



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JOÃO RUBENS ALVES ZACARIAS

**MODELO DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA DE DISJUNTOR
DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA**

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2016

JOÃO RUBENS ALVES ZACARIAS

MODELO DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA DE DISJUNTOR
DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA

*Relatório de Estágio Integrado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração:

Orientador:

Professor Alexandre Cunha Oliveira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2016

JOÃO RUBENS ALVES ZACARIAS

MODELO DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA DE DISJUNTOR DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA

*Relatório de Estágio Integrado submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrônica

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Alexandre Cunha Oliveira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico a Deus esse trabalho, por te me dado paciência, inteligência e perseverança, aos meu pais, e irmãos e familiares pelo apoio imensurável, e por ultimo aos professores, técnicos e, principalmente, pelos orientadores, tanto no Brasil quanto na França.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde e intelecto para realização do trabalho. Em segundo lugar aos meu familiares, em especial meus pais que sempre me apoiaram. Agradeço os professores do departamento de Engenharia Elétrica e aos funcionários do departamento de Engenharia Elétrica, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização do trabalho. Agradeço a *Schneider Electric* pelo estágio, pela estrutura e oportunidade. Agradeço ao meu chefe, Fabien Odille, por toda orientação dentro da *Schneider Electric*. Agradeço também ao meu orientador e professor Dr. Alexandre Cunha Oliveira, por me orientar no Brasil e me auxiliar na adequação do relatório de estágio.

*“Os céus proclamam a glória de Deus
e o firmamento anuncia a obra de suas mãos”*

Salmo 19:1.

RESUMO

Este relatório resume o trabalho durante meu estágio na *Schneider Electric Eybens*, dentro da equipe *Low Voltage Mechatronic Design*, durante o período de 19 março a 16 agosto. Este trabalho aborda o desenvolvimento de um modelo de gestão de energia de uma série de disjuntores eletrônicos, para casos críticos, que são casos quando a energia fornecida ao sistema eletrônico de proteção é escasso. Outra parte abordada é a validação das arquiteturas dos sistemas eletrônicos dos disjuntores feitas pelas equipe da *Schneider Electric*. Este trabalho tem importância para assegurar o bom funcionamento dos disjuntores do projeto GAMBIT. O projeto GAMBIT é uma renovação de uma antiga gama de disjuntores.

Palavras-chave: Disjuntor, Model VHDL-AMS,

ABSTRACT

This report summarizes the work during my internship at Schneider Electric Eybens, within the team Low Voltage Mechatronic Design, during the period from March 19th to August 16th. This work discusses the development of an energy management model in a number of electronic circuit breakers for critical cases, which are cases when the power supplied to the electronic protection system is scarce. Another part is addressed validation of architectures of the electronic systems of circuit breakers made by the team of Schneider Electric. This work is important to ensure the proper functioning of the circuit breakers GAMBIT project. The GAMBIT project is a renovation of an ancient range of circuit breakers.

Keywords: Electronic circuit breaker, Model VHDL-AMS, Power circuits, Supply circuit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Logotipo da schneider electric	2
Figura 2 - O centro electrople Schneider Eletric à Eybens (Grenoble).	4
Figura 3- ORganização do <i>partner projects</i>	5
Figura 4 - Disjuntor MOTOR do projeto Gambit.....	6
Figura 5 -Curva tipica de um disjuntor termomagnético.....	7
Figura 6 - Curva de proteção de um disjuntor de proteção eletrônica.....	8
Figura 7 - Diagrama geral de um disjuntor de proteção eltrônica.....	9
Figura 8 - <i>software</i> portunus.....	11
Figura 9 - Arquitetura M4E BASIC.	13
Figura 10 - Arquitetura de Consumo de BASE ME4.....	13
Figura 11 - Tensão do capacitor mitop.....	14
Figura 12 - Consumo E ² Prom (Asic.	15
Figura 13 - Impacto Consum: E ² P Asic sobre Vmitop à 27.5A.	15
Figura 14 - Arquitetura Me4 ADVANCED.	16
Figura 15 - Trasmissoao de falhas SDx.....	17
Figura 16 - Modelo SidLed.	17
Figura 17 - Modelo de consumo Microcontrolador.....	18
Figura 18 - Consumo Microcontrolador e NFC.	18
Figura 19 - Tensão do capacitor mitop.....	19
Figura 20 - Tesnãõ do capacitor Sideled.	19
Figura 21 - tensão capacitor mitop (rc).	20
Figura 22 - Teste com corrente de 27.5A e modelo 36A.	21
Figura 23 – Ensaio a 40A e modelo 27.5A.	21
Figura 24 - Aruitetura VIGI.	22
Figura 25 - modelo de alimentação em tensão.	23
Figura 26 - COrrente e tensão Switch TY274G.	24
Figura 27 - Modelo TNY274G.....	24
Figura 28 - carga dos capacitores carta vigi	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - CORRENTE DE SAIDA DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE. 14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALIM. I	Alimentação em corrente
ALIM. U	Alimentação em tensão
ASIC	Circuito integrado de aplicação específica
E²PROM	Memória programável apagável somente leitura
FETGATE I	Comando do ASIC para regular ALIM. I
GAMBIT	Projeto de renovação de uma gama de disjuntores
MITOP	Pré-acionador eletromecânico
SDL	Sinal de falta Led
SDT	Sinal de falta térmica
SDTAM	Sinal de falta térmica avançada de manobra
SDV	Sinal de falta Vigi
SIDE LED	Led para informações de falha
TC AR	Transformador de corrente de núcleo não magnético
TC FER	Transformador de corrente de núcleo ferromagnético

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
V	Volt
W	Watt
s	Segundo

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas e Siglas	xi
Lista de Símbolos	xii
Sumário.....	xiii
1 Introdução	1
1.1 Objetivo	1
1.2 O Grupo <i>Schneider Electric</i> e seus Mercados	1
1.3 Histórico do Grupo <i>Schneider Electric</i>	2
1.4 O Grupo <i>Schneider Electric</i> em Números	3
1.5 Os Concorrentes do Grupo <i>Schneider Electric</i>	4
1.6 O Centro Electropole d'Eybens (Grenoble)	4
1.7 Organização e Departamentos	5
2 Desenvolvimento	6
2.1 O Projeto GAMBIT	6
2.2 Generalidades.....	6
2.3 Operação esquemática de disjuntor de proteção eletrônica	9
2.4 Problemática	10
2.5 Arquiteturas do Projeto GAMBIT	11
3 Resultados e Discussões	12
3.1 Arquitetura ME4 Motor	12

3.1.1	Simulação Arquitetura ME4 BASIC.....	13
3.1.2	Resultados da simulação da Arquitetura ME4 BASIC	15
3.1.3	Simulação da Arquitetura ME4 ADVANCED	16
3.1.4	Resultados da simulação da Arquitetura ME4 ADVANCED.....	20
3.1.5	Comparação Simulação/Teste	20
3.1.6	Resultados Simulação/Teste.....	22
3.2	Arquitetura VIGI.....	22
3.2.1	Alimentação em Tensão (Alim. U)	23
3.2.2	Modelo Switch TNY274G	23
3.2.3	Resultados da Simulação da Arquitetura VIGI.....	25
4	Conclusão.....	26
	Bibliografia.....	27
	APÊNDICE A	28
	29
	ANEXO B - Code VHDL-AMS.....	30
	ANEXO C - TABELA DE CONSUMO	31

1 INTRODUÇÃO

A *Schneider Electric* é uma empresa competente e em plena expansão. A minha estadia, durante o período entre março de 2013 a agosto de 2013, foi em um posto de estagiário, como integrante do departamento de verificação de projetos de disjuntores eletrônicos, a fim de assegurar as funções de segurança elétrica do projeto denominado GAMBIT. O projeto é a renovação de uma linha de disjuntores, e será melhor abordado no tópico 2.1. Para a boa execução do estágio foi necessário o estudo do sistema embarcado dos disjuntores do projeto GAMBIT, compreender sensores e transformadores de correntes que estão integrados ao sistema, o bom domínio da ferramenta PORTUNUS e a utilização da linguagem VHDL-AMS.

1.1 OBJETIVO

O objetivo do estágio é construir um modelo dinâmico dos sistemas eletrônicos dos disjuntores do projeto GAMBIT, com a finalidade de fornecer dados sobre o funcionamento dos disjuntores em caso crítico. Estes casos críticos são quando a energia fornecida ao disjuntor, para seu funcionamento, está no limiar da desenergização do disjuntor.

1.2 O GRUPO *SCHNEIDER ELECTRIC* E SEUS MERCADOS

A *Schneider Electric* é uma empresa global especializada na gestão de energia, que está presente em mais de 100 países e atua em vários segmentos energéticos. No momento, o Grupo *Schneider* é uma empresa líder em gestão de energia, e os seus cinco principais mercados, produtos e soluções de cobertura são:

- Energia e Infraestrutura: processamento e distribuição de energia, medição e controle do consumo e qualidade de energia, criação e gestão de redes inteligentes, gestão de serviços públicos (controle de acesso, iluminação, ar condicionado e aquecimento ...), controle e supervisão do

processo, gestão descentralizada de energia, sistemas de pagamento antecipado que facilitem o acesso à eletricidade para os consumidores mais desfavorecidos.

- Indústria: comandos de interface homem-máquina, comandos de automação elétricos e mecânicos, controle de motores e de movimento, produtos para armários e gabinetes de sistemas elétricos, produtos para segurança de máquinas.
- Residencial: soluções de conforto, automação residencial (fiscalização, medição e controle de iluminação e ar condicionado, ...), redes de dados de imagem de voz, monitoramento, segurança e energia renovável.
- Edifícios: transformação e distribuição de eletricidade, gestão de serviços públicos (controle de acesso, iluminação, ar condicionado e aquecimento, ...), troca de dados (Voice-Data-Imagem, rádio), medição e controle do consumo e qualidade de energia e vigilância.

Assim, a *Schneider Electric Group* oferece produtos e soluções que permitem um conjunto exclusivo de soluções e serviços para otimizar o gerenciamento de energia elétrica que garante eficiência, inovação, segurança, conforto e facilidade de uso. Abaixo é apresentado o logotipo da *Schneider Electric*.



FIGURA 1 - LOGOTIPO DA SCHNEIDER ELECTRIC

1.3 HISTÓRICO DO GRUPO *SCHNEIDER ELECTRIC*

- Século XIX:

1836 irmãos Eugene e Adolphe Schneider retomam uma fundição abandonada em *Le Creusot*;

1891 Tornou-se especialista em armamento, a *Schneider* inova e se lança para o mercado da eletricidade;

- Século XX:

1920 Criação da *Merlin Gerin*;

1924 Criação da *Télemécanique*;

1968 Criação de *Modicon*;

1975 *Merlin Gerin* entra para o grupo *Schneider*;

1988 *Télemécanique* se juntou ao grupo *Schneider*;

1991 *Square D* se juntou ao grupo *Schneider*;

1996 *Modicon* torna-se uma marca do grupo *Schneider*;

1999 *Lexel*, líder mundial em distribuição de energia, integra a *Schneider*, que posteriormente, adota uma nova identidade, a *Schneider Electric* para marcar seu foco no domínio da eletricidade.

