um SOM significa que não foi desperdiçado tempo na montagem da *Random-Access Memory* (RAM), *Read-Only Memory* (ROM), e dos temporizadores associados ao MPU porque já está tudo num mesmo módulo.

Durante o desenvolvimento do trabalho verificou-se que os requisitos inicialmente estabelecidos para o novo SECC não foram todos cumpridos. O objetivo foi facilitar o seu desenvolvimento e permitir o reforço no estudo da comunicação PLC, guardando o desenvolvimento de outras propriedades adicionais para uma etapa a seguir ao desenvolvimento da primeira versão do SECC. Foi decidido que esta versão teria apenas um sinal CP, permitindo a ligação de apenas um conector ao carregador. Outro requisito que não foi cumprido foi a escolha do SOM, para esta versão foi decidido usar um SOM da empresa Digi com um MPU 4x Cortex-A35 até 1.0 GHz, que é consideravelmente mais lento do que a opção inicialmente prevista, o MPU 4x Cortex-A53 até 1.6 GHz. Os GPIOs do SOM que inicialmente estavam estimados a serem utilizados, acabaram por não ser. Numa versão futura, pretende-se utilizar os GPIOs para funções de controlo externo, por exemplo, o controlo da abertura e fecho da porta do dispensador, que é um dispositivo que distribui a energia do carregador elétrico. As entradas do SOM, para deteção e controlo de temperatura do SECC ou do cabo elétrico, também não foram implementadas.

Após o desenho do esquemático e *layout* do PCB estarem completos, utilizou-se a placa de avaliação SECC MT5440 da VertexCom com o mesmo PLC IC que é utilizado no novo SECC, para testar a comunicação. O objetivo inicial era enviar uma mensagem PLC, no entanto ao longo do processo percebeu-se que foi um objetivo precipitado, visto que seria necessário estabelecer uma ligação entre dois módulos PLC, neste caso uma sessão entre um SECC e um EVCC. Assim, foi feito o *debug* da MT5440, onde se verificou que o PLC IC tanto poderia receber dados via ETH de um *host* externo á placa, como podia receber dados via SPI do *host* interno da placa. Após o *debug*, implementou-se a inicialização do PLC IC, a qual inclui o envio do *bootloader* e do *firmware*.

Por último, de modo a perceber quais os passos seguintes para o envio de uma mensagem PLC após a inicialização do PLC IC, simulou-se uma sessão de carregamento de um veículo. Esta simulação foi efetuada entre duas *Test Benches*, uma que simula o veículo e outra que simula o carregador elétrico. Estes dispositivos tinham o SECC e o EVCC que estão a ser usados atualmente nos carregadores. Assim, com a ajuda de um *sniffer*, que é um dispositivo que capta e descodifica as mensagens, utilizou-se o programa *Wireshark* para analisar e organizar a troca de mensagens e pacotes de dados entre eles. Com isto foi possível verificar o envolvimento de todas as camadas do modelo OSI, a interação entre elas e quais são as mensagens PLC necessárias a uma sessão de carregamento de um veículo elétrico.

**Palavras-chave:** veículos elétricos, técnicas de carregamento, controlo de comunicação, modulação por largura de pulso, protocolos de comunicação.