



Universidade Federal de Campina Grande

Departamento de Engenharia Elétrica

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

LUIS OTÁVIO BUENO OITICICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Campina Grande, Paraíba
Dezembro de 2011

LUIS OTÁVIO BUENO OITICICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

*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.*

Orientador:

Professor Doutor Talvanes Meneses Oliveira

Campina Grande, Paraíba
Dezembro de 2011

LUIS OTÁVIO BUENO OITICICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

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.

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Doutor Talvanes Meneses Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã.
Aos amigos, pelo apoio e companheirismo.
À minha namorada pela força, apoio e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e capacidade para aprender um conteúdo que tive bastante dificuldade durante o curso de engenharia elétrica e por ter iluminado meu caminho nas horas mais difíceis me fazendo chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Rogério e Ana por todo o suporte e subsídio para que eu concluísse meu curso da melhor forma possível.

Agradeço a minha irmã Renata por estar sempre presente compartilhando comigo os momentos vividos durante o curso.

Agradeço a todos que fazem a equipe de coordenação do DEE pelo tempo, ajuda e dedicação dispensados sempre que necessitei.

Agradeço a todos os meus amigos que estiveram comigo desde o começo dessa intensa caminhada pelos ótimos e difíceis momentos que vivenciamos juntos. Tenho certeza que depois dessa dolorosa, porém valiosa jornada que hoje estamos colhendo os frutos, uma grande família se formou.

Agradeço aos amigos Horácio, Samuel, Márcio e aos colegas da WEG pelo compartilhamento de informações e ajuda na hora que mais precisei.

Em especial, agradeço à minha namorada Giovanna pois foi ela quem mais me apoiou e me deu força durante todo o meu curso com toda sua paciência sacrificando muitos finais de semana para para que eu pudesse estudar.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein.

RESUMO

Este relatório descreve as principais atividades desenvolvidas durante o estágio integrado do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), realizado na empresa WEG Automação S.A., no setor de desenvolvimento de produtos eletrônicos na área de inversores de frequência de baixa tensão. Encontra-se aqui descritos o histórico e organização da empresa, uma apresentação sobre inversor de frequência e o relato das principais tarefas realizadas no estágio. Entre as principais atividades realizadas durante este período ressalta-se os testes de validação do inversor de frequência em desenvolvimento na empresa e o estudo sobre a automação de testes de firmware.

Palavras-chave: baixa tensão, inversor de frequência, automação de testes.

ABSTRACT

This report describes the main activities developed during the training course on integrated electrical engineering from Federal University of Campina Grande (UFCG), held in the company WEG Automation SA in the company's product development in the area of electronic frequency inverters for low voltage. This report describes the history and organization of a presentation on frequency inverter and the reporting of the main tasks performed on stage. Among the main activities during this period stands out validation tests on the drive development in the company and the study on test automation firmware.

Keywords: low voltage, inverter, test automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Os fundadores da WEG : Werner, Eagon e Geraldo.	12
Figura 2. Histórico evolutivo da empresa [1].	14
Figura 3. Parque fabril II em Jaraguá do Sul [3].	15
Figura 4. Organograma da WEG S.A. [3].	16
Figura 5. Curva do controle V/f constante [4].	22
Figura 6. Bloco de diagrama dos inversores WEG [4].	23
Figura 7. Ponte retificadora.	24
Figura 8. Circuito de pré-carga.	24
Figura 9. Diagrama da filtragem capacitiva.	25
Figura 10. Esquema da ponte inversora.	25
Figura 11. Frenagem reostática.	26
Figura 12. Fonte chaveada.	27
Figura 13. Localização dos componentes do filtro EMI.	27
Figura 14. Dispositivos I/O.	28
Figura 15. Circuito da medição da tensão no link CC.	28
Figura 16. Circuito de medição das correntes de saída.	29
Figura 17. Circuito de proteção de sobrecorrente.	29
Figura 18. Circuito de proteção de sobretemperatura.	30
Figura 19. Circuito de proteção de Falta a Terra.	30
Figura 20. Inversor de frequência CFW70X WEG [5].	31
Figura 21 : Efeito de P0136 na curva V/f [5].	32
Figura 22. Gráfico da tensão de saída da função de boost de torque manual(P1036).	33
Figura 23. Efeito de P0137 na curva V/f [5].	34
Figura 24. Curva V/f com Compensação de Escorregamento [5].	36
Figura 25. Tensão de saída x velocidade para curva V/f ajustável.	38
Figura 26. Tempo do auto-ajuste no controle VVW e vetorial sensorless.	39
Figura 27. Lógica da função by-pass [5].	42
Figura 28. Esquema elétrico da ligação da função bypass.	42
Figura 29. Lógica do funcionamento da função bypass.	43
Figura 30. Tempo de desmagnetização em 300rpm e 900rpm respectivamente.	44
Figura 31. Tempo de desmagnetização em 1800rpm e 2100rpm respectivamente.	44
Figura 32. Tdesm quando o bypass está ativo.	45
Figura 33. Tempo real de P0584 para 0,3s e 0,7s respectivamente.	46
Figura 34. Tempo real de P0584 para 5s e 20s respectivamente.	46
Figura 35. Corrente e tensão de saída para velocidade de 750rpm.	48
Figura 36. Corrente e tensão de saída para velocidade de 1200rpm.	48
Figura 37. Corrente e tensão de saída para velocidade de 1800rpm.	49
Figura 38. Câmara térmica.	50
Figura 39. Cartão de fonte chaveada para alimentação de ventiladores dentro da câmara climática.	51
Figura 40. Circuito RLC série simulando efeito de cabos longos.	52
Figura 41. Motor de 500cv com cabos blindados utilizado no teste.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Medição da tensão de saída da função de boost de torque manual(P1036).	33
Tabela 2. Medição da corrente e tensão de saída da função P0137.....	35
Tabela 3. Medição da velocidade para validação da função P0138.....	37
Tabela 4. Tensão de saída das funções P0142 a P0146 (Curva V/f Ajustável).	38
Tabela 5. Auto-ajuste nas DOx.	39
Tabela 6. Tipos de configuração da função fire mode.....	40
Tabela 7. Medição do tempo de desmagnetização sem o bypass.	44
Tabela 8. Tempo contator bypass programado x valor real.....	45
Tabela 9. Tabela da função de economia de energia.	47

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de Ilustrações.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Sumário.....	x
1 Introdução.....	11
2 WEG S.A.....	12
2.1 WEG Motores.....	17
2.2 WEG Energia.....	18
2.3 WEG Automação.....	19
2.4 WEG Química.....	20
3 Inversores de Frequência.....	21
3.1 Inversores de Frequência WEG.....	23
3.1.1 Circuito de Potência.....	24
3.1.2 Circuito de Controle.....	28
4 Descrição das Atividade Desenvolvidas.....	31
4.1 Teste de Validação das Funções.....	32
4.1.1 Teste de Verificação da Função Boost de Torque Manual(P0136).....	32
4.1.2 Teste de Verificação da Função Boost de Torque Automático(P0137).....	34
4.1.3 Teste de Verificação da Função Compensação de escorregamento (P0138).....	35
4.1.4 Teste de Verificação das Funções P0142 a P0146 (V/f Ajustável).....	37
4.1.5 Teste da Sinalização de Auto-Ajuste nas Saídas Digitais (DOx).....	39
4.1.6 Teste de Verificação da Função Modo de Incêndio (P0580).....	40
4.1.7 Teste de Verificação da Função Bypass (P0583).....	41
4.1.8 Teste de Verificação da Função Economia de Energia –EOC (P0588).....	47
4.2 Outras Atividades Realizadas.....	49
4.2.1 Teste de Elevação de Temperatura em Cartão de Fonte Chaveada para Alimentação de Ventiladores em Câmara Climática.....	49
4.2.2 Simulação de Cabo Longo Blindado.....	51
5 Áreas de Identificação com o Curso.....	53
6 Conclusão.....	54
7 Referências Bibliográficas.....	55

1 INTRODUÇÃO

A finalidade do estágio integrado do curso de engenharia elétrica da universidade federal de Campina Grande (UFCG) é a complementação curricular, através da aproximação do acadêmico à realidade do ambiente de trabalho em uma empresa, proporcionando, desta forma, a utilização prática de toda teoria exposta em sala de aula, motivando o espírito de trabalho em uma equipe.

O estágio foi realizado junto ao departamento de desenvolvimento de produtos da WEG automação S.A. localizada em Jaraguá do Sul (SC), especificamente com a equipe responsável pelo desenvolvimento de inversores de frequência para baixa tensão chefiada por Carlos Afonso Hümmelgen. Além dessa linha, a WEG também possui produtos e serviços relacionados a motores elétricos de corrente alternada e contínua de pequeno, médio e grande porte, geradores, acionamentos, automação industrial, transformadores, tintas, vernizes e resinas.

Na primeira parte do relatório será apresentada a empresa concedente, onde brevemente será falado sobre seu histórico e sobre sua divisão organizacional.

No decorrer do trabalho serão descritas as principais atividades realizadas, as quais se resumem basicamente em validações das funções com protótipo da nova linha de inversores de frequência e estudo para implementar a automação desses testes. No capítulo referente às considerações finais será concluído acerca do aproveitamento e a importância do processo de estágio para a formação do engenheiro eletricitista.

2 WEG S.A.

A WEG nasceu da união de três homens que idealizaram um empreendimento para fabricar motores elétricos. Werner Ricardo Voigt, eletricitista e proprietário de uma oficina elétrica. Eggon João da Silva, administrador, gerente e sócio de uma fábrica de escapamentos para veículos e Geraldo Werninghaus, mecânico que trabalhava na oficina mecânica de seu pai em Joinville. Em 1961 surgiu a Eletromotores Jaraguá, inicialmente montada em instalações alugadas, mas que, com o trabalho e perseverança de seus fundadores, conseguiu vencer os desafios iniciais e concretizar este projeto. Alguns anos depois a empresa passava a se chamar Eletromotores WEG, nome idealizado das iniciais de seus fundadores Werner, Eggon e Geraldo. Coincidentemente, WEG em alemão significa "caminho".



Figura 1. Os fundadores da WEG : Werner, Eagon e Geraldo.

Desde seu início, a empresa cresceu baseada em métodos práticos e atualizados, investindo na produção e na valorização do homem. Nos primeiros três meses e meio foram montados 146 motores elétricos. Conforme as vendas evoluíam, tornava-se necessária a expansão da empresa. Em 1964, a WEG adquiriu sua sede própria, contendo a estamperia, ferramentaria, injeção de alumínio, bobinagem e expedição. Em

1968, foi criado o centro de treinamento WEG, responsável pela formação de profissionais plenamente habilitados a desenvolver as atividades exigidas pela empresa. Outra preocupação pioneira foi com o bem-estar dos colaboradores. Desde o início tornaram-se comuns as confraternizações. A associação recreativa WEG (ARWEG), clube reservado para a prática de esportes, festas e encontro de colaboradores e familiares foi instalada próxima à fábrica. Também foi criada a comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA), zelando desde então pela saúde e a segurança dos colaboradores.

Seguindo um processo industrial compatível com os novos tempos, a WEG dá um salto tecnológico produzindo motores com uma nova tecnologia trazida da Alemanha. Esta nova geração de motores seria a primeira no Brasil a se enquadrar nas normas técnicas da associação brasileira de normas técnicas (ABNT) e nas normas internacionais para motores elétricos da international electrical commission (IEC) acarretando maior desenvolvimento e confiabilidade da empresa.

Em 1972, entra-se em execução um ambicioso projeto de expansão que incluía uma nova e moderna fundição, novos equipamentos e máquinas para usinagem e ferramentaria. Com os investimentos a previsão era triplicar a produção em três anos. Nesta época a empresa conquistou a auto-suficiência na fundição de carcaças e, com ferramentaria própria, trefila e esmalta os fios de cobre utilizados em seus motores. A partir deste ano desenvolveu-se uma nova linha de motores WEG (IP54), motores blindados de 0,5 a 50 cv que apresentavam melhor desempenho a menores custos desenvolvido para ocupar um novo espaço dentro do mercado nacional. Aliado a esta inovação, inicia-se também a fase de exportação, primeiramente para a América Latina e posteriormente para o mercado europeu e norte americano.

Em função do rápido crescimento a empresa precisava se expandir. Assim, no início de 1973 iniciaram-se as obras do segundo parque industrial (WEG II), onde atualmente estão instaladas a WEG Energia, WEG Automação e a maior parte do complexo fabril e administrativo da WEG Motores. Em 1978 ocorre a mudança da razão social, passando a se chamar Eletromotores WEG S.A.

Na década de 1980, a WEG promove uma diversificação de suas atividades com o objetivo de complementar o atendimento a seus clientes. Passa então a oferecer pacotes tecnológicos. Em decorrência disso são criadas novas empresas: WEG Transformadores, WEG Química, WEG Acionamentos, WEG Máquinas e WEG Florestal. Pode-se também notar o comprometimento com a qualidade quando surge o

programa de círculos de controle da qualidade (CCQ) e o primeiro manual de qualidade da empresa. A partir de 1990, dando apoio ao plano de internacionalização das atividades a empresa passa por mudanças na estrutura administrativa. Uma das principais alterações ocorre em seu próprio nome, que passa a se chamar WEG Indústria S.A., incorporando as atividades das unidades Motores, Automação, Química, Máquinas, Acionamentos e Transformadores. Assim, não haveria mais diferenciação nominal entre as empresas.