- Século XXI

2000-2009 Crescimento orgânico e contínua política de aquisição de empresas permitem a *Schneider Electric* se posicionar em novos segmentos de mercado: UPS (Fonte de Alimentação Ininterrupta), controle de movimento, automação e segurança de prédios (APC, Clipsal, TAC, Pelco Xantrex, ...). Torna-se uma especialista global em gestão de energia.

2010 *Schneider Electric* reforça a sua posição na vanguarda do desenvolvimento de *Smart Grid*, com a aquisição do negócio de distribuição de *Areva T & D*.

2011 *Schneider Electric* adquire *Telvent* para fortalecer soluções para *Smart Grids* e eficiência.

1.4 O GRUPO *SCHNEIDER ELECTRIC* EM NÚMEROS

Com uma força de trabalho de 130.000 profissionais em 100 países, a *Schneider Electric*, durante o ano de 2011, apresentou um volume de negócios de 22,4 bilhões de euros, e 39% desse volume são de negócios em economias emergentes. As vendas líquidas (volume de negócios) de 2011, foram obtidos como se segue por segmento: 58% de distribuição elétrica, controle especialista 27% e 15% em eficiência energética. As vendas líquidas 2011 demonstram a resiliência da empresa a uma situação difícil do mercado atual.

O grupo também está envolvido em questões de energia e mudança climática, porque se exige redução para metade das emissões de CO₂ e a demanda de energia duplicará até 2050, nesse contexto 57% da redução das emissões globais de CO₂ virão de eficiência energia. Então, serão desenvolvidas soluções integradas de gestão de energia nos setores industrial, comercial e residencial, para que seja possível economizar até 30% do consumo final energia elétrica.

No entanto, para desenvolver tecnologia e inovação, a empresa investe no fornecimento de soluções de gerenciamento de energia. É por isso que a *Schneider* dedica 5% do volume de negócios à pesquisa e desenvolvimento em produtos e soluções.

1.5 OS CONCORRENTES DO GRUPO *SCHNEIDER ELECTRIC*

Seus concorrentes são muitos, mas nenhum concorrente pode concorrer em todas as gamas de atuação do grupo *Schneider*. Os principais são:

- Os grandes grupos generalistas, tais como a *ABB*, a *General Electric*, *Mitsubishi Electric* e *Siemens*.
- Grupos internacionais especializados, como a *Omron* e a *Rockwell Automation*.
- Grupos de tamanho médio, cuja presença internacional é menos importante, principalmente em distribuição elétrica, como *Eaton*, *Hager* e *Legrand*.
- As empresas locais como *Gewiss* (Itália), *Simon* (Espanha), *Vacon* (Suécia), *SICK* (Alemanha), *STI* (Estados Unidos).

1.6 O CENTRO ELECTROPOLE D'EYBENS (GRENOBLE)

O centro *Electropole Eybens* é o principal centro de pesquisa e desenvolvimento da *Schneider Electric* no campo da engenharia elétrica, mas é especialmente o primeiro centro mundial *Schneider Electric* para a concepção e desenvolvimento de produtos elétricos. Nele trabalham 1.100 funcionários, altamente qualificados em área de 33.500 m². O mesmo representa um investimento de 60 milhões de euros. O *Electropole* também confirma a importância de Grenoble no campo do grupo em atividades de P&D, desde que aberto em 2005 o centro é dedicado à pesquisa fundamentalmente.



FIGURA 2 - O CENTRO ELECTROPLE SCHNEIDER ELETRIC À EYBENS (GRENOBLE).

O centro reúne linhas de negócio e funções relacionadas com a gestão, criação e fornecimento produtos: marketing, técnicas (eletromecânica, eletrônica, software, testes, avanço tecnológico), qualidade, industrialização, compra de componentes, mas também recursos humanos, gestão e comunicação.

1.7 ORGANIZAÇÃO E DEPARTAMENTOS

O grupo *Schneider Electric* localizado em *Eybens* e está organizado em vários departamentos e divisões. Eu estava enquadrado dentro do departamento da *PARTNER PROJECTS*. Este departamento é responsável por uma das três especialidades da *Schneider Electric*: o gerenciamento de energia elétrica. Tendo por vocação atender os desafios energéticos em todos os mercados, seus produtos de gestão de energia podem atender a quase todas as demandas na área.

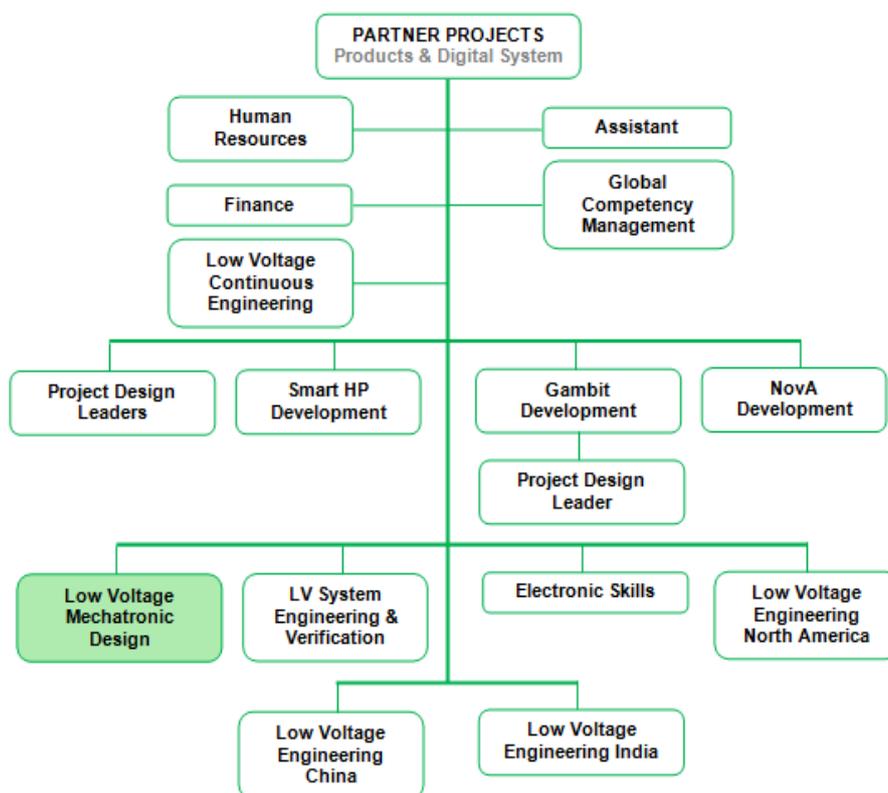


FIGURA 3- ORGANIZAÇÃO DO *PARTNER PROJECTS*.

O departamento *PARTNER PROJECTS* representa, assim, a espinha dorsal de todas as atividades do Grupo. O departamento inclui produtos completos de distribuição elétrica, energia, soluções de gerenciamento e serviços relacionados. Eu estive enquadrado na divisão *Low Voltage Mechatronic Design*.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 O PROJETO GAMBIT

GAMBIT é um projeto da *Schneider Electric* para a renovação de uma linha de disjuntores de baixa tensão, com alcance de até 160 A. Na figura 4 é representado o designe dos disjuntores GAMBIT. Mas primeiro, é necessário apresentar o sistema geral de um disjuntor de circuito eletrônico (sistema eletrônico) antes de chegar a problemática deste trabalho. Por razões de confidencialidade, algumas informações não foram detalhadas.



FIGURA 4 - DISJUNTOR MOTOR DO PROJETO GAMBIT.

2.2 GENERALIDADES

A *Schneider Electric* é uma empresa que trabalha em gestão, qualidade e monitoramento de energia, de modo que ela dedica muito esforço para o desenvolvimento de produtos de proteção, tais como: disjuntores. O disjuntor é um dispositivo eletromecânico, que atua como um interruptor que é acionado devido à curto-circuito ou sobretensão, com isso evitando danos. A função básica de um disjuntor é detectar picos de corrente, e em seguida, interromper o fluxo de corrente antes que os efeitos, mecânico e térmico, provoquem danos a instalação elétrica. Um

aspecto positivo do disjuntor é sua capacidade de rearmar várias vezes depois de cada falha.

No entanto, é necessário rever a principal função de um disjuntor, ele deve ser capaz de interromper a corrente em um tempo determinado, de uma instalação elétrica jusante, mas assegurando que não interromperá a alimentação inutilmente. De fato, se um disjuntor protege o circuito de um motor, é imprescindível que o disjuntor desarme por uma razão válida. De um ponto de vista funcional, o comando de disparo é previamente definido por curvas de disparo.

O disjuntor termomagnético realiza uma proteção de curto retardo, que é uma proteção de sobrecarga, com finalidade de proteção contra o envelhecimento prematuro dos cabos. Uma segunda proteção é a curto-circuito, onde a corrente atinge valores 10 vezes maiores que a corrente nominal I_n , portanto, uma corrente particularmente importante e que é necessário a sua interrupção (em 20ms).

. A curva de proteção típica de um disjuntor termomagnético é apresentada na figura 5, No eixo das abscissas encontramos a corrente eficaz através do disjuntor, e no eixo das ordenado, o tempo.

Para uma dada corrente, existe um limite de tempo em que é necessário um gatilho a menos que a corrente se encontre à esquerda da corrente nominal, então não existe qualquer falha na linha, que felizmente é o caso na maior parte do tempo.

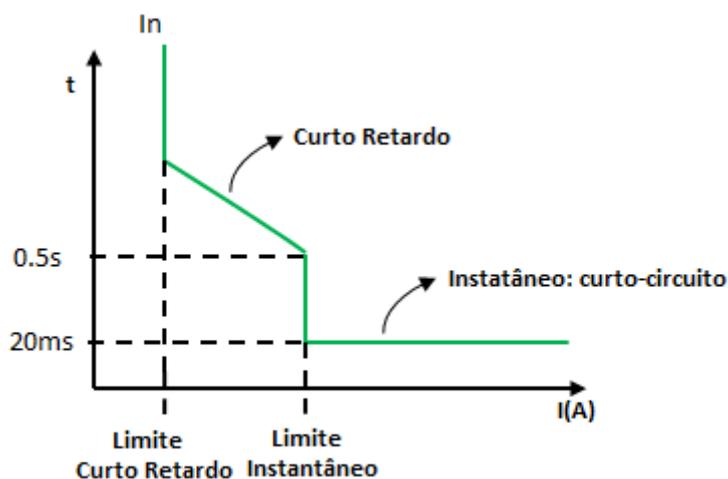


FIGURA 5 -CURVA TIPICA DE UM DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO.

No entanto, atualmente não há a necessidade de disjuntores mais eficientes para que possam agregar valor e funcionalidade. O primeiro recurso a ser adicionado é uma

proteção mais eficiente chamada retardo longo (curto-circuito de baixo valor), uma vez que os curtos-circuitos são de dois tipos:

- Os curtos-circuitos de baixo valor (retardo longo);
- Curtos-circuitos francos, de alto valor de corrente.

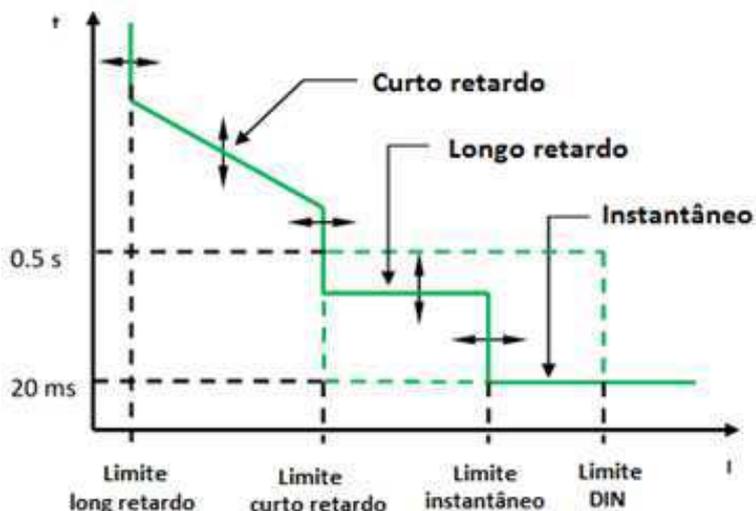


FIGURA 6 - CURVA DE PROTEÇÃO DE UM DISJUNTOR DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA.

Portanto, é necessário dois limites para curto-circuito a fim de diferencia-los. Foi acrescentado um limite de retardo longo, que é uma corrente considerável, e que deve ser interrompida rapidamente, em 500ms. Este limiar é ajustável no tempo, podendo o usuário modifica-lo. A curva completa de proteção de um disjuntor de proteção eletrônico pode ser observada na figura 6.

Além disso, um disjuntor termomagnético tem apenas o poder de interromper a corrente do circuito, e é por isso que a *Schneider* está desenvolvendo disjuntores com sistemas embarcados eletrônicos, para agregar funcionalidade e valor aos produtos.

Assim, o projeto GAMBIT tem como objetivo de renovar uma gama de disjuntores. Esta gama de disjuntores é dividida em dois tipos de proteção: distribuição e motor. A *Schneider* procura, acima de tudo, desenvolver sistemas confiáveis e robustos, cuja vida útil deve ser de cerca de 20 anos. Assim, cada componente eletrônico, cada material, ou cada peça mecânica é cuidadosamente selecionada, e o funcionamento minuciosamente estudado, a fim de se considerar os piores casos de utilização e fadiga do sistema.

2.3 OPERAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DISJUNTOR DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA

Primeiramente, no caso de um disjuntor de proteção eletrônico, a decisão de desarme é feita por um ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*), que baseia-se em um conjunto de curvas de proteção pré-programadas. Os parâmetros, limites de retardo longo e curto, podem ser ajustáveis pelo usuário. Então significa que o ASIC é um elemento chave do sistema. O esquema de operação está representado na figura 7.

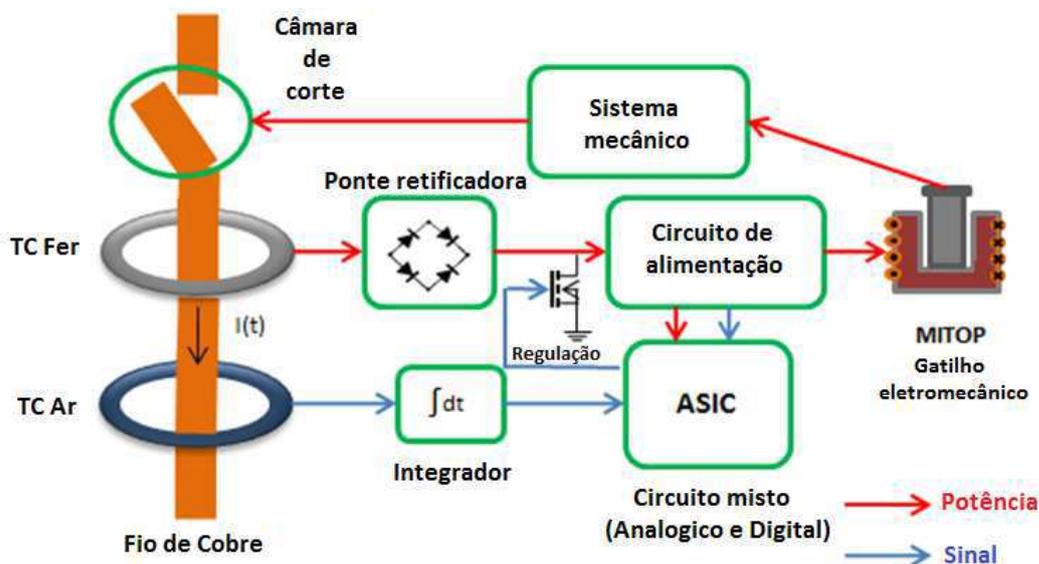


FIGURA 7 - DIAGRAMA GERAL DE UM DISJUNTOR DE PROTEÇÃO ELTRÔNICA

O disjuntor é ligado em série com a linha "primária" e será capaz de abri-la. Em torno do fio de cobre é encontrado dois transformadores de corrente: O TC Ferro e TC Ar. O TC Ferro é feito de metal ferroso, de modo a criar um campo magnético e portanto uma corrente no secundário, alta o bastante, para o alimentar o circuito. O TC Ar é uma bobina de Rogowski, isto é, um bobina envolta em um toróide não magnético para a medição precisa da derivada da corrente que atravessa na linha, e também não havendo o fenômeno de saturação, tendo uma boa isolamento magnético do resto da linha. Ao integrar o sinal que sai do sensor de Rogowski, o sistema será capaz de conhecer a corrente primária $I(t)$ a cada instante, e o ASIC poderá saber se deve enviar uma ordem de interrupção ou não.

Voltando a alimentação do sistema, o papel do TC Ferro é o fornecimento de uma corrente senoidal (visto que o núcleo do transformador não esteja saturado), e que

posteriormente é retificado por uma ponte de diodos. Inicialmente, a energia fornecida é para alimentar as seguintes partes do sistema:

- Alimentar o ASIC.
- Carregar os capacitores (Mitop).

O Mitop é um atuador electromecânico, que é utilizado para acionar o sistema mecânico de abertura da linha. O Mitop consiste em um pequeno motor linear, apresenta um núcleo envolvido por uma bobina. Dentro do núcleo há um êmbolo magnético que é pressionado contra uma mola. Quando o ASIC envia uma ordem de disparo, os capacitores do Mitop rapidamente descarregam na bobina em torno do núcleo do atuador Mitop. A força da mola é, portanto, suficiente para propulsionar o núcleo à um batente mecânico, iniciando assim o processo de desencadeamento mecânico, o que resulta na abertura do circuito primário. Esta abertura súbita gera um arco elétrico que é dissipado na câmara de corte (arco voltaico).

No entanto, em operação normal, o Mitop permanece em posição de disparo, ou seja, a carga aplicada pelo TC Ferro acumula nos capacitores de armazenamento. Portanto, é essencial controlar a carga dos capacitores, em outras palavras, é a necessidade de ser capaz de regular o nível de tensão, o que é feito por meio de um MOSFET controlado pelo ASIC.

Assim, é o ASIC que regula a sua própria fonte de alimentação, e em paralelo, prepara um possível disparo. Uma vez que a corrente primária do TC Ferro é cortada, ele está desligado. Em um quadro crítico, o grande problema é: a partir de um estado desligado, o circuito primário ser fechado, e imediatamente depois existe uma falha que exige que o ASIC envie uma ordem de disparo. O sistema deve estar preparado em 20ms para abrir o circuito primário.

2.4 PROBLEMÁTICA

Como já visto, disjuntores de proteção eletrônica apresentam casos críticos devido a insuficiência de energia fornecida pela alimentação. Para esses problemas, este estágio foi encarregado de desenvolver um modelo de consumo dinâmico que poderá simular os casos críticos do sistema eletrônico, e é claro, outros parâmetros, como verificação de modelos já existentes. Por exemplo:

- Simular o tempo de inicialização do sistema eletrônico;

- Consumo de cada funcionalidade acrescentada ao sistema, e o impacto sobre as reservas de energia (capacitores).
- Se é possível realizar um disparo durante a inicialização.

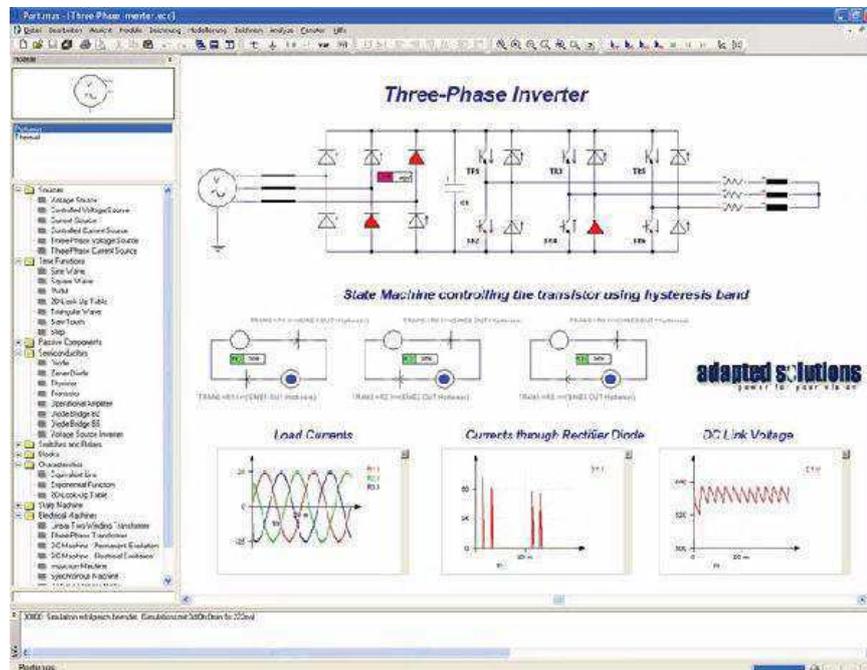


FIGURA 8 - SOFTWARE PORTUNUS.