A trajetória da empresa ao longo dos anos é marcada pelo êxito. Líder absoluta no mercado brasileiro, maior produtora de motores da América Latina e segunda maior do mundo, a WEG se dedica não só a fabricação de motores elétricos, mas a uma linha de produtos que atua nos ramos eletro-eletrônico e químico, desenvolvendo não somente produtos e sim “soluções”. É uma empresa comprometida com ideais e preparada para atuar em um mercado cada vez mais competitivo e exigente buscando novos clientes, investindo em seu corpo funcional, criando novas tecnologias e inovando técnicas e processos. A figura 2 exibe o histórico evolutivo da empresa.



Figura 2. Histórico evolutivo da empresa [1].

No ano de 2010 a WEG adquire três empresas: o ZEST Groupe [2] na África do Sul, Instrutech em São Paulo e a Voltran no México. Em 2011 a WEG adquiriu a empresa Watt drive. Além disso ela está se preparando para iniciar a produção em um novo parque fabril que será construído em Linhares, ES.

O Grupo WEG é constituído por unidades de negócios (UNs) formadas pelas unidades Energia, Automação, Motores e Química. Com um corpo funcional de aproximadamente 23 mil colaboradores, sendo 19,7 mil no Brasil e 3,4 mil no exterior, seu quadro fabril abrange a produção de motores elétricos de corrente alternada e contínua de pequeno, médio e grande porte, geradores, acionamentos, automação industrial, transformadores, tintas, vernizes e resinas.

Em seus oito parques fabris no Brasil, a WEG controla todas as etapas de sua produção, desde a fundição e a estamparia de metal, até a esmaltação dos fios e embalagem. Em Santa Catarina se concentra a maior parte da produção, mas a partir de 2000 com a aquisição de fábricas no exterior, a WEG assumiu definitivamente o posto de multinacional brasileira.

A WEG possui fábricas em 5 países, filiais comerciais em 22 países, distribuidores e representantes em 85 países e mais de 1100 assistências técnicas nos 5 continentes.

Na cidade de Jaraguá do Sul a WEG conta com 2 parques fabris (um deles o maior parque fabril de motores elétricos do mundo,) e um museu (local onde era localizada a primeira fabrica da empresa).



Figura 3. Parque fabril II em Jaraguá do Sul [3].

Após uma grande reestruturação que ocorreu em 2007, as várias empresas que formavam o grupo WEG foram reduzidas a basicamente 3 empresas. A empresa principal é a WEG S.A. que coordena a WEG Equipamentos Elétricos S.A. e a WEG Indústrias S.A. As unidades de negócios que envolvem a manufatura de equipamentos ligados a eletricidade estão subordinadas a empresa WEG Equipamentos Elétricos S.A. e as Unidades de Negócio que fabricam produtos alheios a eletricidade ficam sob a responsabilidade da WEG Indústrias S.A. A estrutura administrativa da WEG S.A. fica sob responsabilidade da WEG Equipamentos Elétricos S.A., que engloba a estrutura corporativa (marketing, financeiro, RH, controladoria) e a divisão internacional da WEG.

A empresa WEG Indústrias tem como responsabilidade a administração da unidade de tintas e da WEG florestal, que a partir das várias fazendas pertencentes à empresa, produz a matéria prima para a fabricação dos pallets e caixas de madeira utilizados para embalagem dos equipamentos.

A figura 4 resume o organograma da empresa WEG S.A.

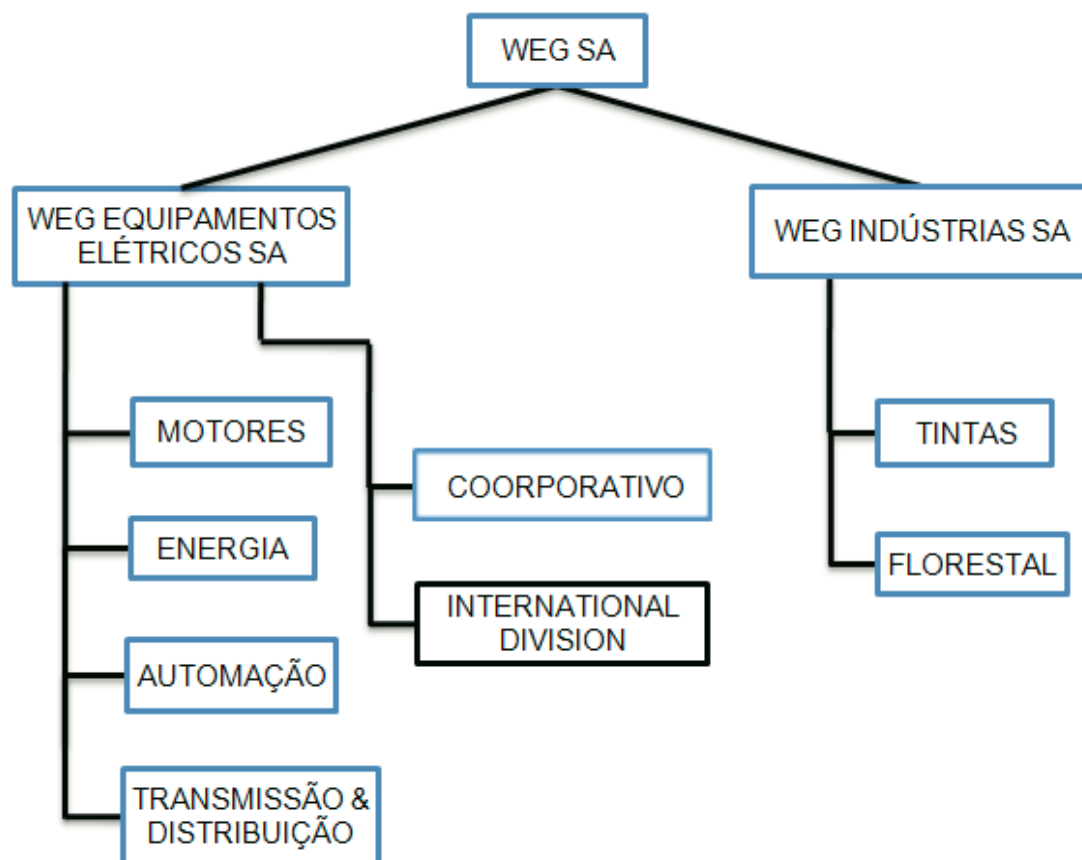


Figura 4. Organograma da WEG S.A. [3].

2.1 WEG MOTORES

É o carro chefe do grupo, responsável pela produção dos motores elétricos de corrente alternada trifásicos e monofásicos. Esta produção está distribuída entre cinco fábricas e alguns setores auxiliares, tais como: Fundições I, II e III, trefilação e esmaltação de fios de cobre, ferramentaria, injeção de alumínio e processamento de chapas. Foi também o primeiro fabricante de motores do Brasil a receber do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), a certificação ISO 9000. Dentre os produtos desenvolvidos, destaca-se:

- **Motores trifásicos** - Motor IP54 utilizado em aplicações gerais; Motor IP(W)55 destinado aos ambientes agressivos às indústrias química e naval; Motores à prova de explosão utilizado em ambientes onde há riscos iminentes de explosão. Produz ainda motores para ventilação e exaustão.
- **Motores monofásicos** - Motores para ar condicionado, lavadoras e secadoras de roupa, moto-ceifadores e motores com base elástica (chamados motores da linha "branca").

A WEG ainda produz uma linha de motores visando a conservação de energia, que são os motores de alto rendimento. Os produtos possuem qualidade assegurada pela empresa, certificação do PROCEL e é assessorada por uma rede de assistência técnica e oficinas autorizadas em todos os países de atuação. Fazem parte da unidade de negócios motores as seguintes fábricas:

- **Fábrica I** - Produz os motores de indução da carcaça 63 a 100.
- **Fábrica II** - Esta fábrica produz os motores monofásicos de pequeno porte.
- **Fábrica III** - Responsável pela produção de motores trifásicos de grande porte.
- **Fábrica IV** - Responsável pela fabricação dos motores trifásicos e monofásicos, da carcaça 112 a 200 (5 a 60 cv).

- **Fábrica V** - Transforma matéria-prima em motores elétricos acabados para a linha branca. Conta com seções de usinagem, injeção de alumínio, estamparia, bobinagem, montagem e testes. Suas maiores virtudes são a redução de custos; maior agilidade para atendimento ao cliente e definição estratégica.

Todas as fábricas possuem o seu próprio laboratório elétrico, onde são realizados ensaios minuciosos com a finalidade de verificar e comprovar a qualidade dos produtos. Esta unidade possui ainda cerca de 3500 hectares de floresta de Pinus Elliotti, o que corresponde aproximadamente a 350000m³ de madeira, utilizada para a produção de suas próprias embalagens. Além da madeira, extrai-se também em média 500 toneladas anuais de goma (resina) industrializada pela WEG Química. Toda a área onde é extraída a madeira é reflorestada.

Desenvolve também a pecuária de corte, possuindo cerca de 2000 cabeças de gado Nelore, Charolês e Aberdeen Angus. Possui um projeto integrado de piscicultura em parceria com agricultores da região, fornecendo alevinos, ração e auxílio técnico, além de garantir a compra de toda a produção de catfish. Cria carpas, tilápias, catfish e trutas, com uma produção aproximada de 25 toneladas por ano.

2.2 WEG ENERGIA

Responsável pela produção de motores, alternadores de médio e grande porte, além de máquinas aplicadas especificamente nas indústrias de papel e celulose, têxtil, siderúrgicas, cimento, petroquímica, mineração, saneamento e geração de energia elétrica. Produz também transformadores que são utilizados por concessionárias de energia elétrica, complexos industriais e empresas estatais.

Produtos da unidade de negócios energia:

- **Tacogeradores** - Dínamos taquimétricos de eixos sólidos e ocos.
- **Alternadores** - Alternadores síncronos, com ou sem escovas; alternadores autoreguláveis, trifásicos e monofásicos; conversores síncronos rotativos.

- **Transformadores** - Transformadores trifásicos de distribuição e força, nas potências de 10kVA a 20MVA, com classe de tensão de até 145kV. Atende os requisitos das mais exigentes e variadas normas nacionais e internacionais, além de características para aplicações específicas.
- **Motores** - Motores de corrente contínua, motores de indução de alta e baixa tensão e motores de anéis.

2.3 WEG AUTOMAÇÃO

Seus produtos estão direcionados à automação industrial e acionamento de motores. Suas atividades abrangem além da fabricação de equipamentos eletroeletrônicos, desenvolvimento e implantação de sistemas de automação e controle industrial. Produz ainda componentes eletromecânicos destinados ao acionamento dos motores elétricos abrangendo também o setor de projeto, fabricação e implantação de sistemas de acionamentos.

Produtos da unidade de negócios automação:

- **Acionamentos** - Conversores CC e acionamentos CA/CC, servoacionamentos, inversores de frequência e soft-starters.
- **Controladores e Sistemas Digitais** - Sistemas digitais de aquisição de dados, controladores programáveis, controladores de processos e centro de controle de motores.
- **Sistemas de Posicionamento** - Servomotores (motor especial de ímãs permanentes, com ou sem escovas, torques de 2 a 24Nm e velocidade de até 6000rpm). Estes produtos são aplicados ao transporte e manipulação de materiais, alimentação e acionamento de máquinas.
- **Componentes** - Chaves de partida para comando e proteção de motores elétricos, fusíveis D e NH, temporizadores, contadores tripolares e auxiliares, relés de sobrecarga, relés eletrônicos e protetores eletrônicos.

A WEG Automação disputa um mercado altamente concorrido com grupos internacionais e também com empresas nacionais.

2.4 WEG QUÍMICA

Produz tintas e vernizes para utilização industrial. Atua também no processamento da resina do Pinus Elliotti, usada para aplicação em fitas adesivas, tintas, vernizes, goma de mascar, bebidas não alcoólicas, cera para assoalho, tintas flexográficas e de impressão. É responsável também pela produção do verniz para esmaltação do fio e impregnação dos estatores.

Entre os produtos, podemos destacar:

- **Tintas Líquidas** - Os primers e esmaltes de acabamento são produzidos no sistema alquílico (de secagem em estufa ou ao ar), epóxis (poliamida, isocianato, alcatrão de hulha), ésteres epóxi (de secagem ao ar ou estufa) e acrílicos (de secagem ao ar ou estufa). Tem capacidade de produzir oito milhões de litros de tintas industriais por ano.
- **Tinta em Pó** - Apresenta um excelente rendimento (99%), resistência física e química além de proporcionar um ótimo acabamento. Não contém solvente em sua composição, eliminando desta forma qualquer tipo de agressão ao meio ambiente.
- **Resinas derivadas da goma Pinus Elliotti** - Éster de glicerol (adesivo e alimentício), colofônio, maleica, catalisador poliuretano, alquílica fenolada e fumárica.

3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Para controlar o fluxo de energia de um sistema elétrico para outro geralmente se empregam chaves. No início da era elétrica essas chaves eram mecânicas, mas com o advento do tiristor foi possível criar os conversores de energia, tendo inúmeras aplicações no mundo atual. Dentre elas o controle de velocidade de motores elétricos de indução de corrente alternada (CA) através de inversores de frequência.

Atualmente a maior parte dos processos na indústria necessita variações de velocidade e controle de torque. Isso é possível de se alcançar utilizando conversores CA-CC e motores CC. Ao se controlar a tensão de armadura e a corrente de campo, temos o controle independente de velocidade e torque no motor CC.

Porém, as vantagens dos motores de indução CA em relação aos motores CC - custo, relação potência/peso, manutenção das escovas do motor CC, faiscamento, maiores aplicações, entre outras - faz com que essas aplicações sejam vistas de outra forma, assim, inversores de frequência se tornam fundamentais pois são os meios em que se controla os motores de indução CA.