O *software* que foi usado para construir o modelo de consumo é o Portunus. O Portunus é um *software* de simulação para análise de sistemas com foco em sistemas mecatrônicos. A modelagem gráfica de diferentes sistemas é possível a partir de sistemas e máquinas de estado. O Portunus fornece opções para criar modelos definidos pelo usuário.

O Portunus é um sistemas único de simulação multi domínio. Com essa ferramenta de simulação é possível modelar boa parte de um sistema mecatrônico, que é solicitado dentro da mesma interface. É compatível com o padrão mais recente da norma IEEE, a linguagem VHDL-AMS integra o Portunus, que é o software ideal para resolver o problema.

2.5 ARQUITETURAS DO PROJETO GAMBIT

GAMBIT tem um cartão eletrônico que faz todo o monitoramento, medição e diagnóstico na linha trifásica. Existem dois modelos de cartões eletrônicos: ME4 motor (proteção do motor) e VIGI (distribuição de proteção). Na seção 3 será apresentado as duas arquiteturas dos dois sistemas, os resultados obtidos por meio de simulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ARQUITETURA ME4 MOTOR

Há duas versões para o ME4 motor, a placa BASIC e a ADVANCED. A BASIC é constituída com ASIC, três TCs de Ferro (alimentação em corrente - Alim. I), três TCs Ar, os seletores (Ir e Classe), o Mitop, Fetgate I (sinal de controle), LED ON, conector de teste, e E²PROM (ASIC). A funcionalidade de cada componente encontra-se descrita a seguir:

- ASIC: responsável para a medição da linha trifásica, diagnóstico e a decisão da linha ser aberta.

- 3 TC de Ferro: responsável por fornecer a energia necessária para o sistema para que ela possa funcionar corretamente.

- 3 Ar TC: sensores de corrente responsáveis de mensurar as correntes na linha trifásica.

- Alim. I (Alimentação em corrente): o sistema de armazenamento e gerenciamento de energia.

- Seletor Rotativo Ir: regulação responsável por determinar a corrente nominal do disjuntor em operação. A corrente nominal (In) irá ser determinada por Ir, o que pode variar entre 0,2 e 1,0 vezes 160A, ou seja $In = Ir * 160A$.

- Seletor de Classe: escolha da classe (B, C ou D);

- Mitop: atuador eletromecânico, que converte a ordem e

- Fetgate I: sinal gerado pelo ASIC para ajustar a corrente fornecida pelo Alim. I, o seja, regulando as tensões dos capacitores de reserva.

- Conector Teste: é o contato metal que permite a ligação entre ASIC e um computador (usuário) para fazer ajustes nos parâmetros do disjuntor, que não são ajustados pelos seletores rotativos;

- LED ON: led responsável por sinalizar que o disjuntor está em funcionamento;

- E²PROM (ASIC): é responsável por armazenar 56 parâmetros transmitidos pelo conector teste;

Na figura 9 há um diagrama explicativo de ME4 motor BASIC.

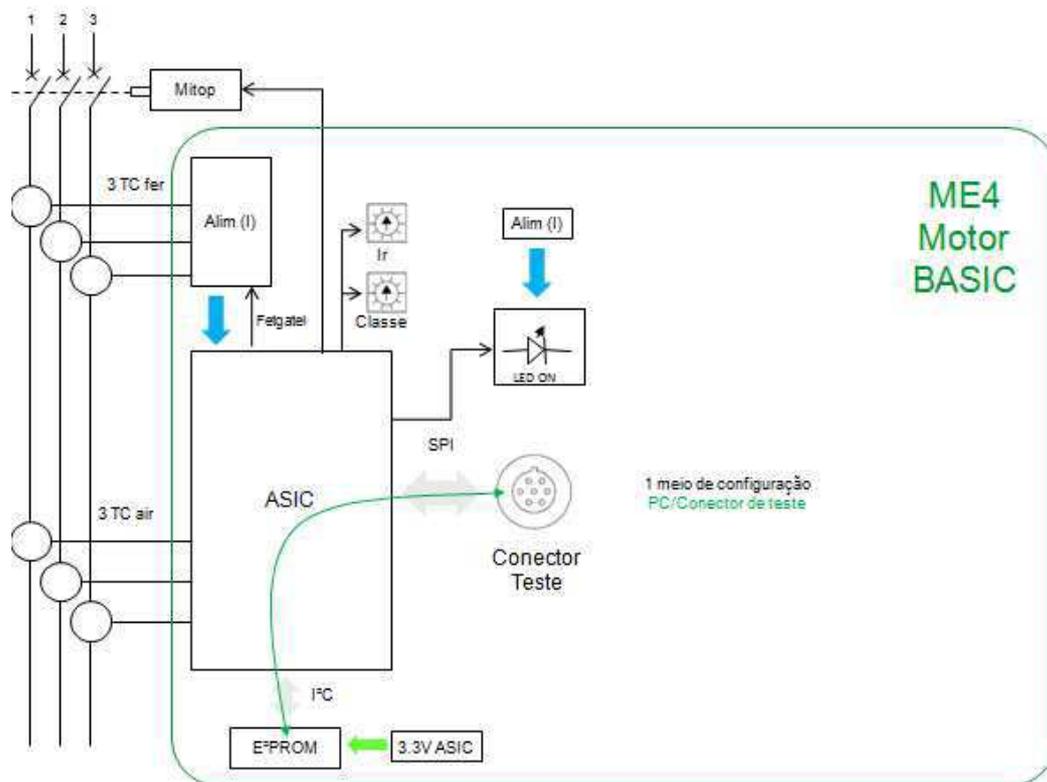


FIGURA 9 - ARQUITETURA ME4 MOTOR BASIC.

3.1.1 SIMULAÇÃO ARQUITETURA ME4 BASIC

A arquitetura ME4 motor BASIC é o sistema mais simples possível dentro da gama de disjuntores, portanto, será esse modelo que será tomado como base para início das simulações. Detalhes da simulação estão na figura 10.

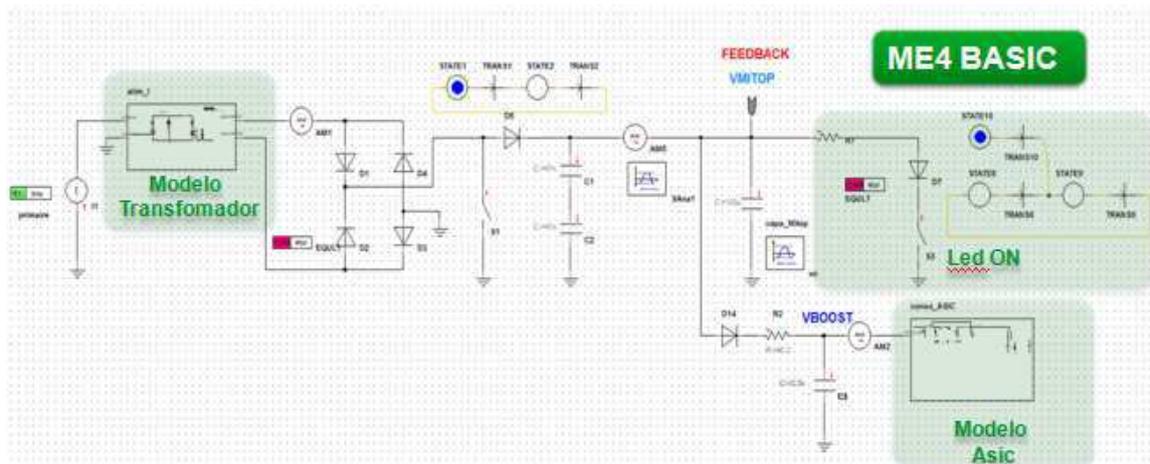


FIGURA 10 - ARQUITETURA DE CONSUMO DE BASE ME4.

- **Modelo transformador de corrente (TC Ferro):** um modelo para prever casos críticos, que foi feito a partir da gama antiga de disjuntores (Argos).

- **Alimentação I (Alim I):** é composto de uma ponte retificadora, de um MOSFET (switch), capacitores de reserva de energia.

- **LED ON:** é ativado a cada 35ms após o capacitor Mitop atingir o valor de 10 volts.

- **Modelo de Consumo ASIC:** modelo já desenvolvido pela *Schneider*.

O primeiro resultado a ser observado é a tensão do capacitor Mitop e a corrente primária e secundária do modelo de transformador de corrente. A corrente foi variada entre 23.0A e 27.5A.

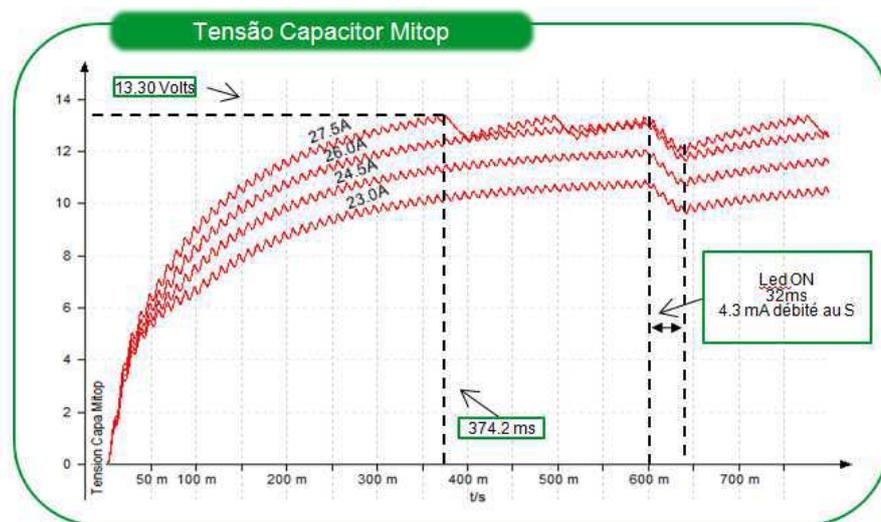


FIGURA 11 - TENSÃO DO CAPACITOR MITOP.

Analisando a figura 11, as curvas de tensão do capacitor Mitop, já se pode observar que não é possível ter um tempo de inicialização antes de 20ms. Outro dado importante, é que para uma tensão de 13,30 volts, é requerida uma corrente no circuito primário de 27.5A, este limite é importante para ativação do sinal AUTOMI, que é um parâmetro do ASIC que ativa o microcontrolador na versão ADVANCED ME4. Na tabela podemos observar como a corrente no secundário diminui com o aumento da corrente no primário

TABELA 1 - CORRENTE DE SAIDA DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE.