No segmento de inversores de frequência, a WEG possui uma vasta linha de produtos que podem ser comprados separadamente ou já montados em painéis prontos para o uso industrial. Nos inversores WEG é possível fazer o controle de motores de indução CA através de métodos escalar, VVW ou vetorial. São inversores microprocessados que utilizam chaves do tipo IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) para o chaveamento em alta frequência.

Os conversores de frequência realizam a transformação de uma fonte CA de certo valor eficaz e frequência fixa em uma saída com valores de tensão e frequência variáveis. Para isso, a tensão de entrada é retificada e então invertida em uma ponte inversora controlada, que modifica a frequência de saída para controlar a velocidade do motor, de acordo com a equação:

$$N = \frac{120 \cdot f}{p} \quad , \quad (1)$$

Onde:

N = Velocidade do motor em rotações por minuto (rpm).

f = Frequência em Hertz (Hz).

P = Número de pólos.

O torque da máquina girante é controlado através da tensão de saída do inversor, pois esta resulta em uma corrente que é proporcional ao fluxo magnético do motor e, conseqüentemente, ao torque.

Existem dois tipos de controle principais nos inversores de frequência fabricados pela WEG: Controle escalar (V/f constante) e vetorial. O controle escalar V/f constante mantém o torque nominal do motor em toda a variação de velocidade mantendo o fluxo no entreferro constante através da seguinte equação:

$$\phi = k \frac{V}{f} \quad (2)$$

Onde:

V = Tensão aplicada ao motor (exceto em baixas frequências).

k = Constante.

Pela variação de “V” e “f” é possível manter o fluxo constante, resultando em uma curva de torque constante em toda a faixa de velocidade.

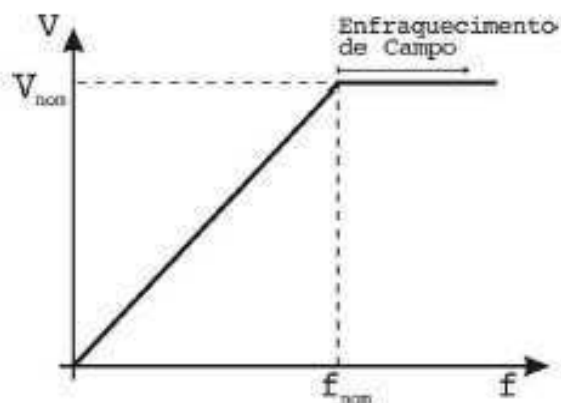


Figura 5. Curva do controle V/f constante [4].

Este tipo de controle pode ser utilizado na maioria das aplicações, exceto onde a variação de velocidade deve ser muito rápida ou quando a velocidade do motor é muito baixa (perda de torque).

Já o controle vetorial é utilizado em aplicações onde o controle dinâmico do torque e da velocidade do motor são necessários. Só pode ser utilizado se a corrente do motor for de no mínimo 1/3 a corrente do inversor. Existem dois tipos de controle vetorial: sensorless e com encoder. O primeiro não necessita de realimentação de

velocidade, tornando-o menos confiável dependendo da aplicação, enquanto o segundo é necessário um medidor de velocidade no motor fornecendo realimentação ao inversor. Porém, neste último é possível o controle de velocidade desde 0Hz.

Além dos controles vetorial e escalar foi criado pela WEG o controle VVW (Voltage Vector WEG), cuja performance é intermediária entre o V/f e sensorless. Contém algumas vantagens, principalmente em relação ao V/f e é mais fácil de se ajustar do que o sensorless.

3.1 INVERSORES DE FREQUÊNCIA WEG

Este tópico trata de algumas informações referentes a linha de inversores WEG, os quais foram utilizados durante o estágio para desenvolver diversos testes. A figura 6 apresenta o diagrama de blocos genérico dos inversores WEG.

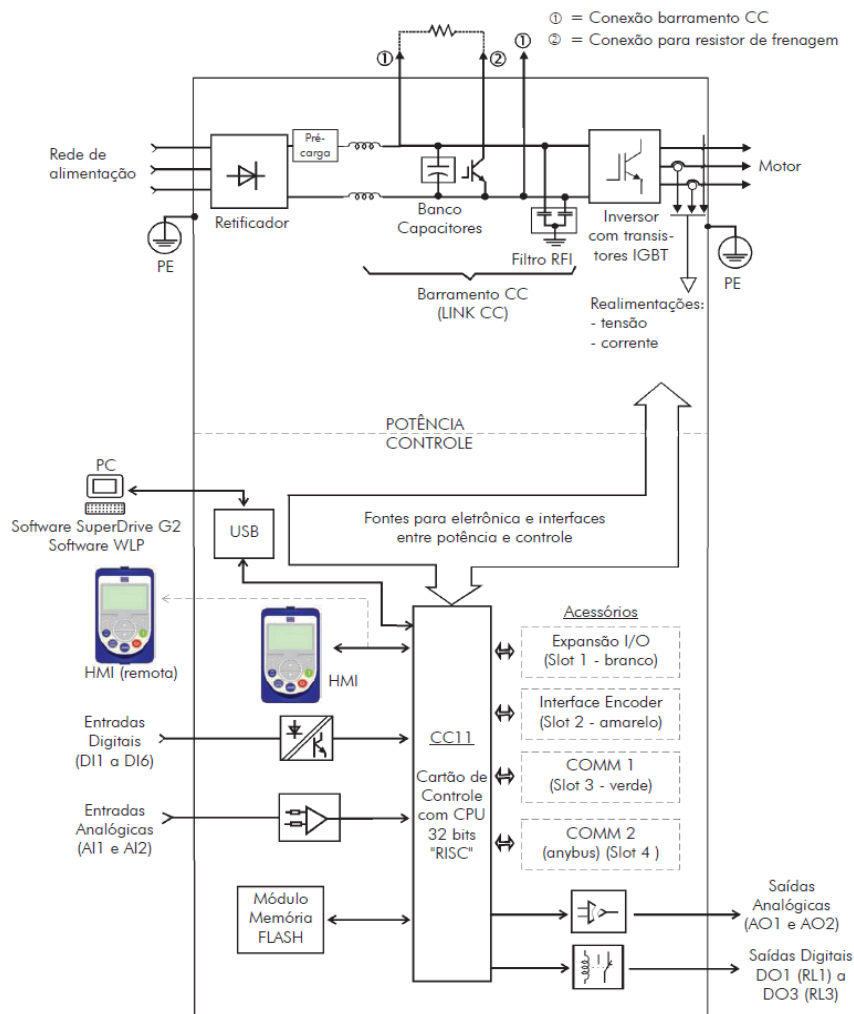


Figura 6. Bloco de diagrama dos inversores WEG [4].

3.1.1 CIRCUITO DE POTÊNCIA

3.1.1.1 PONTE RETIFICADORA

O circuito de potência retifica a tensão proveniente da fonte trifásica por uma ponte completa de diodos de 6 pulsos (Figura 7). A tensão que se obtém no link CC e na saída da ponte retificadora possuem uma ondulação de 360 Hz (rede de 60 Hz).

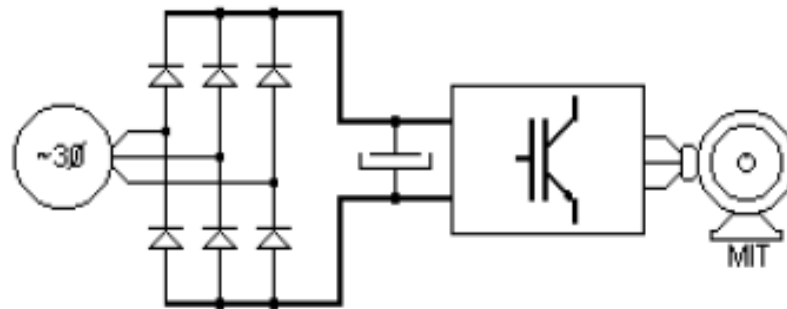


Figura 7. Ponte retificadora.

3.1.1.2 CIRCUITO DE PRÉ-CARGA

O circuito de pré-carga limita a corrente durante o transiente de energização do inversor, que flui para o carregamento dos capacitores do link CC. Este transiente poderia causar a ruptura destes diodos caso não se tivesse esta limitação.

O circuito de controle mede a tensão do link CC e aciona o relé ou contatora em paralelo com o resistor de pré-carga para que o inversor seja acionado diretamente.

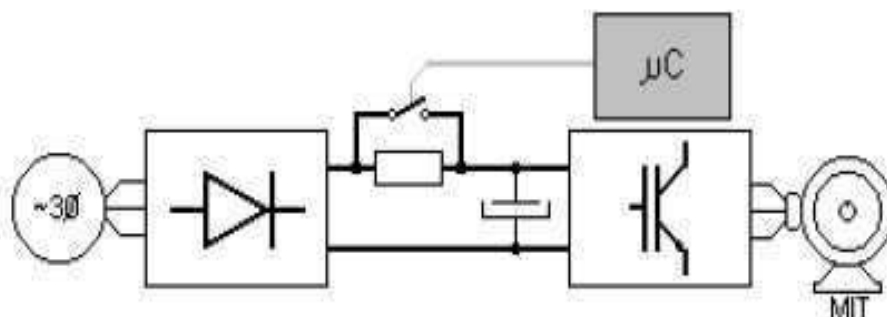


Figura 8. Circuito de pré-carga.

3.1.1.3 FILTRAGEM CAPACITIVA

A filtragem capacitiva tem a função de minimizar a ondulação de tensão no link CC e armazenar a energia reativa proveniente do motor, via ponte de saída com IGBT's.

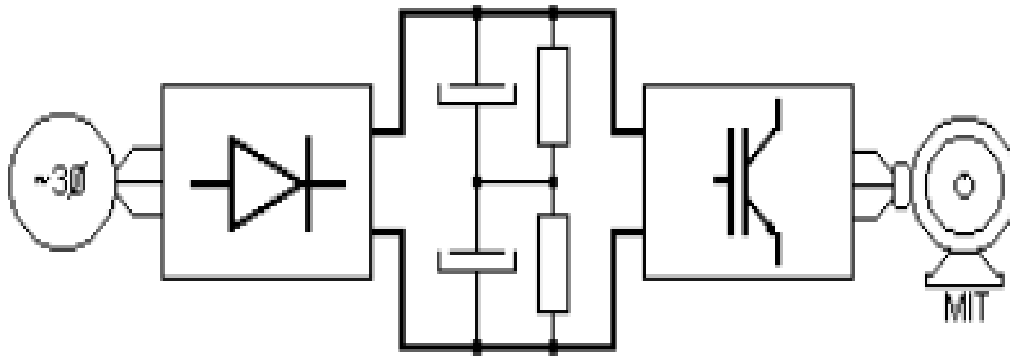


Figura 9. Diagrama da filtragem capacitiva.

3.1.1.4 PONTE INVERSORA

Uma ponte inversora trifásica de IGBTs que, acionada pelo controle, comuta a tensão contínua do link CC de forma a gerar na saída uma tensão pulsada com modulação PWM (modulação por largura de pulso). A frequência de chaveamento depende do modelo. Cada uma das saídas apresenta defasagem de 120° . Esta tensão chaveada provoca uma corrente, que encontrando um caminho com impedância indutiva (motor), apresenta uma característica CA.

Como a saída do microcontrolador não possui capacidade de corrente, um circuito de gate driver aciona os gates dos IGBTs. Além disso, entre o microcontrolador e os gate drivers é inserida uma EPLD, responsável, entre outras coisas, por gerar a compensação de tempo morto e por bloquear rapidamente os pulsos PWM na ocorrência de uma falha.

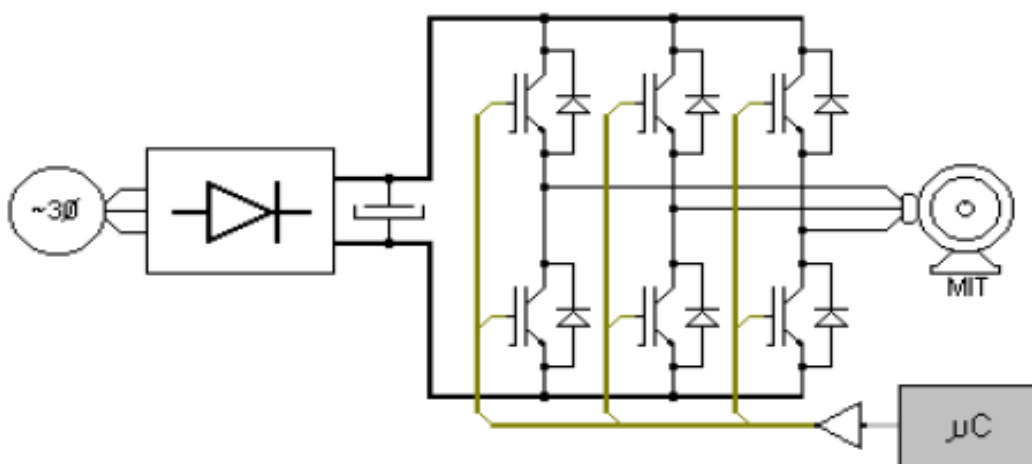


Figura 10. Esquema da ponte inversora.

3.1.1.5 FRENAGEM REOSTÁTICA

Na Figura 11 representa-se o fluxo de energia quando a máquina de indução conectada à saída do inversor funciona como um motor (motorização) - velocidade do campo estatórico superior e no mesmo sentido que a velocidade do rotor. Esse sentido é observado em praticamente toda a partida do motor (rampa de aceleração) e quando o mesmo opera em regime permanente. Quando ocorre uma desaceleração do motor por parte do inversor, dependendo do momento de inércia da carga pode acontecer de a velocidade do campo estatórico tornar-se inferior à velocidade do rotor e, assim, o motor funcionará como um gerador (regeneração). A energia produzida pelo motor retorna ao link CC pelos diodos dos IGBTs da ponte inversora, porém o excesso não consegue retornar à rede devido à ponte retificadora na entrada do inversor. Então, essa energia excedente reflete-se em um aumento da tensão no link, podendo danificar o inversor.

Para evitar o problema exposto, junto ao link CC é instalado um circuito de proteção responsável por dissipar na forma de calor (sobre o resistor de frenagem, RBR) a energia regenerada, mantendo em níveis seguros a tensão sobre os capacitores. A decisão de disparo do IGBT, realizada pelo microcontrolador, tem por base a comparação da tensão no link CC com a máxima tensão permitida.

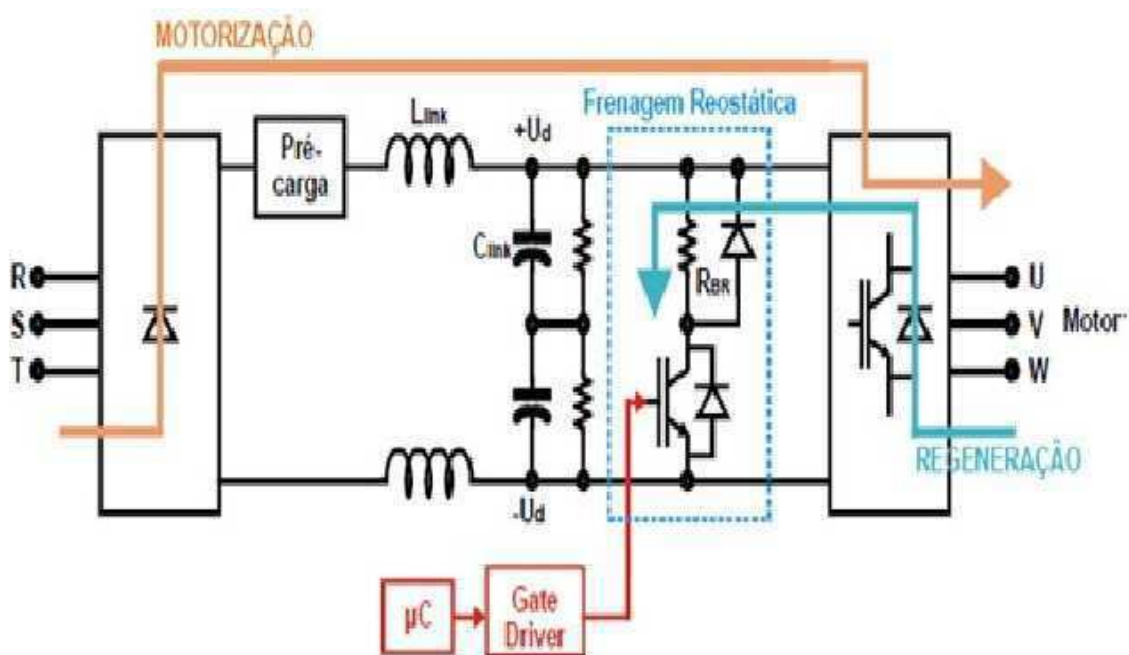


Figura 11. Frenagem reostática.

3.1.1.6 FONTE CHAVEADA

As fontes de alimentação dos circuitos do inversor (controle, gate drivers e ventiladores) são geradas por uma fonte chaveada do tipo flyback. Essa topologia é empregada por possibilitar várias saídas isoladas galvanicamente, característica necessária quando se tem vários circuitos referenciados a diferentes potenciais. A entrada da fonte é conectada diretamente ao link CC.

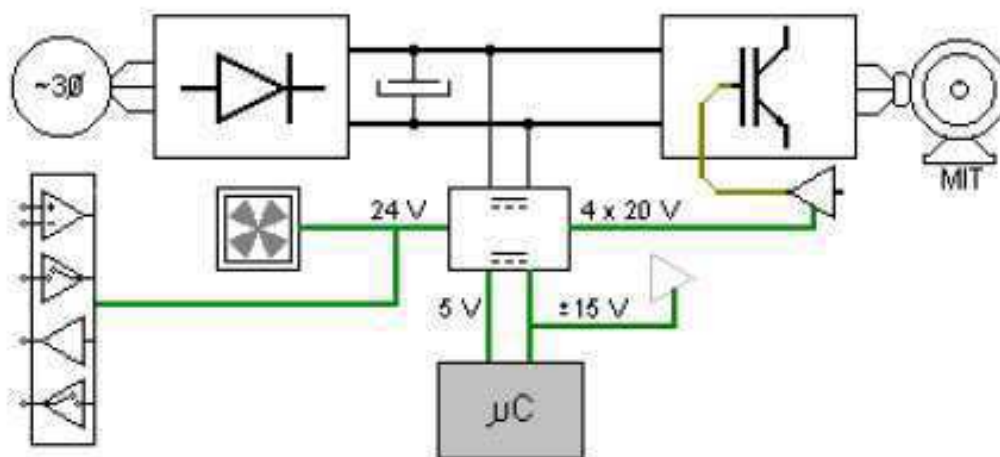


Figura 12. Fonte chaveada.

3.1.1.7 FILTROS EMI

A nova linha de inversores tem como opção filtros de EMI (Interferência Eletromagnética) montados internamente ao produto. O objetivo destes filtros é reduzir a interferência na faixa de radio-frequência (RF) propagada para os cabos de alimentação do produto (emissão de RF conduzida) e pelo ar (emissão de RF irradiada).

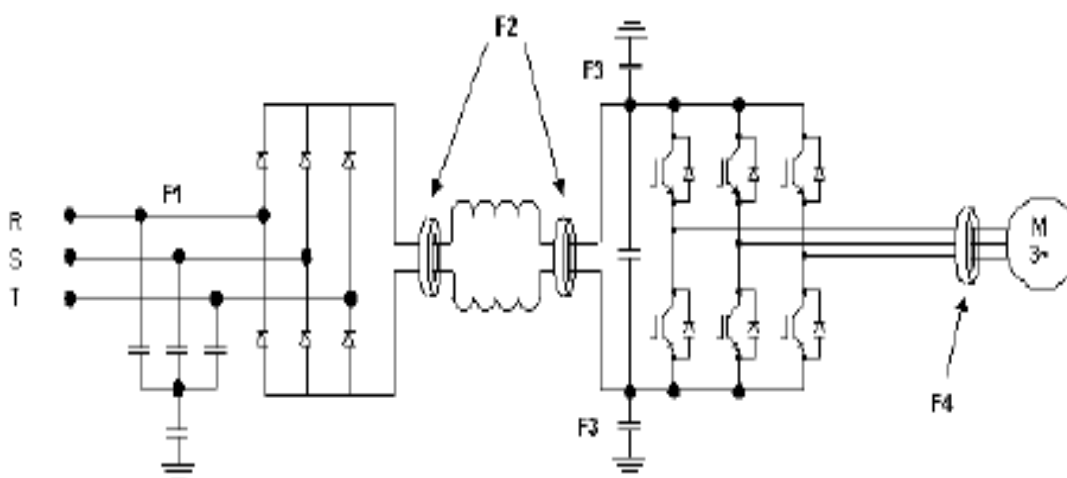


Figura 13. Localização dos componentes do filtro EMI.

3.1.2 CIRCUITO DE CONTROLE

3.1.2.1 DISPOSITIVOS I/O

Os inversores apresentam uma IHM onde são visualizadas as informações e onde são realizadas as parametrizações características do controle do produto. Os inversores da nova linha possuem em torno de 700 parâmetros.

Existem também interfaces para parametrização e controle remoto, por exemplo, em sistemas supervisores.

O inversor possui ainda entradas analógicas diferenciais, entradas digitais, duas saídas analógicas e três saídas digitais à relé. Estas entradas e saídas podem ser programadas e utilizadas para controle externo, podendo ser utilizada também como malha fechada de controle.

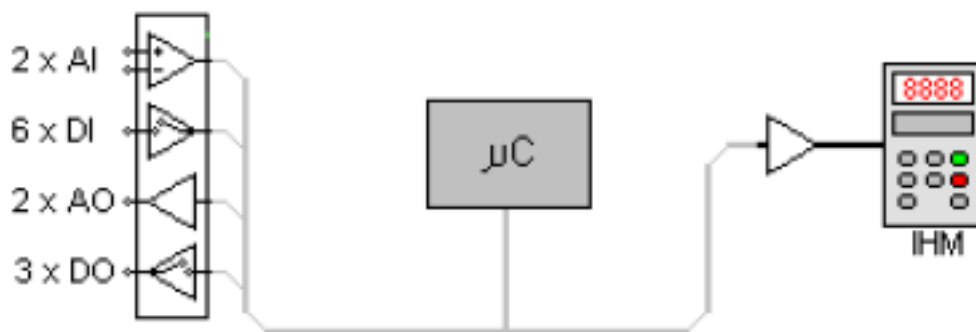


Figura 14. Dispositivos I/O.

3.1.2.2 MEDIDAS DE TENSÃO DO BARRAMENTO CC

Para o controle do inversor, este necessita da informação da tensão CC. Para isso, um circuito de condicionamento de sinais, baseado em um amplificador diferencial é usado. A tensão no link CC é aplicada a uma entrada do A/D do microcontrolador.

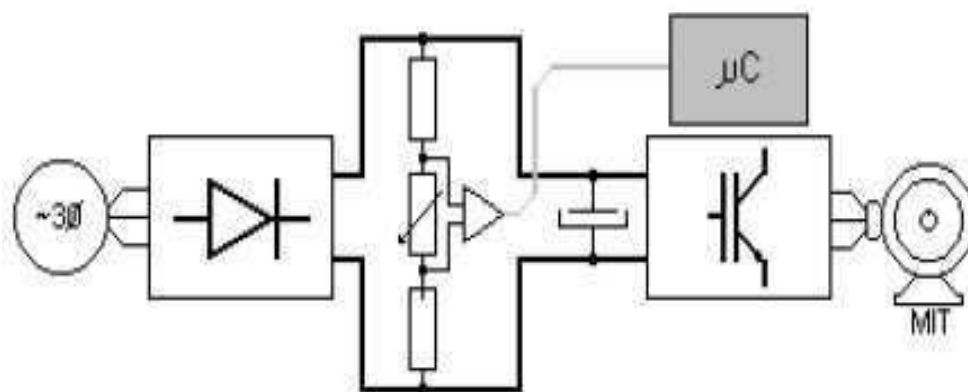


Figura 15. Circuito da medição da tensão no link CC.

3.1.2.3 MEDIDAS DA CORRENTE DE SAÍDA

Para o correto controle do inversor, a medição das correntes de saída é de extrema importância, principalmente para os modos de controle vetorial. Dois transformadores de corrente de efeito Hall (TC-Hall) medem o sinal da corrente de duas das três fases de saída.

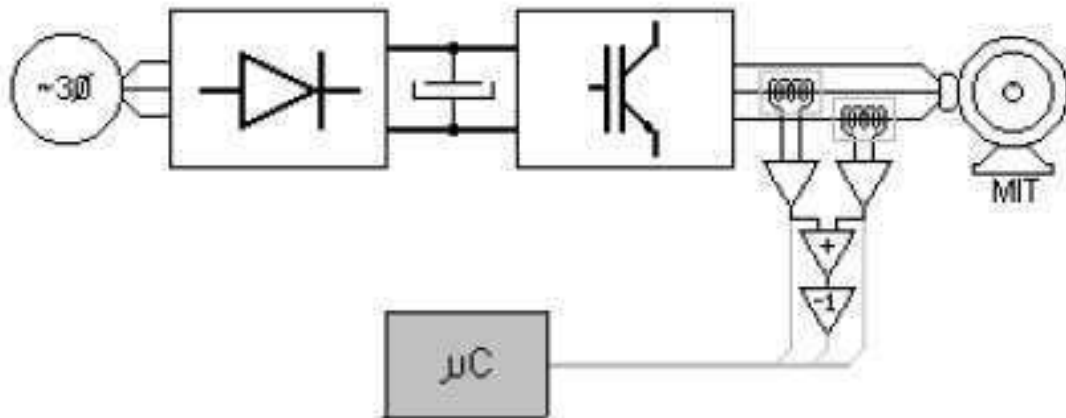


Figura 16. Circuito de medição das correntes de saída.

3.1.2.4 PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE

O circuito que atua para a proteção de sobrecorrente constitui-se de um resistor shunt de valor bastante pequeno em série com o barramento CC. Quando a corrente de saída refletida no link CC for de aproximadamente $2,1I_n$, o controle bloqueia os pulsos PWM do inversor indicando falha de sobrecorrente.

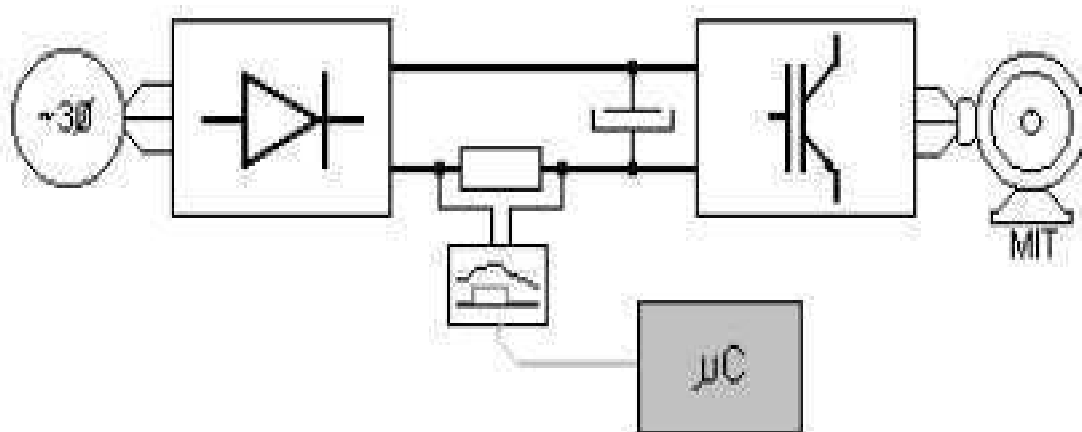


Figura 17. Circuito de proteção de sobrecorrente.