Corrente no Primário (A)	Corrente no Secundário (mA)
23.0	5.49
24.5	5.00
26.0	4.68
27.5	4.62

O próximo passo é adicionar o modelo de consumo da E²PROM (ASIC) e observar o impacto na tensão do capacitor Mitop. O E²PROM (Asic) é alimentado por uma fonte de 3.3V, que é fornecida pelo próprio ASIC, por isso o modelo de consumo da E²PROM foi colocado dentro do modelo de consumo do ASIC. O funcionamento do E²PROM ocorre após a tensão no capacitor Mitop estiver acima de 3.3V volts. O seu consumo em corrente é de 0.6mA com uma duração de 175µs espaçado de 8.2ms durante 500ms. O comportamento da corrente da memória EPROM é mostrado na Figura 12.

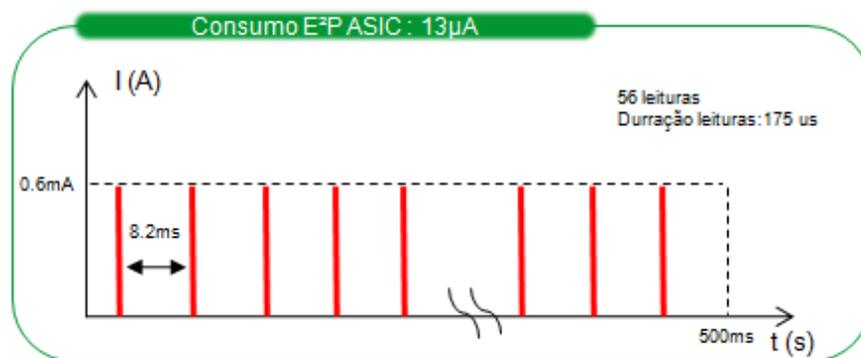


FIGURA 12 - CONSUMO E²PROM (ASIC).

Na figura 13 é visto a simulação com o consumo da memória EPROM. Em relação ao tempo da tensão do condensador Mitop, não há nenhuma mudança, uma vez que a corrente média recebida pelo E²PROM é 13µA.

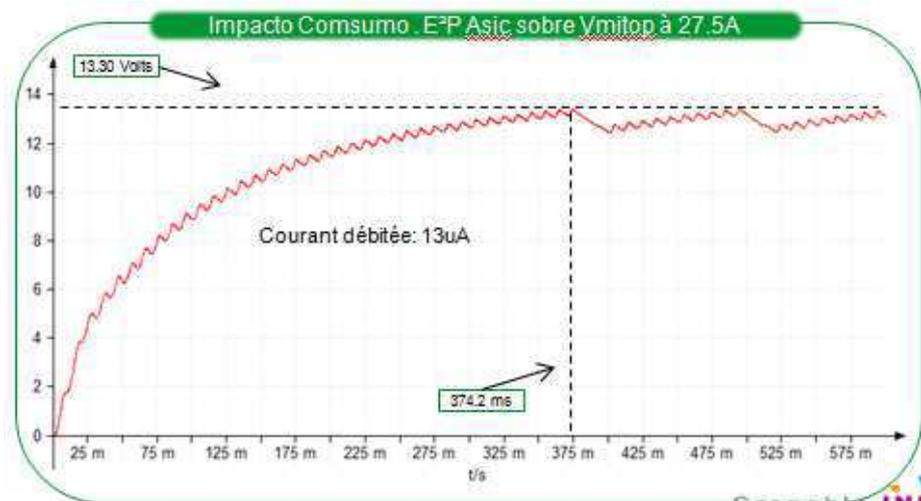


FIGURA 13 - IMPACTO CONSUMO: E²P ASIC SOBRE VMITOP À 27.5A.

3.1.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA ARQUITETURA ME4 BASIC

Em relação as simulações da arquitetura ME4 BASIC, há apenas um caso crítico, no momento da inicialização do disjuntor, e em seguida houver uma falha que

seja necessário o disparo do disjuntor em 20ms. Contudo, o modelo do TC Ferro utilizado nas simulações não foi feito para casos de curto-circuito, ou seja, não se sabe como ele se comportara no caso de uma falha de curto-circuito. Como a carta ME4 BASIC é bastante simples, ela pode acionar um disparo em 27.5A.

3.1.3 SIMULAÇÃO DA ARQUITETURA ME4 ADVANCED

A arquitetura ME4 ADVANCED é uma versão com mais funcionalidades em relação a carta M4 BASIC. Ela foi feita para oferecer diagnósticos de falta avançados e outros meios de comunicação ao usuário. Foi acrescentado a arquitetura ME4 BASIC um microcontrolador, uma E²PROM NFC e um SideLed.

A arquitetura da carta ME4 ADVANCED é representada na figura 14. Analisando a figura 14, pode-se ver que existe dois meios de configuração além dos seletores: o conector de teste e a E²PROM NFC (micro).

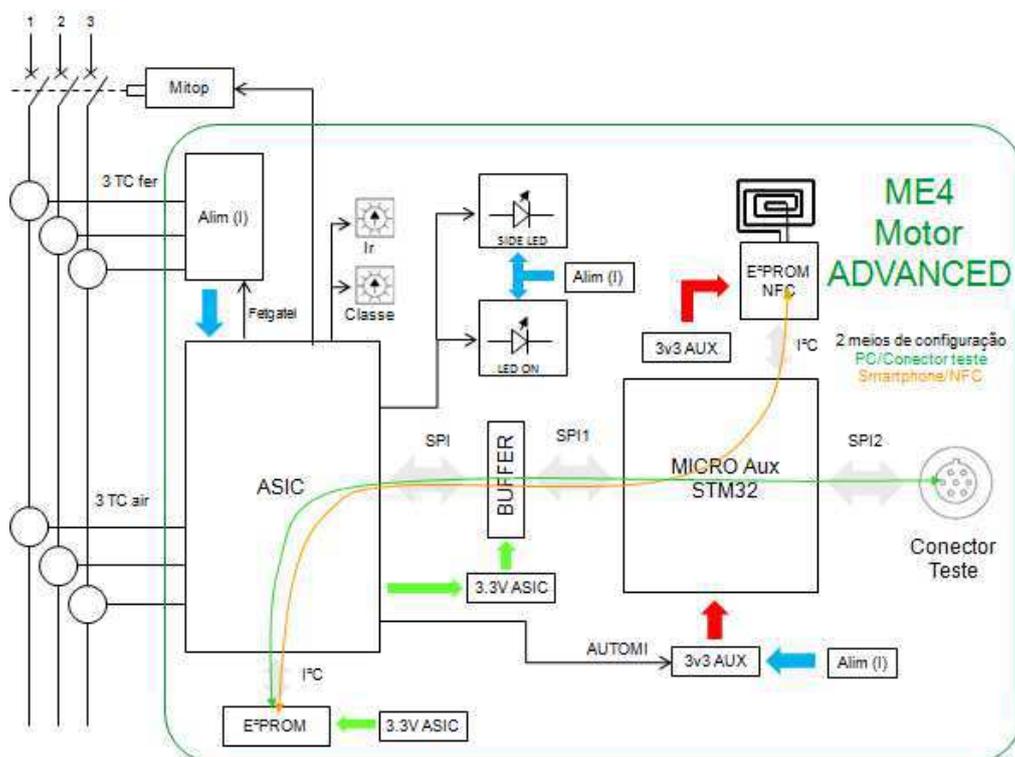


FIGURA 14 - ARQUITETURA ME4 ADVANCED.

A funcionalidade de cada componente é descrito em seguida.

- **SIDELED**: sua função é enviar mensagens de falha térmica, alarmes de sobrecarga chamados SDx. A lista falhas SDx encontram-se a seguir :

- SDTAM (Sinal de falha térmica avançada de manobra);
- SDT (Sinal de falha térmica);

- SDV (Sinal de falta Vigi);
- SDL (Sinal de falta Led);

O significado de cada defeito não será detalhado. A transmissão de informação SDx é feita para a operação de um LED acionado pelo ASIC, e de acordo com o tempo de ativação do SidLed uma falha SDx será associada.

O sinal enviado pelo SideLed é ilustrado na figura 15.

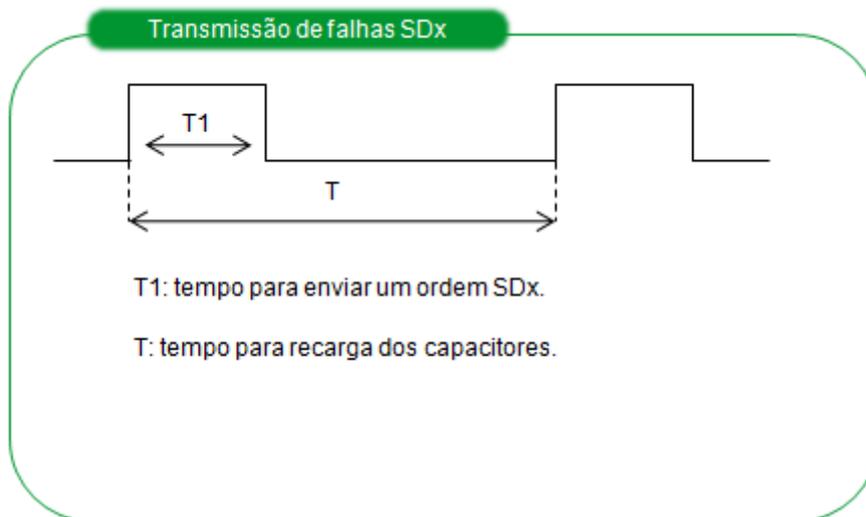


FIGURA 15 - TRASMISSÃO DE FALHAS SDX.

O modelo do SidLed foi feito utilizando máquinas de estados, e o estado de transição corresponde a uma tensão do capacitor Mitop superior a 10.6 volts. Tudo isso foi feito para certificar que o SideLed será alimentado com uma corrente mínima de 20 mA. O tempo de ativação T1 é de 3ms em um período T de 400ms. O modelo foi implementado e é apresentado na Figura 16.

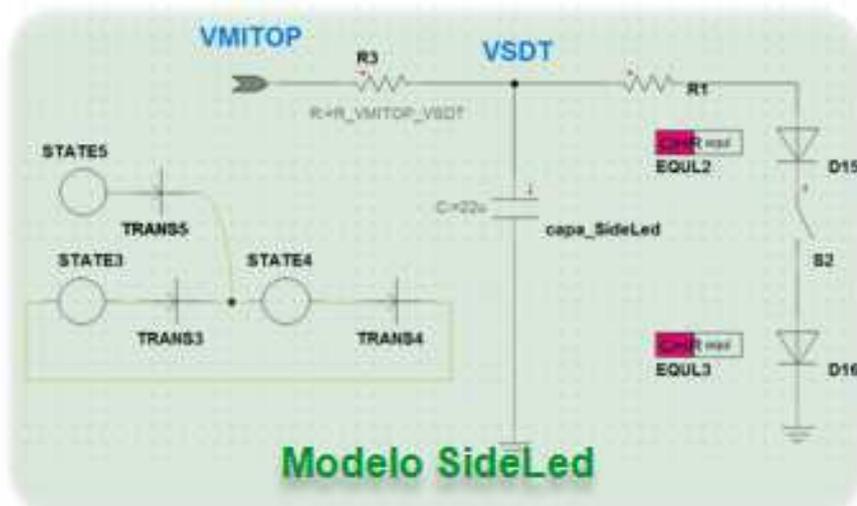


FIGURA 16 - MODELO SIDLED.

- Microcontrolador: funciona como passarela entre o conector de teste e o ASIC, faz diagnósticos de falhas avançadas a cada 500ms com os registro na memória do ASIC, e pode fazer o disjuntor disparar em caso de falha. Ele consome $13\mu\text{A}$ durante 5ms em período T de 500ms. O microcontrolador entra em operação após ativação do sinal AUTOMI, sinal gerado pelo ASIC. O AUTOMI é ativado quando a tensão do capacitor Mitop alcança 13.30 volts. Se a tensão cai abaixo de 11.20 volts, o sinal AUTOMI será desativado, e posteriormente o microcontrolador. Na figura 17 é representado o modelo do consumo do microcontrolador implementado. Na figura 18 é mostrado mais detalhadamente o consumo do microcontrolador e suas tarefas quando está ativo.

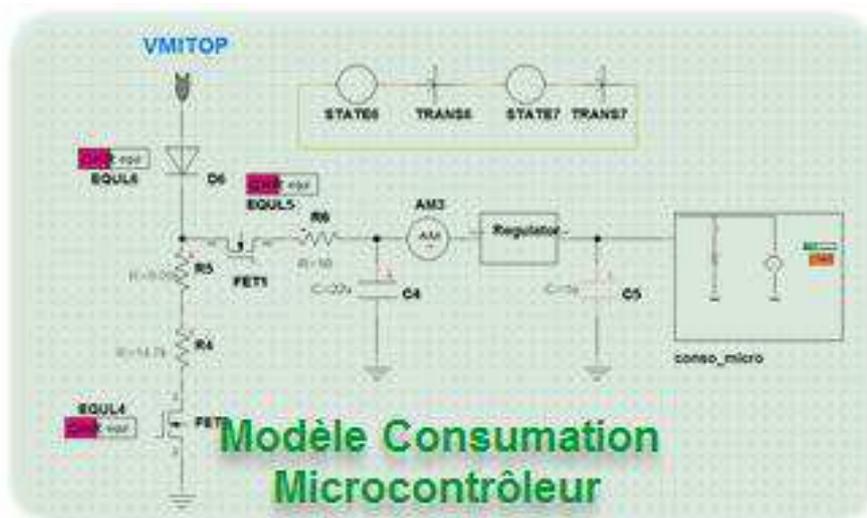


FIGURA 17 - MODELO DE CONSUMO MICROCONTROLADOR.

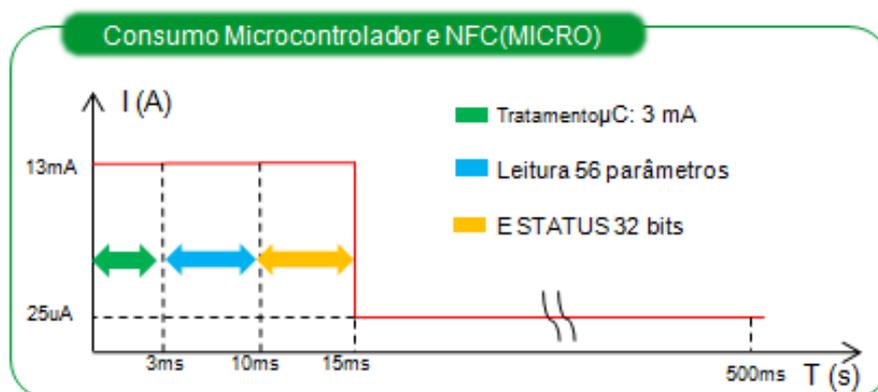


FIGURA 18 - CONSUMO MICROCONTROLADOR E NFC.

O regulador tensão do apresentado na figura 17, foi implementado com a linguagem VHDL_AMS, uma vez que não há um padrão do regulador especificado no Portunus. O código do regulador de tensão pode ser encontrada no Anexo I. A primeira análise foi feita acrescentando o consumo do SIDELED, em seguida, foi analisado o impacto sobre a tensão do capacitor MITOP e capacitor SidLed. Então, a primeira curva é o impacto do capacitor SidLed sobre o tempo de súbita da tensão do capacitor Mitop a uma corrente de 27.5A no primário. A figura 19 é apresenta a simulação deste caso.

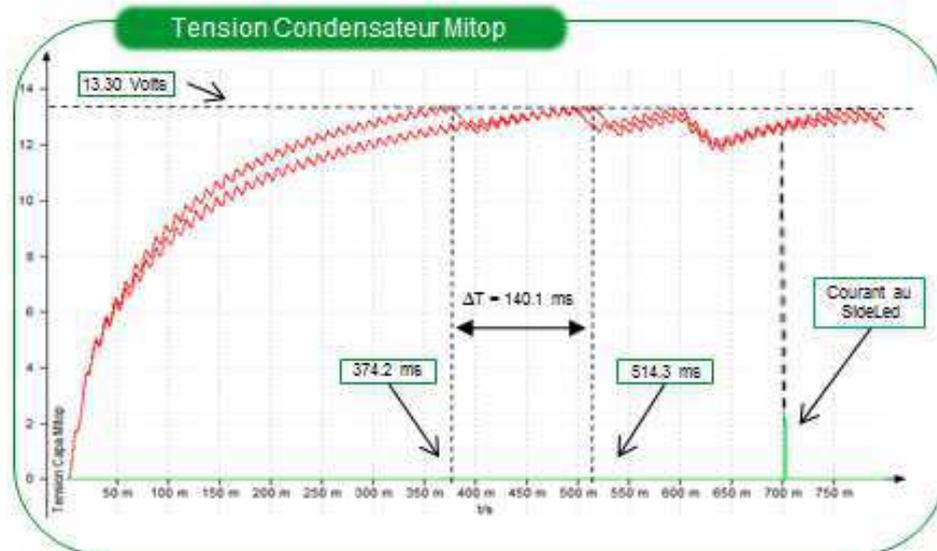


FIGURA 19 - TENSÃO DO CAPACITOR MITOP.

A figura 20 mostra a tensão do capacitor SideLed durante uma transmissão de uma informação SDx e a corrente que passa através do SidLed em verde na figura.

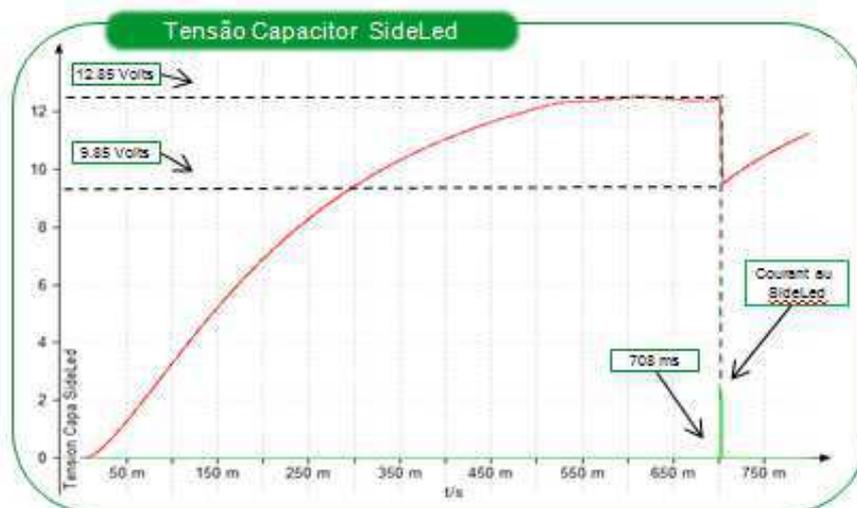


FIGURA 20 - TENSÃO DO CAPACITOR SIDELED.

É perceptível que o tempo de subida da tensão do capacitor Mitop, por isso, se acontecer o uma falha instantânea o ASIC não será capaz de enviar a mensagem de

falha. Foi mudado a constante RC do SidLed para constatar se é possível ativar a SideLed antes de 40ms. Inicialmente, a resistência entre os capacitores Mitop e SideLed era de 5.9k Ω . Foi variado entre 1 KV e 6k Ω . A figura 21 ilustra a resposta da mudança na resistência.

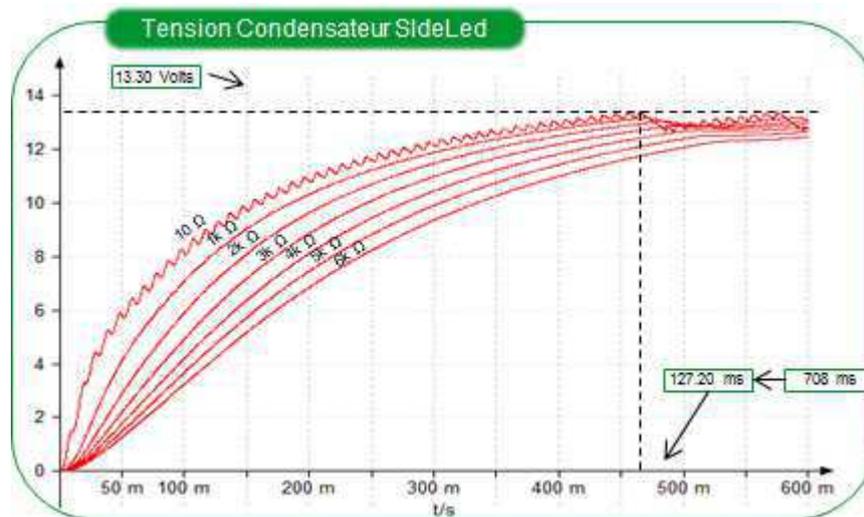


FIGURA 21 - TENSÃO DO CAPACITOR MITOP (RC).

O modelo de consumo do microcontrolador foi acrescentado posteriormente. Os resultados serão abordados na seção 3.1.5.