3.1.2.5 PROTEÇÃO DE SOBRETENPERATURA

Um NTC instalado no interior do módulo de potência mede a temperatura próxima à junção dos semicondutores. O NTC, juntamente com um resistor externo ao módulo, formam um divisor de tensão e esta tensão é medida pelo microcontrolador.

Quando esta medição atingir um determinado valor de sobreaquecimento, os pulsos PWM são bloqueados, sendo indicado na IHM falha de sobretemperatura.

Este erro não pode ser cancelado até que a temperatura no interior módulo atinja a temperatura de regime em carga nominal do inversor.

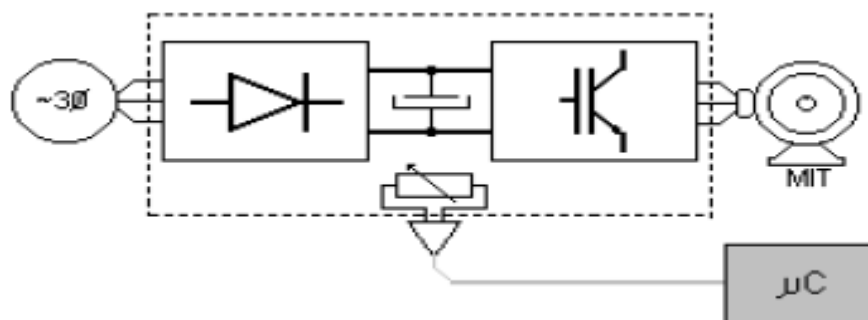


Figura 18. Circuito de proteção de sobretemperatura.

3.1.2.6 PROTEÇÃO DE FALTA A TERRA

Quando ocorrer um curto-circuito de alguma das fases de saída contra o terra, atuará a falha de "Falta a Terra" no inversor.

Quando ocorrer um curto-circuito à terra em uma das fases de saída, uma corrente circulará para a terra, desbalanceado as correntes no link CC.

Na condição de curto, o somatório das correntes não é mais nulo, então uma corrente é convertida em tensão e fornecida no secundário de um TC. Esse sinal é retificado por uma ponte de diodos. A tensão é comparada com um valor constante, acionando, então, uma entrada de interrupção do microcontrolador que bloqueia os pulsos do PWM, indicando no display da IHM falha de falta a terra.

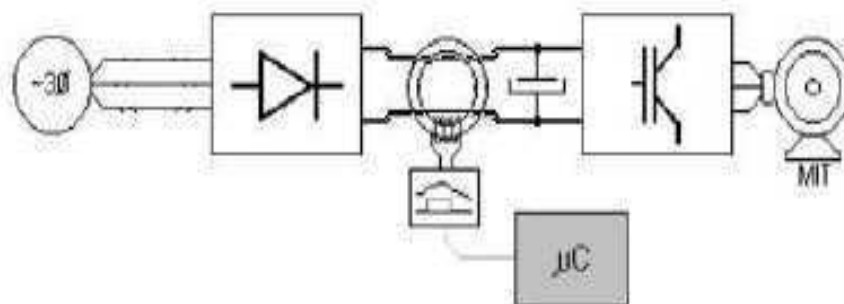


Figura 19. Circuito de proteção de Falta a Terra

4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADE DESENVOLVIDAS

Grande parte do estágio foi destinada aos testes de validação do protótipo do novo inversor de frequência que estava sendo desenvolvido pela WEG. Para realizar os testes foi necessário ler o manual do equipamento para operá-lo sem dificuldades.

Estes testes têm por objetivo aprimorar a produtividade e fornecer evidências da confiabilidade e da qualidade do produto em complemento a outras atividades de garantia de qualidade ao longo do processo de desenvolvimento.

A validação das funções do novo inversor consistia no estudo das funções que existem nos inversores e testá-las para verificar possíveis erros. Através de relatórios, são repassados se as funções são aprovadas ou reprovadas. Caso seja reprovada, os responsáveis de softwares que programam essas funções tentam corrigi-las para um futuro teste de aprovação.

Foi desenvolvido também ao longo do estágio, testes de elevação de temperatura em câmara climática com um cartão eletrônico com fonte chaveada tipo flyback para alimentação dos ventiladores utilizados no dissipador de alguns modelos de inversores de frequência, com o objetivo de verificar se a temperatura dos componentes estava dentro dos limites aceitáveis de modo a garantir a confiabilidade do circuito projetado.



Figura 20. Inversor de frequência CFW70X WEG [5].

4.1 TESTE DE VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES

Ao longo do estágio foram efetuadas 13 validações das funções e os resultados e os procedimentos adotados das funções mais importantes são mostrados a seguir.

Todos os testes foram utilizados o controle V/f constante(60Hz) com exceção das funções P0142 a P0146, que foram utilizados o controle V/f ajustável.

Um dinamômetro foi utilizado para aplicar carga ao motor utilizado na grande maioria dos testes realizados.

Os testes foram realizados com seguintes dados de placa:

- Motor: 220V trifásico – 4,48A – 1,5cv – IV pólos – 1720rpm – 60Hz.
- Inversor: 220V trifásico – 6/5 A – Mecânica A.

4.1.1 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA FUNÇÃO BOOST DE TORQUE MANUAL(P0136)

Atua em baixas velocidades, aumentando a tensão de saída do inversor para compensar a queda de tensão na resistência estatórica do motor, a fim de manter o torque constante. O teste consistiu na medição da tensão de saída por um multímetro com filtro e medição da corrente para os diferentes valores de boost de torque manual(B.T.M.) que variam de 0 a 9.

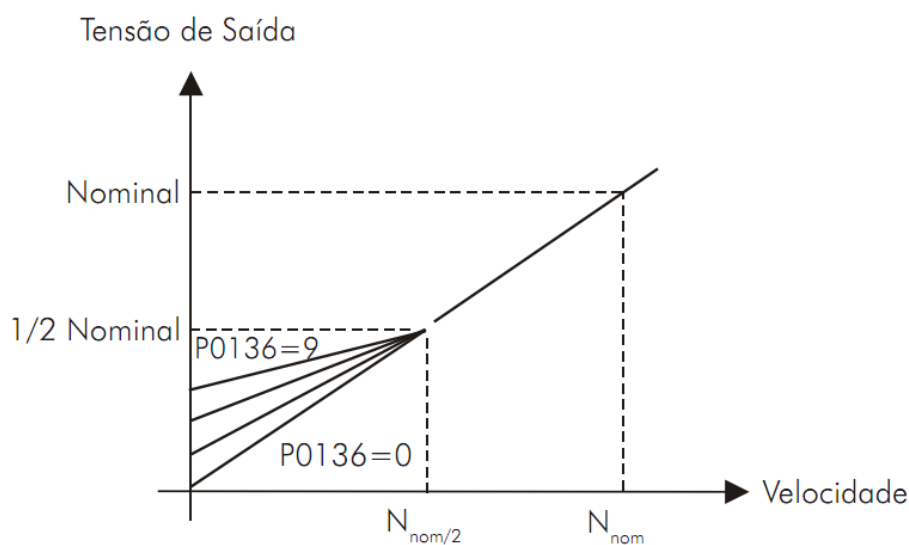


Figura 21 : Efeito de P0136 na curva V/f [5].

Tabela 1. Medição da tensão de saída da função de boost de torque manual(P1036).

**MEDIÇÃO DE TENSÃO DE SAÍDA -
MULTÍMETRO COM FILTRO (V)**

N / B.T.M.	B.T.M. 0	B.T.M. 1	B.T.M. 2	B.T.M. 3	B.T.M. 4	B.T.M. 5	B.T.M. 6	B.T.M. 7	B.T.M. 8	B.T.M. 9
60 rpm	5,4	6,9	8,1	9,6	10,8	12,5	13,7	14,9	16,7	17,5
450 rpm	55,2	55,7	56,4	57,3	57,8	59,1	60	60,9	61,7	62,5
900 rpm	110,3	110	109,9	110	109,6	110,1	110,4	110,3	110,1	110,5
1350 rpm	165,3	164,4	164,1	164,4	164,7	165,2	164,9	164,5	164,8	164,9
1800 rpm	210,1	210,3	209,4	209,1	210,3	210,5	210,3	210,1	210,6	210,5

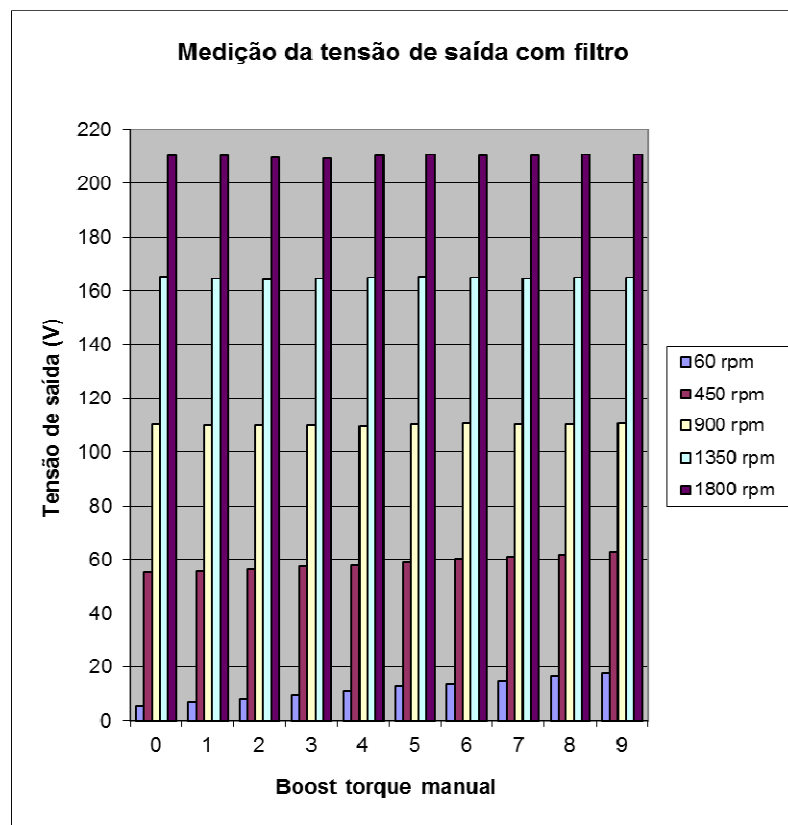


Figura 22. Gráfico da tensão de saída da função de boost de torque manual(P1036).

Conclusão : A partir das tabelas e dos gráficos percebe-se que a função P0136 (boost de torque manual) atua em baixas velocidades aumentando a tensão de saída com o objetivo de manter o torque constante para compensar a queda de tensão na resistência do estator.

Verifica-se que os valores de medição estão compatíveis comparado com valores medidos com aparelhos de precisão.

A partir de 900 rpm (metade da velocidade nominal) observa-se que a função não atua.

Resultado: Função P0136 foi aprovada.

4.1.2 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA FUNÇÃO BOOST DE TORQUE AUTOMÁTICO(P0137)

O boost de torque automático compensa a queda de tensão na resistência estática em função da corrente ativa do motor.

Os critérios para o ajuste de P0137 são os mesmos que os do parâmetro P0136.

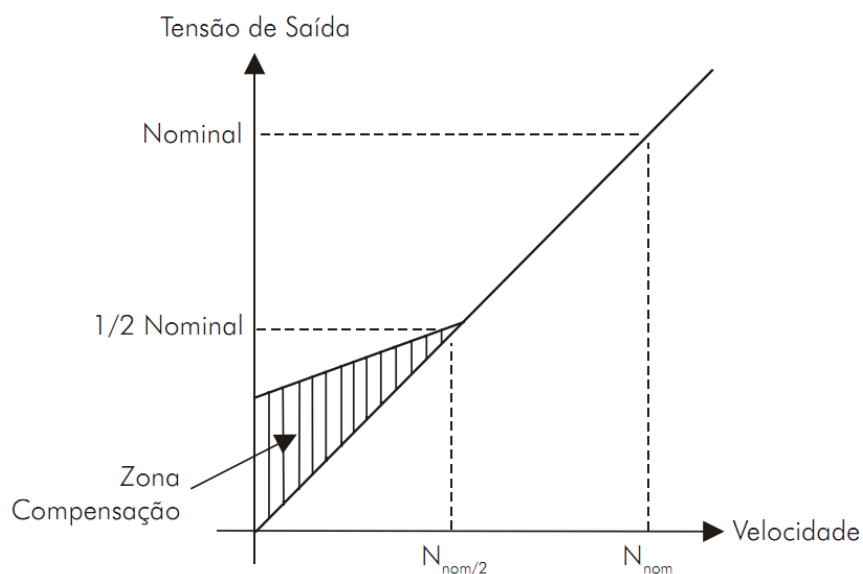


Figura 23. Efeito de P0137 na curva V/f [5].

O procedimento da validação foi semelhante ao da função P0136, fizemos medições da corrente e tensão de saída(em p.u.). Para simular carga no eixo do motor, utilizamos um servo-acionamento que é constituído de um servo-conversor e de um servo-motor.

Tabela 2. Medição da corrente e tensão de saída da função P0137.

P0121	CARGA	P0137 = 0		P0137 = 0.2		P0137 = 0.6		P0137 = 0.8	
		Vs (p.u.)	Is (A)	Vs (p.u.)	Is (A)	Vs (p.u.)	Is (A)	Vs (p.u.)	Is (A)
150 rpm	Vazio	0,078	2,080	0,081	2,200	0,087	2,480	0,088	2,740
	3/4 Inom	0,259	2,830	0,273	3,100	0,354	3,750	0,370	4,200
	I nom	0,263	2,950	0,274	3,200	0,350	3,900	0,367	4,370
300 rpm	Vazio	0,164	2,480	0,165	2,530	0,169	2,610	0,170	2,610
	3/4 Inom	0,435	5,650	0,446	4,850	0,461	4,000	0,469	3,840
	I nom	0,435	5,770	0,444	6,140	0,473	6,080	0,48*	5,31*
600 rpm	Vazio	0,332	2,670	0,333	2,680	0,334	2,670	0,335	2,690
	3/4 Inom	0,616	3,870	0,619	3,850	0,622	3,820	0,626	3,810
	I nom	0,534	8,000	0,613	4,930	0,621	4,800	0,626	4,750
900 rpm	Vazio	0,503	2,740	0,502	2,730	0,503	2,710	0,502	2,730
	3/4 Inom	0,753	3,850	0,752	3,840	0,752	3,850	0,752	3,840
	I nom	0,540	8,100	0,751	4,710	0,750	4,710	0,749	4,700

F0048 (Sobretensão nos IGBTs)
* F0072 (Sobrecarga no motor)

Conclusão : O teste de validação da função P0137(Boost de torque automático) apresentou valores satisfatórios, porém durante o teste ocorreram 3 falhas (2 vezes F0048 e 1 vez F0072). Verificar possíveis causas do erro.

Resultado : Fazer futuras validações para constar se o erro se repete.

4.1.3 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA FUNÇÃO COMPENSAÇÃO DE ESCORREGAMENTO (P0138)

O parâmetro P0138 é utilizado na função de compensação de escorregamento do motor, quando ajustado para valores positivos. Neste caso compensa a queda na rotação devido a aplicação da carga no eixo. Incrementa a frequência de saída em função do aumento da corrente ativa do motor.

O ajuste em P0138 permite regular com precisão a compensação de escorregamento. Uma vez ajustado P0138 o inversor irá manter a velocidade constante mesmo com variações de carga através do ajuste automático da tensão e da frequência.

Valores negativos são utilizados em aplicações especiais onde se deseja reduzir a velocidade de saída em função do aumento da corrente do motor[5].

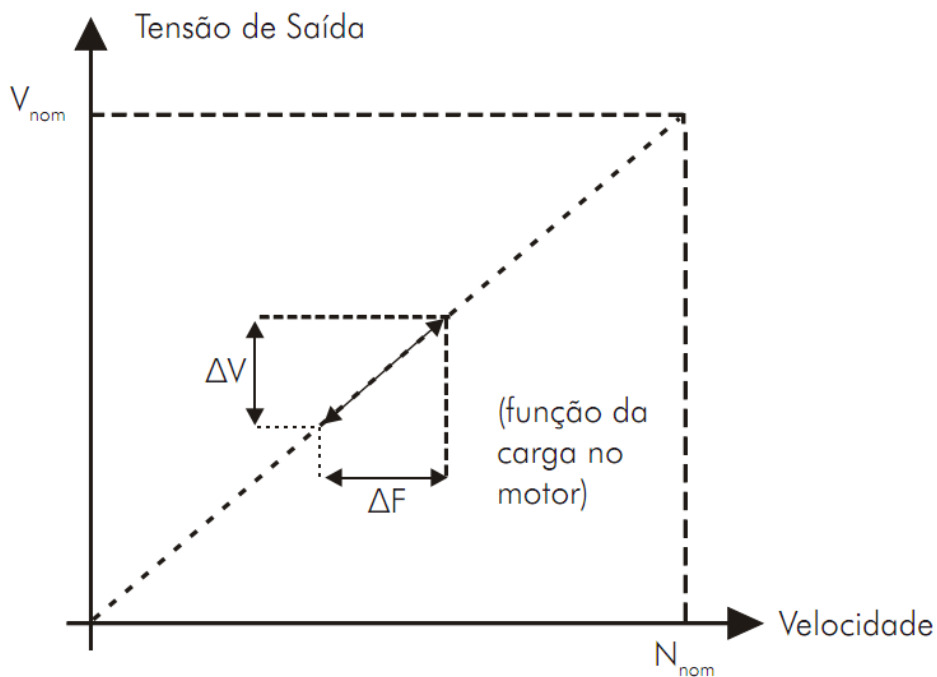


Figura 24. Curva V/f com Compensação de Escorregamento [5].

Para realizar a validação dessa função utilizamos um servo-acionamento igual ao utilizado na validação do P0137. Para obtermos a velocidade real do eixo utilizamos um tacômetro no qual mede a velocidade precisa da rotação do motor.

Tabela 3. Medição da velocidade para validação da função P0138.

P121	Carga	P 138 = 0	P138 ajustado			
		Velocidade (rpm)	Velocidade (rpm)	Referência de velocidade - P0001	Frequência do motor P0005	(*)Erro
300 rpm	Vazio	295	x	x	x	x
	3/4 Inom	5	x	x	x	x
	Inom	0	x	x	x	x
600 rpm	Vazio	594	x	x	x	x
	3/4 Inom	528	x	x	x	x
	Inom	485	x	x	x	x
1200 rpm	Vazio	1192	x	x	x	x
	3/4 Inom	1136	x	x	x	x
	Inom	1111	x	x	x	x
1650 rpm	Vazio	1642	x	x	x	x
	3/4 Inom	1588	x	x	x	x
	Inom	1535	x	x	x	x
2500 rpm	Vazio	2486	x	x	x	x
	3/4 Inom	2358	x	x	x	x
	Inom	2285	x	x	x	x

Conclusão : Possível erro no software para o valor da função P0138. Está existindo a compensação, porém a porcentagem do parâmetro está muito alta para compensar pouca frequência. Em P0138 = 10% (máximo) na velocidade nominal com carga nominal, compensa-se apenas 2,4Hz e a velocidade real com 10% de compensação chega no máximo a 1740 rpm.

Devido a esse erro não podemos fazer testes que validem a função. Por esse motivo não coletamos os demais dados da tabela 3 (x) .

Resultado : Função P0138 reprovada.

4.1.4 TESTE DE VERIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES P0142 A P0146 (V/F AJUSTÁVEL)

A verificação dessas funções consistia em comparar os valores teóricos com os valores medidos da tensão de saída. Os resultados tinham que ser praticamente iguais para a função ser aprovada.

Tabela 4. Tensão de saída das funções P0142 a P0146 (Curva V/f Ajustável).

Velocidade (rpm)	Velocidade pela IHM (rpm)	Velocidade Real (rpm)	Tensão de saída pela IHM - P0007(V)	Tensão de saída pelo multímetro com filtro (V)	Tensão de saída teórico (V)
N ≤ 15	10	0	1	0,3	0
	15	0	2	0,4	0
15 < N ≤ 90	30	26	4	2,7	5,87
	60	58	10	9	11,744
	90	87	16	15,3	17,616
90 < N ≤ 900	300	296	40	40,7	41,3
	600	594	73	75,4	75,13
	900	894	107	110	108,98
900 < N ≤ 1800	1200	1192	143	146,7	146,8
	1500	1492	180	183,2	183,5
	1800	1791	215	210,4	220,2
N > 1800	2000	1988	216	211,5	220,2
	2200	2186	216	211,4	220,2

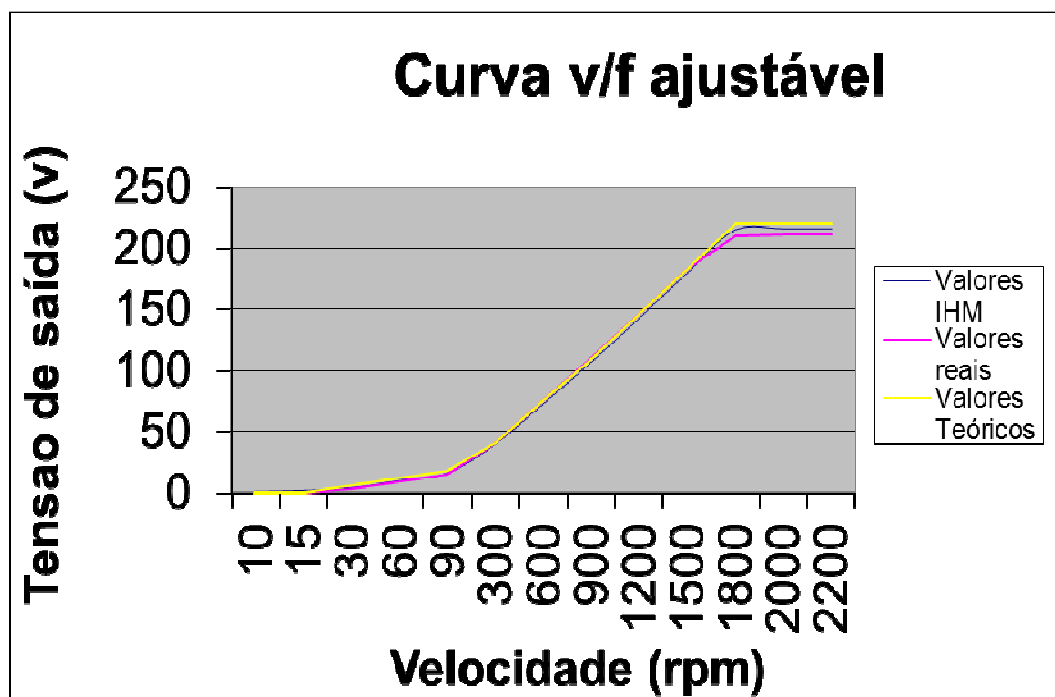


Figura 25. Tensão de saída x velocidade para curva V/f ajustável.

Conclusão : Os parâmetros P0142 a P0146 estão de acordo com os valores teóricos. Nenhum erro foi encontrado no controle v/f ajustável.

Resultado : Função aprovada.

4.1.5 TESTE DA SINALIZAÇÃO DE AUTO-AJUSTE NAS SAÍDAS DIGITAIS (DOX)

A validação consistia em efetuar o auto-ajuste, programando o inversor para trabalhar no modo de controle VVW e Vetorial sensorless. Utilizamos um osciloscópio para captar a forma de onda e o tempo de cada controle.

Tabela 5. Auto-ajuste nas DOx.

P408 = 1	VVW	Sensorless
Resistência estatórica (Ohms)	1,917	1,868
Tensão durante o auto-ajuste (V)	25 a 27	26 a 27
Tempo do auto-ajuste (s)	37,1	126,7

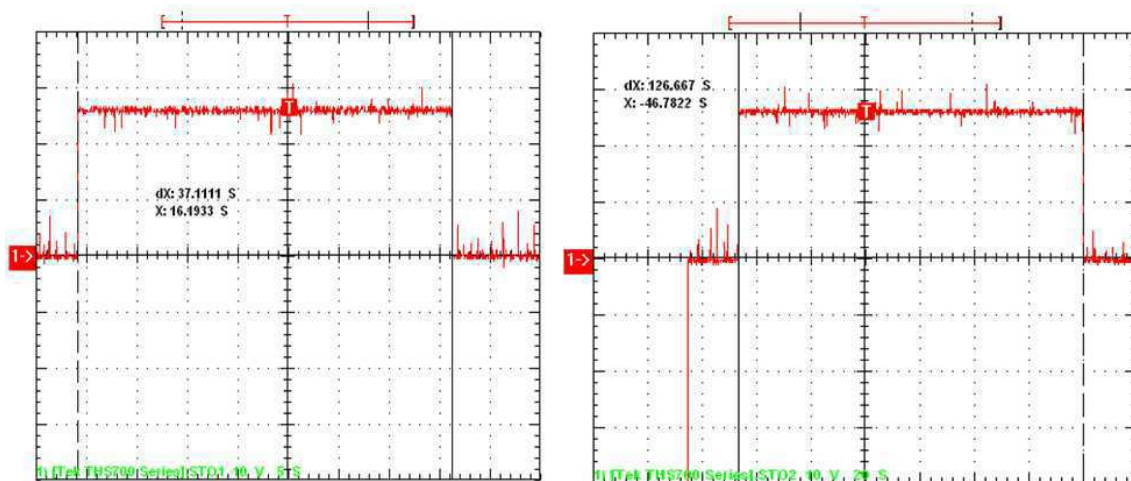


Figura 26. Tempo do auto-ajuste no controle VVW e vetorial sensorless.

Conclusão : A diferença entre o tempo de auto-ajuste no modo VVW e no modo Sersensorless é devido que o modo VVW estima apenas 1 parâmetro (resistência estatórica) enquanto no modo sensorless estima-se vários outros tornando-o um controle mais completo.

Resultado : Função aprovada.

4.1.6 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA FUNÇÃO MODO DE INCÊNDIO (P0580)

Essa função faz o inversor continuar a acionar o motor mesmo em condições adversas, inibindo a maioria das falhas geradas pelo mesmo, a fim de se proteger ou proteger o motor. Essa função que corresponde ao parâmetro P0580 é ativada por uma entrada digital (DIx), cujo nível lógico alto é '0'. Quando for detectada a entrada correspondente a função fire mode, aparecerá o alarme A0211 no display principal da IHM e o estado do modo de operação será atualizado no parâmetro P0006[5].