3.1.4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA ARQUITETURA ME4 ADVANCED

Em relação as simulações da carta ME4 ADVANCED, existe o mesmo caso crítico em inicialização, que é necessário disparar em 20ms segundos após armar o disjuntor. Um outro caso crítico é o tempo de subida da tensão do capacitor para enviar informações SDx. A carta ME4 ADVANCED não é capaz de enviar antes de 40 ms em inicialização. Existe também o atraso causado pelo capacitor SideLed no tempo de subida da tensão do capacitor Mitop. Tendo uma corrente no circuito primário de 27.5, haverá um atraso de 140ms.

3.1.5 COMPARAÇÃO SIMULAÇÃO/TESTE

Como já foi dito, a arquitetura ME4 ADVANCED é a arquitetura ME4 BASIC com mais funcionalidades acrescentadas. Então, como os modelos foram finalizados, é necessário realizar testes sobre a carta ME4 ADVANCED (carta com mais

funcionalidades) com a equipe GAMBIT, para assegurar que o modelo corresponderá à realidade. Utilizando um fonte de corrente alternada, um TC Fer Argos e uma carta ME4 ADVANCED. O primeiro teste foi injetado 36A sobre o primario TC fer Argos. Os dados foram adquiridos por um osciloscópio: tensão do capacitor Mitop, AUTOMI e Fetgate I. O segundo teste, foi injetado 40A no TC Fer Argos.

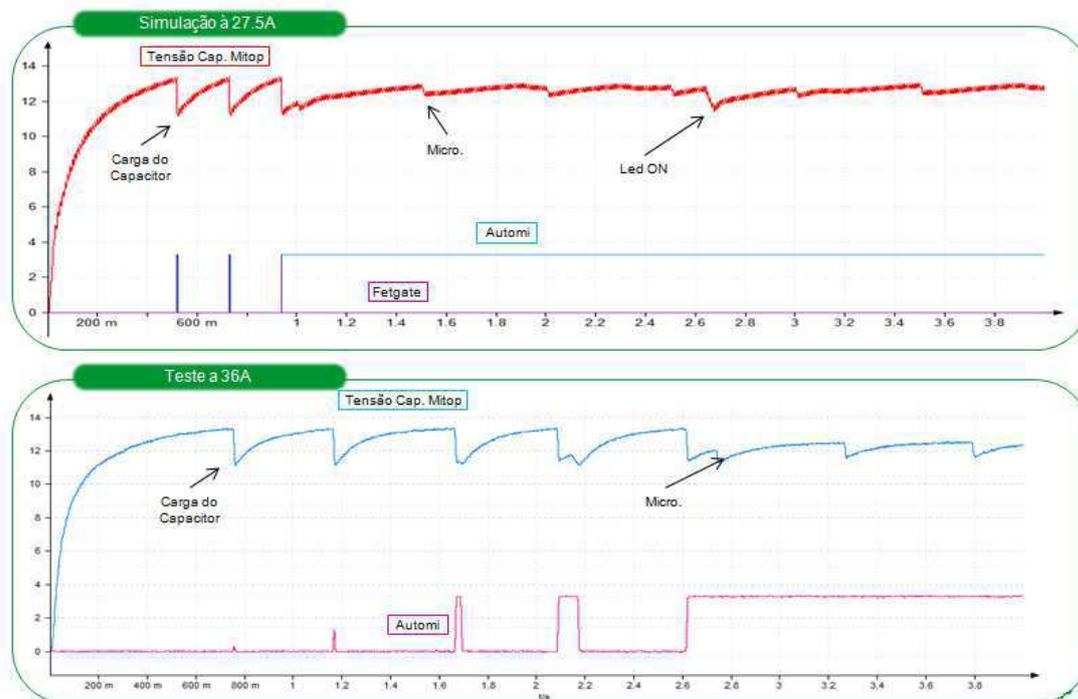


FIGURA 22 – TESTE COM CORRENTE DE 27.5A E MODELO 36A.

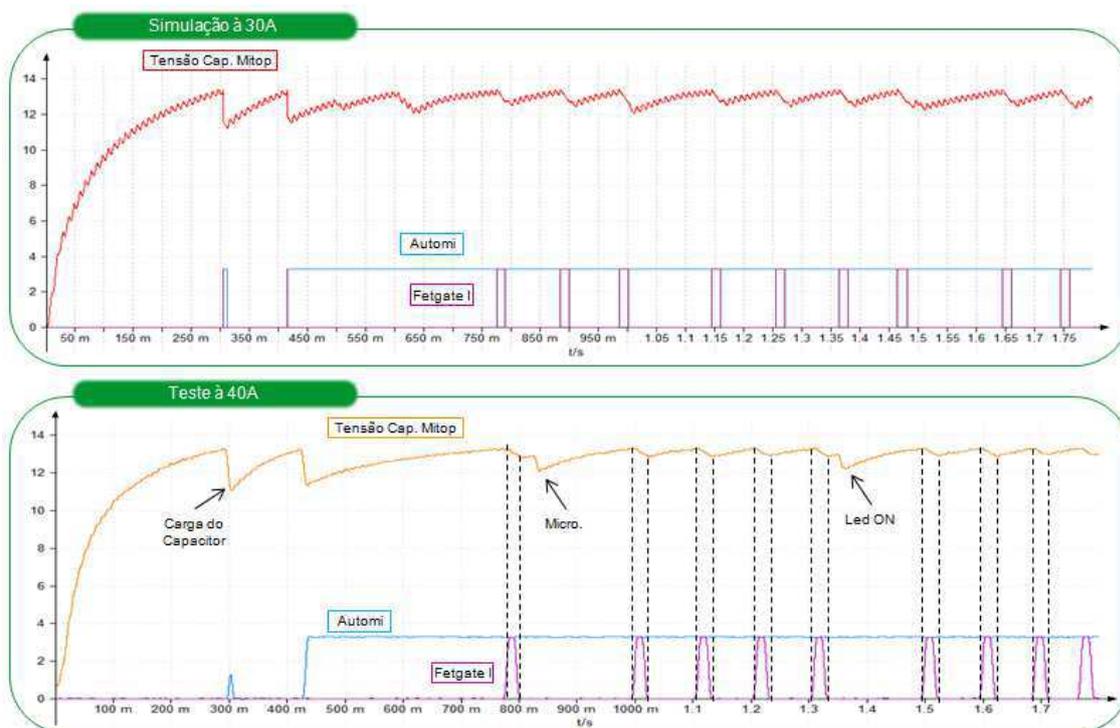


FIGURA 23 – ENSAIO A 40A E MODELO 27.5A.

3.2.1 ALIMENTAÇÃO EM TENSÃO (ALIM. U)

A fonte alimentação em tensão é usada para suprir alimentação do disjuntor em caso de inicialização ou em disparo. A fonte de alimentação é composta por um limitador de tensão, o transformador de isolamento e um interruptor (TNY274G) para limitar a corrente no primário do transformador, ou seja, é um conversor flyback. O diagrama do modelo em Portunus da alimentação em tensão segue na figura 25.

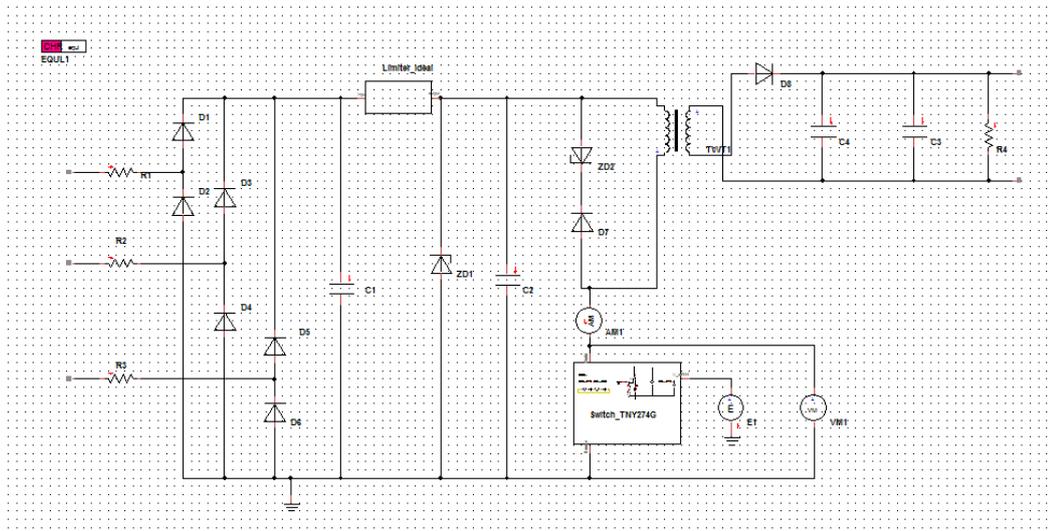


FIGURA 25 - MODELO DE ALIMENTAÇÃO EM TENSÃO.

O limitador de tensão foi modelado em VHDL-AMS, por causa da simplicidade e rapidez para modelá-lo, e o código encontra-se no anexo B. Contudo, o Switch TNY274G tem um comportamento particular e complexo, então foi necessário realizar um modelo mais elaborado. O modelo do Switch será detalhado na seção seguinte.

3.2.2 MODELO SWITCH TNY274G

O Switch TNY274G é um interruptor que não tem o comportamento ON (baixa resistência) e OFF (alta resistência) como de costume. Ele tem duas condições de operação: ON e OFF. Durante o estado ON a corrente aumenta linearmente com a tensão no interruptor e dividido pela indutância do transformador $I = V / L1$. A corrente é interrompida quando atinge 250mA, mas há um atraso de 150ns, onde o Switch deixa a corrente aumentar. E, durante o estado OFF, onde é caracterizado como uma resistência de alta impedância. Durante o estado ON a corrente tem um frequência de 132kHz.

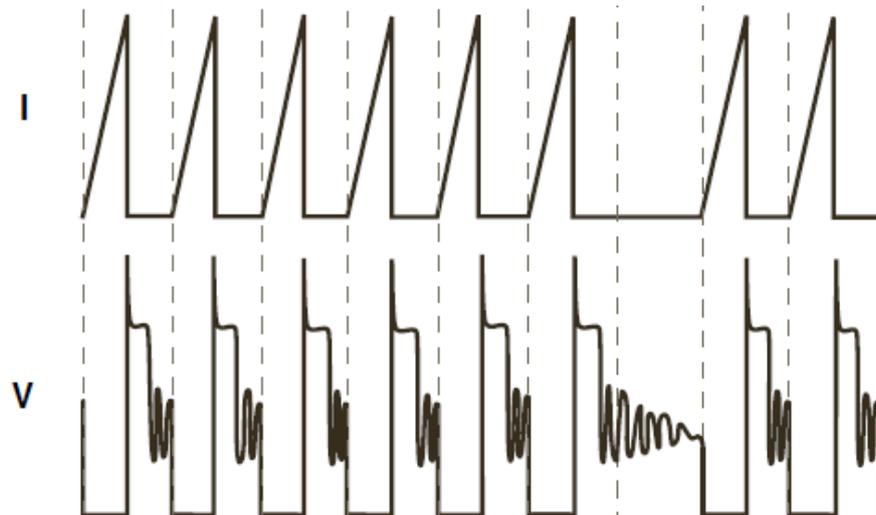


FIGURA 26 - CORRENTE E TENSÃO SWITCH TNY274G.