O teste foi realizado ativando a função modo de incêndio em uma DIx e fazendo várias falhas atuarem. O inversor deve continuar a operar mesmo com essas falhas.

Realização do teste:

- Modo de incêndio programado em uma entrada digital sem apresentar problemas.
- Houve conflito quando o modo de incêndio foi programado em 2 entradas digitais.
- Fire mode foi programado também como saída digital sem problemas e quando ativado apresentou 27V na DOx.
- Modo de incêndio foi programado para as 4 possíveis tipos de configuração diferente:

Tabela 6. Tipos de configuração da função fire mode.

P0580	Observações
0 = Inativo	Ok
1 = Ativo	Ok
2 = Ativo/P0134	Ok
3 = Ativo/581	Falha no software(não mostrava parâmetros acima do P1003)
4 = Ativo / Des.Geral	Ok

- Foi feito a verificação da função de modo de incêndio (ativa/inativa) em função do estado da DIx programada e da DOx programada.
- A sinalização do alarme **A0211** foi apresentado na IHM e no parâmetro P0006.
- Quando a função de fire mode está ativa, todos os comandos de parada são ignorados.

- Testado todos os tipos de falha. O inversor se comportou adequadamente e resetou toda vez que ocorreu a falha.
- Função pular velocidade está funcionando de acordo com o especificado no manual.

Observações importantes:

- Quando a função modo de incêndio está ativa e o inversor entra em um processo de energização e desenergização, ocorre a perda de dados (P0158) levando-o a um reset padrão de fábrica.
- Quando fire mode ativa o flying start só funciona uma vez.
- Posso alterar os parâmetros enquanto estou no modo de incêndio.
- Há uma incompatibilidade na função de flying start quando o fire mode está ativo.
- Quando a função desabilita flying start não está programada em uma das DIx a função fica inativa(Erro desapareceu quando resetei o drive).
- Quando a função F.M. está ativa o status na IHM não aparece run. Só aparece quando desativo o fire mode até a parada do motor.

Resultado : Função aparentemente funcionando, porem com alguns erros a serem corrigidos.

4.1.7 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA FUNÇÃO BYPASS (P0583)

Permite que o motor controlado pelo inversor seja acionado diretamente pela rede de alimentação trifásica através de um contator que irá executar a partida direta do mesmo. É necessário termos 2 contatores. 1 ligado entre o inversor e o motor e outro ligado da rede para o motor.

Esses 2 contatores são acionados por 2 saídas digitais (DO1 e DO2) programadas para “contator bypass drive” e “contator bypass rede”, e os mesmos terão uma lógica de intertravamento elétrico fazendo com que os 2 não fiquem em nível lógico 1 ao mesmo tempo [5].

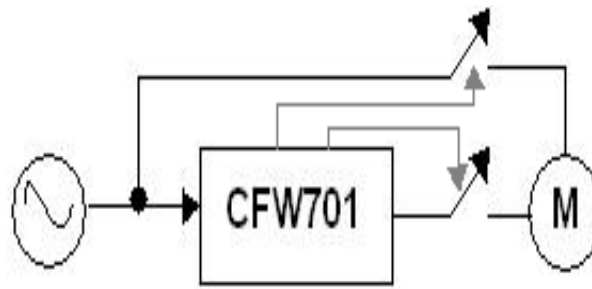


Figura 27. Lógica da função by-pass [5].

O esquema da ligação da parte elétrica para testar a função by-pass :

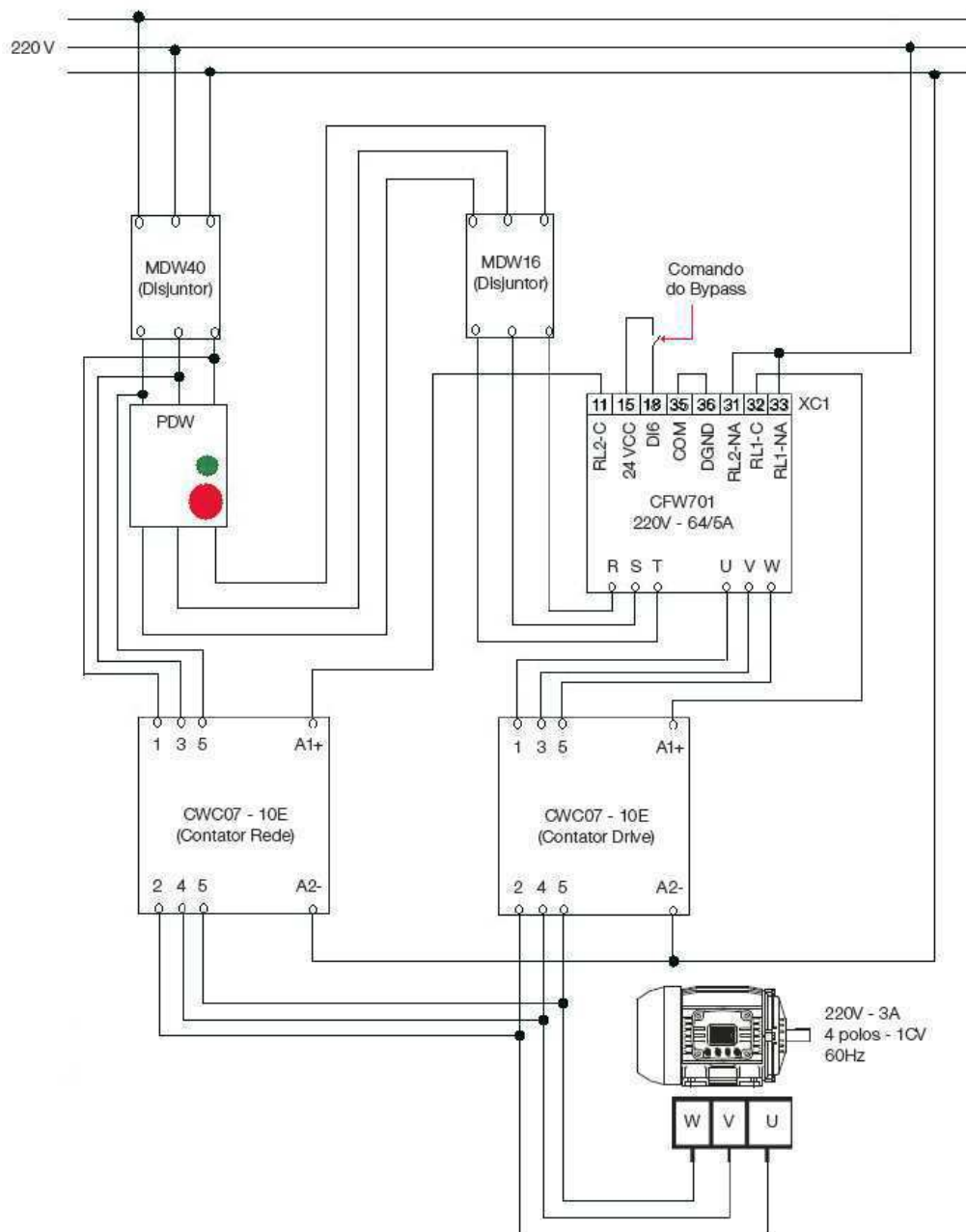


Figura 28. Esquema elétrico da ligação da função bypass.

Rotina da validação :

- O controle utilizado foi o V/f 60Hz.
- A função bypass foi programada em uma entrada digital 6 (DI6).
- Incompatibilidade de programação entre 2 ou mais DIx para acionar o bypass.
- Contator bypass rede e contator bypass drive foram programados em DOx diferentes e não foram compatíveis em 2 ou mais saídas com a mesma função.

A lógica da função Bypass está no esquema abaixo. Calculamos os tempos de desmagnetização (t_{desm}) e o tempo de atuação do contator de Bypass para verificar se os mesmos estão de acordo com o manual.

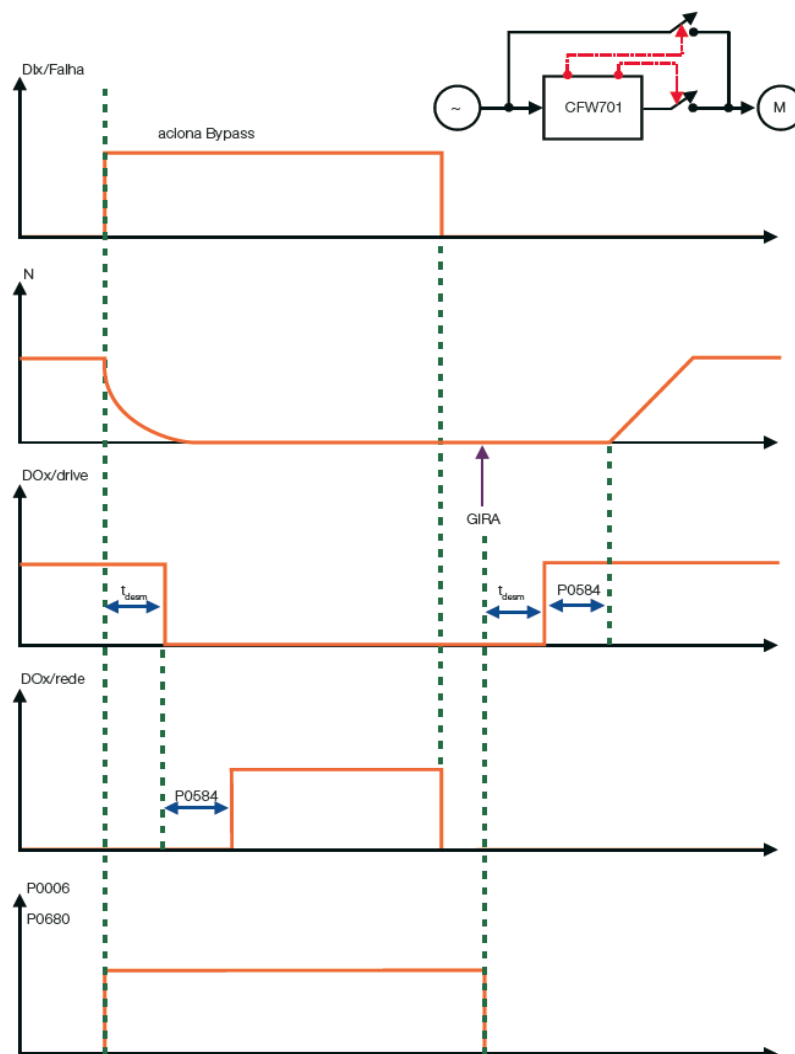


Figura 29. Lógica do funcionamento da função bypass.

O tempo de desmagnetização esperado é calculado através da fórmula :

$$T_{desm}(s) = (\text{Velocidade} / \text{Velocidade nominal}) \times 3. \quad (3)$$

O T_{desm} máximo será de 3 segundos, ou seja, para velocidades acima da nominal (enfraquecimento de campo) a velocidade será considerada como 1800rpm.

A verificação do tempo de desmagnetização (t_{desm}) com e sem o bypass foi feita através osciloscópio e os resultados estão nas tabelas e figuras a seguir:

Tabela 7. Medição do tempo de desmagnetização sem o bypass.

SEM Bypass		
Velocidade	Tdesm	Tdesm esperado
300 rpm	555 ms	500 ms
900 rpm	1.444 s	1.50 s
1800 rpm	3.11 s	3.0 s
2100 rpm	3.0 s	3.0 s

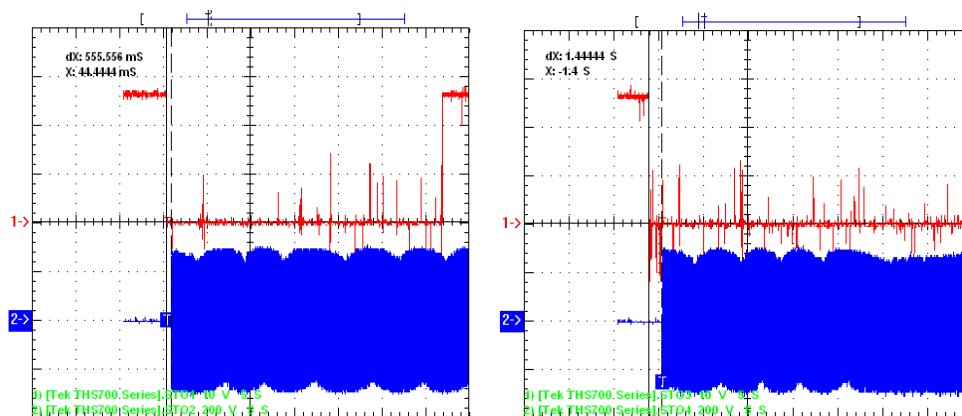


Figura 30. Tempo de desmagnetização em 300rpm e 900rpm respectivamente.

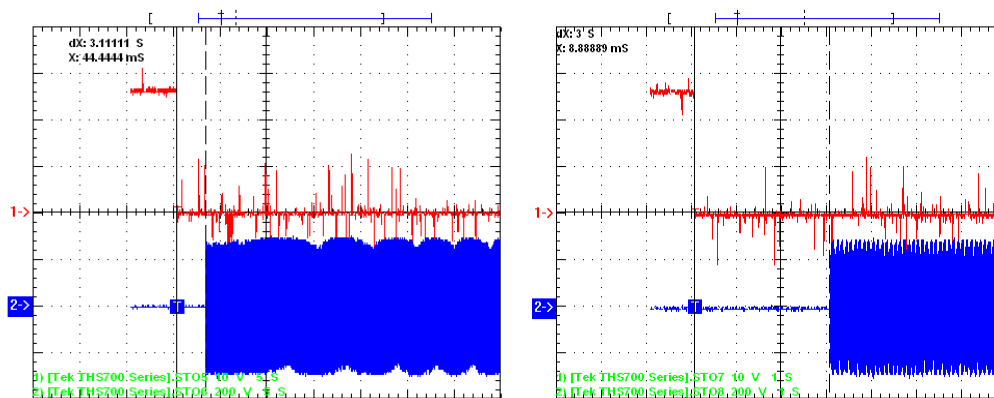


Figura 31. Tempo de desmagnetização em 1800rpm e 2100rpm respectivamente.