O controle do Switch é feito automaticamente, que é controlado pela tensão de entrada, e limita a potência transmitida. O comportamento da corrente e tensão do Switch TNY274G são representadas na figura 26.

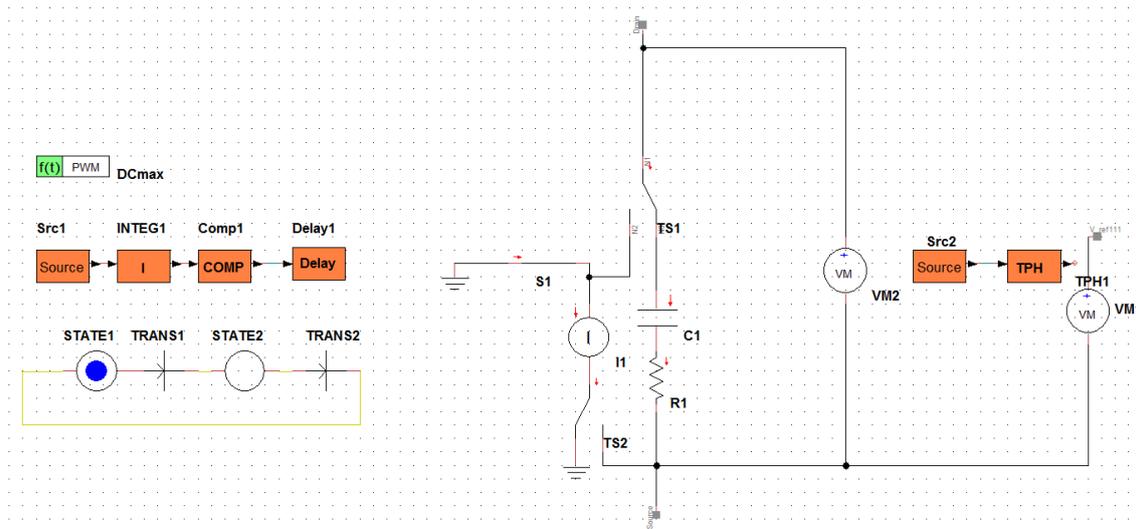


FIGURA 27 - MODELO TNY274G.

A figura 27 representa o modelo do *Switch* TNY274G. Para aumentar linearmente a corrente no *Switch* é utilizado um integrador (INTEG1). Em seguida, quando a corrente ultrapassa o valor de 250mA, a mesma é interrompida após um atraso de 150ns. O DC_{max} é tempo máximo que é permitido ao Switch ficar em estado fechado. Ele ficará no estado OFF até quando a tensão VM1 atingir os 12,6 Volts, e o estado ON até quando a tensão VM1 alcançar os 11,5 volts.

3.2.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA ARQUITETURA VIGI

Na arquitetura VIGI existe a necessidade de analisar dois casos, o primeiro caso em inicialização e o segundo caso em curto-circuito. O primeiro caso foi assegurado que haverá carga nos capacitores antes de 20ms. A figura 28 representa que é possível carregar os capacitores.

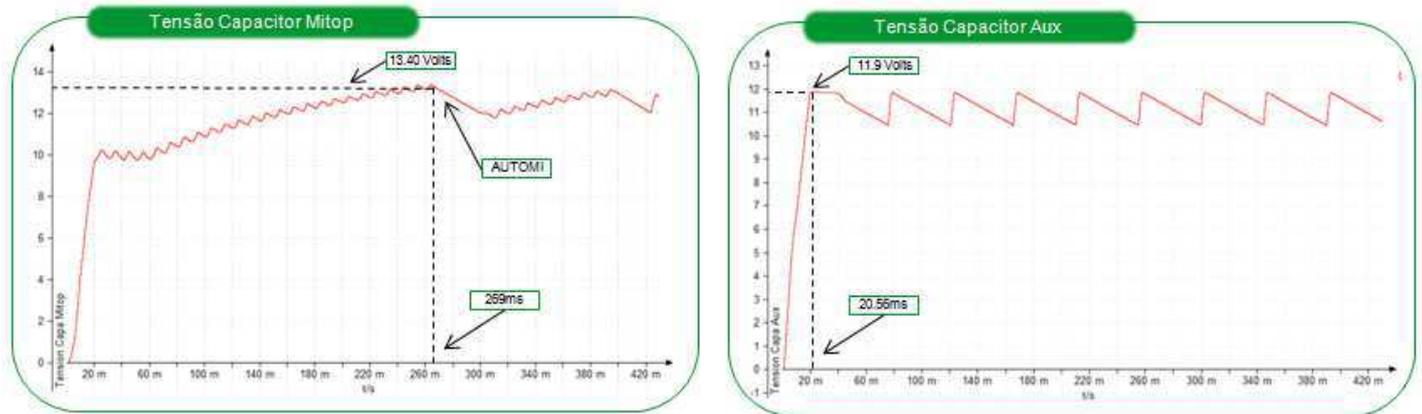


FIGURA 28 - CARGA DOS CAPACITORES CARTA VIGI

4 CONCLUSÃO

Sobre o meu estágio realizado na *Schneider Electric*, posso afirmar que essa experiência profissional contribuiu significativamente com minha vida profissional. Evidentemente, o estágio me acrescentou um grande valor de conhecimentos técnicos sobre fontes de alimentação, concepção de circuitos eletrônicos, competências em comunicação visando os mercados e meio ambiente, e mais importante, a relação com uma equipe muito competente de R&D.

Além disso, minha contribuição foi bem recebida pela equipe GAMBIT pela implementação do modelo dinâmico eletrônico. Foi feito um modelo de gestão de energia capaz de prever o comportamento do consumo, e também, a possibilidade de refinar a arquitetura dos circuitos eletrônicos de proteção do projeto GAMBIT. Em paralelo aos trabalhos realizados foi levantado o tempo necessário para cada atividade realizada, essa informação está no APÊNDICE A. Minha última contribuição foi a elaboração de documentos para servir de base de dados para projetos futuros.

BIBLIOGRAFIA

Ernst Christen Beaverton, Or (1999), « Analog and Mixed-Signal Modeling Using the CHDL-AMS Language ».<http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/vhdl/doc/P1076.1/tutdac99.pdf>

PORTUNUS, « Introduction to VHDL-AMS ».

PORTUNUS, « Language Overview VHDL-AMS ».

Documentos *Schneider Electric* :

GAMBIT – Power Supply Transformateur Specification_02.

Gambit Voltage Supply Specification.

Macrologic Argos.

Presentation Gambit.

Presentation Schneider Electric.

APÊNDICE A

Objetivos e Execução

20 Março
a
29 Março

- Compreender os objetivos da Schneider Electric dentro de seus mercados;
- Compreender o âmbito empresarial do sitio Schneider Electric Eybens, centro mundial da Schneider de R&D;
- Leitura da documentação sobre os mercados, disjuntor de proteção do Projet GAMBIT (Micrologic).

1 Abril
à
27 Abril

- Compreender os documentos de alimentação em tensão GAMBIT VIGI (distribuição);
- Obter conhecimento sobre os parâmetros de alimentação em tensão (datasheet, esquema elétrico, micrologic);
- Conhecer as ferramentas para fazer a simulação de consumo da arquitetura GAMBIT (VIGI e Motor);
- Com todos os especialistas em alimentos e design analisar a melhor maneira de criar o modelo.

28 Abril
à
17 Maio

- O modelo de alimentação em tensão (Alim. U) foi realizado;
- Em seguida, conhecer os parâmetros globais da arquitetura Motor:
 - Regulação fornecida pelo sensor de corrente;
 - Funções SDx (lista de falhas avançadas);
- Conhecer os consumos de cada componente da arquitetura Motor:
 - Asic;
 - Microcontrolador;
 - E²PROM Asic;
 - E²PROM NFC (microcontrolador).

18 Maio
à
22 Junho

- Otimização do modelo da arquitetura Motor;
- O modelo da Motor foi posto em prática;
- Teste na arquitetura do Motor foram realizados para comparar o modelo com a carta real;
- O modelo Motor foi aprovado, modelo correspondeu ao esperado;
- Elaboração de documentos e extração de resultados:
 - Resultados do consumo e gestão de reserva de energia (capacitores) ME4 BASIC;
 - Resultados de consumo e gestão de reserva de energia (capacitores) ME4 ADVANCED;
- Realização de uma apresentação sobre o trabalho desenvolvido aos especialistas de concepção Schneider Electric.

ANEXO B - CODE VHDL-AMS

--Limiteur Microcontrolleur

```
LIBRARY_IIEEE;
USE IEEE.ELECTRICAL_SYSTEMS.ALL;
```

```
ENTITY limiteur IS
    generic ( v_limit : REAL := 3.3);

    port (terminal p1, p2: ELECTRICAL);
END limiteur;
```

```
ARCHITECTURE standard IS
    quantity v_in across i through p1 to ground ;
    quantity v_out across I through p2 to ground;

    begin
        if v_in'above (v_limit) use
            v_out == 3.3;

        else
            v_out == v_in;
        end use;
    end use;

END ARCHITECTURE standard;
```

```
--Limiteur Alim U
LIBRARY_IIEEE;
USE IEEE.ELECTRICAL_SYSTEMS.ALL;
```

```
ENTITY limiteur IS
    generic ( v_limit : REAL := 400);

    port (terminal p1, p2: ELECTRICAL);
END limiteur;
```

```
ARCHITECTURE standard IS
    quantity v_in across i through p1 to ground ;
    quantity v_out across I through p2 to ground;

    begin
        if v_in'above (v_limit) use
            v_out == 400;

        else
            v_out == v_in;
        end use;
    end use;

END ARCHITECTURE standard;
```

ANEXO C - TABELA DE CONSUMO

À 27.5A	ME4 BASIC	ADVANCE	CONSOMMATION	TEMPS
CONS. BASIC (Asic, Mitop, Led ON)	x	x	4.6mA (moyenne)	374.2 ms
SideLed		x	22.3 mA/3ms (moyenne)	140.1 ms
Micro.		x	25uA (moyenne)	Charge du condensateur
E ² PROM	x	x	13uA/0.5s (moyenne)	9.7ms (Conso. Base + SideLed) Aucun (Conso. Base)
NFC + Micro.		x	25uA (moyenne)	Charge du condensateur