Com o bypass ativado, o tempo de desmagnetização será sempre 3 segundos, pois o motor será alimentado pela rede com tensão e frequência nominais, sendo assim sua velocidade nominal de 1800rpm.

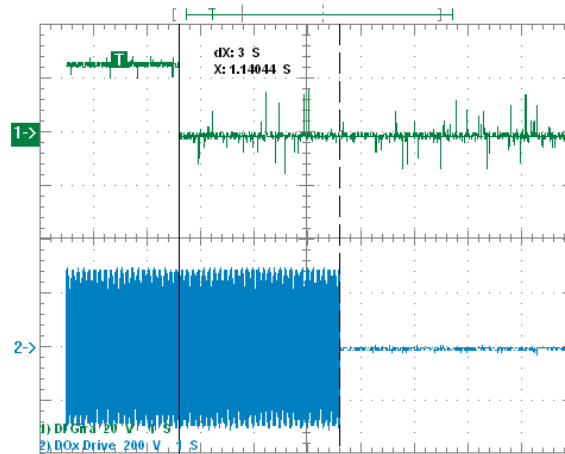


Figura 32. Tdesm quando o bypass está ativo.

O tempo de desmagnetização está de acordo com o especificado no manual, tendo o seu tempo variado de 0 a 3 segundos.

Depois de validado o tempo de desmagnetização, mediremos o tempo do contator bypass (P0584) para então aprovar toda a função bypass.

A função P0584 foi configurada no inversor e foi medido este tempo com um osciloscópio para verificar se os parâmetro era igual ao tempo real.

A seguir será ilustrado a validação da função P0584 (Tempo contator Bypass) e uma tabela comparando o valor programado e o real.

Tabela 8. Tempo contator bypass programado x valor real.

P0584 (s)	Valor Real (s)
0,3	0,3
0,7	0,702
5	5,022
20	20,1082

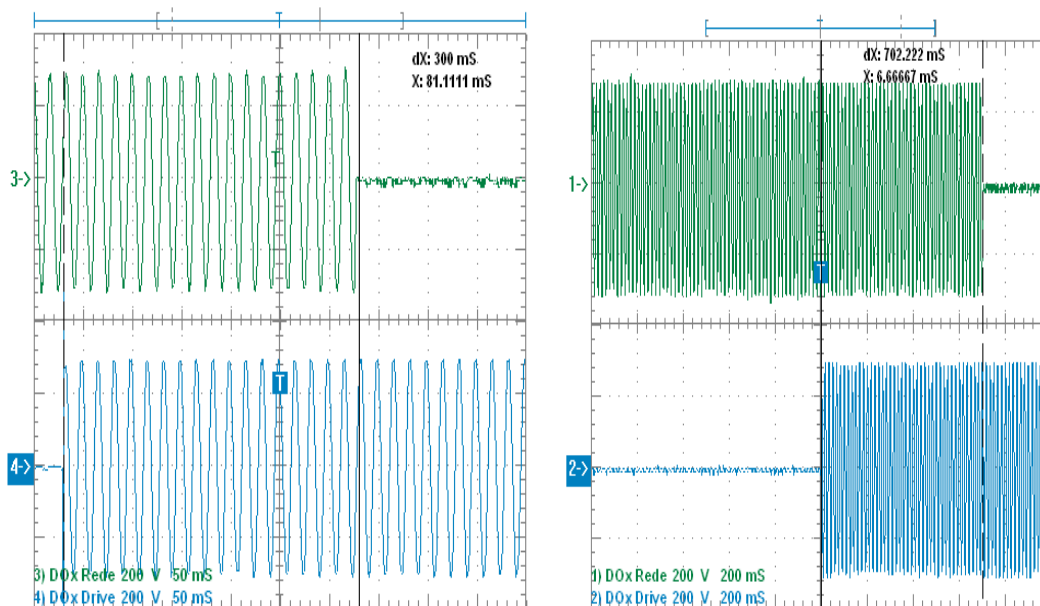


Figura 33. Tempo real de P0584 para 0,3s e 0,7s respectivamente.

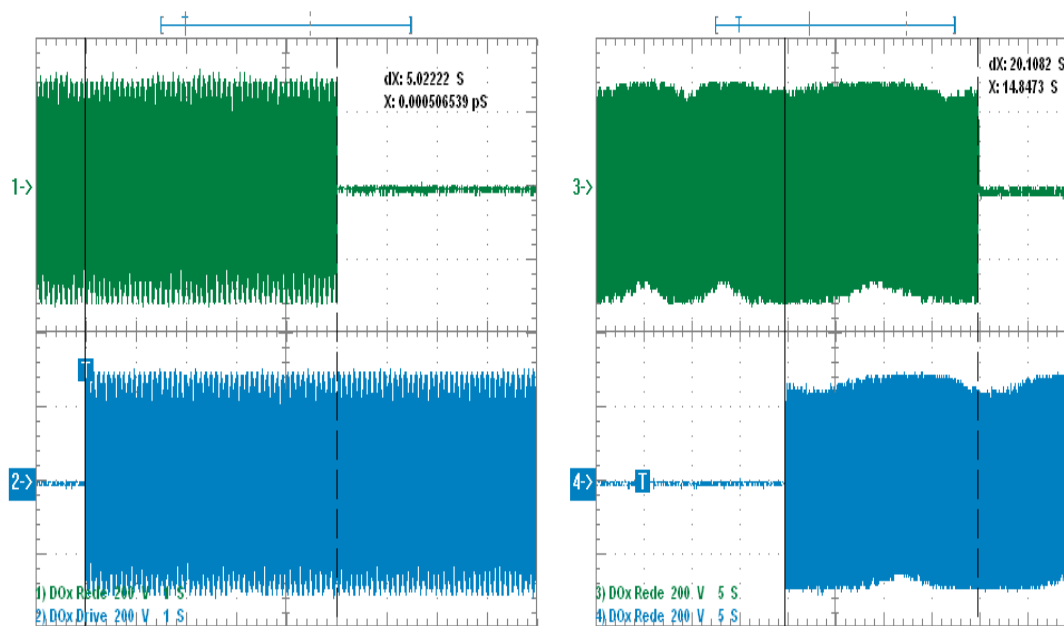


Figura 34. Tempo real de P0584 para 5s e 20s respectivamente.

Conclusão : O Bypass se comporta de maneira esperada, igual especificada no manual e não apresenta nenhum tipo de problema.

Resultado : Função aprovada.

4.1.8 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA FUNÇÃO ECONOMIA DE ENERGIA –EOC (P0588)

A função de Economia de Energia atua diretamente na tensão aplicada na saída do inversor, desta maneira, a relação de fluxo entregue ao motor é alterada para reduzir as perdas no motor e melhorar o rendimento, conseqüentemente, reduzindo o consumo e o ruído sonoro.

A função estará ativa quando com carga abaixo do valor máximo (P0588) e com velocidade acima do valor mínimo (P0590). Além disso, para evitar o tombamento do motor o valor da tensão aplicada é limitado a um mínimo aceitável (P0589).

A validação dessa função consistiu em alterar os valores de P0588 para diversos valores, para diferentes tipos de carga e para diferentes tipos de velocidades. Os resultados são mostrados na tabela e gráficos a seguir :

Tabela 9. Tabela da função de economia de energia.

Velocidade	Carga	Nível máximo de Torque - P0588	Corrente de Saída(A)	Tensão de Saída(V)	Torque % (P0009)	Velocidade Real (rpm)
750 rpm	0%	0%	2,75	92,9	12,40%	746
	0%	50%	1,20	35,4	20%	712
	50%	0%	3,21	88,7	57%	705
	50%	50%	3,21	88,7	57,20%	705
	50%	80%	3,20	88,6	57,10%	705
1200 rpm	0%	0%	2,82	148	10%	1194
	0%	50%	1,31	59,2	20%	1160
	50%	0%	3,36	145,5	52,10%	1158
	50%	50%	3,36	145,5	52,10%	1158
	50%	80%	3,34	133,5	59,70%	1142
1800 rpm	0%	0%	2,61	212,8	5%	1792
	0%	50%	1,31	88,8	17,50%	1758
	50%	0%	3,43	206,7	47,80%	1750
	50%	50%	3,43	207,3	47,80%	1750
	50%	80%	3,39	185,4	54,70%	1736

EOC ativa

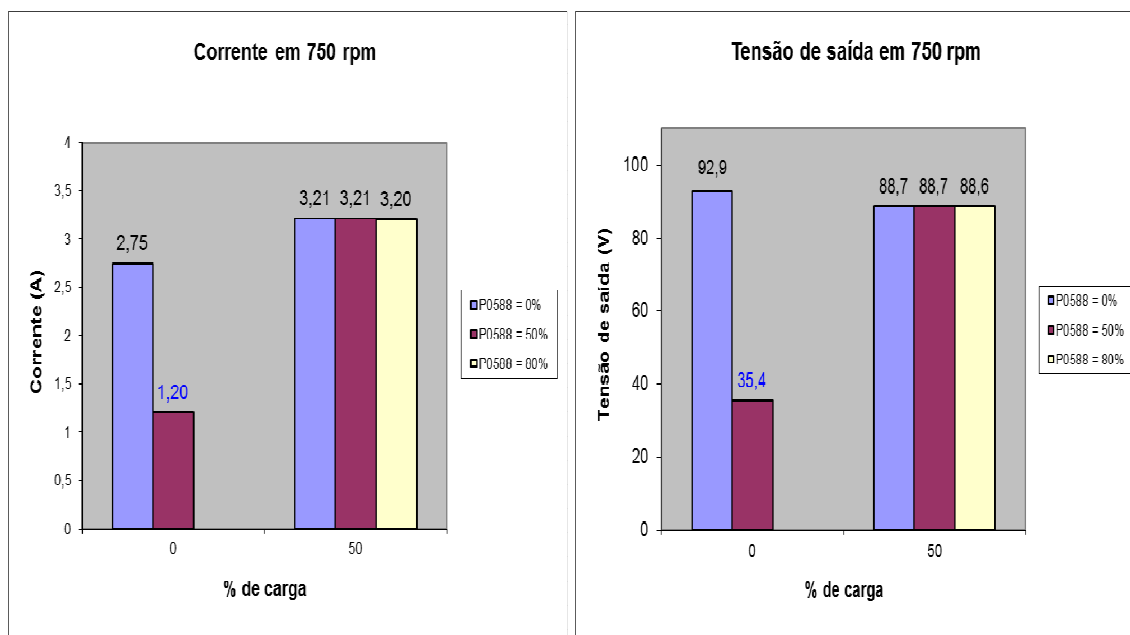


Figura 35. Corrente e tensão de saída para velocidade de 750rpm.

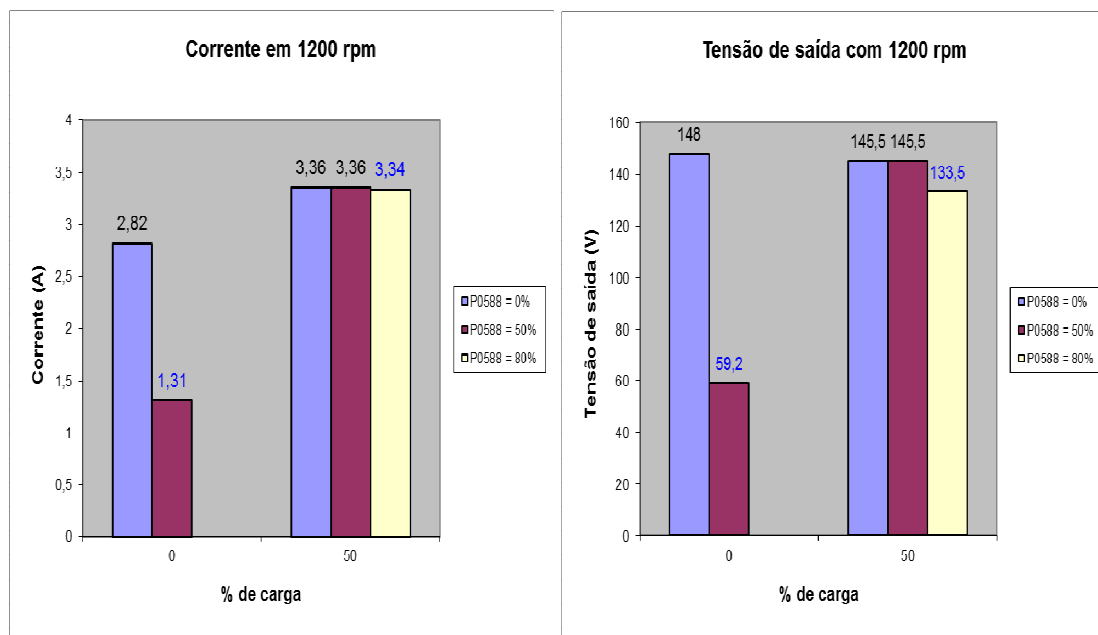


Figura 36. Corrente e tensão de saída para velocidade de 1200rpm.

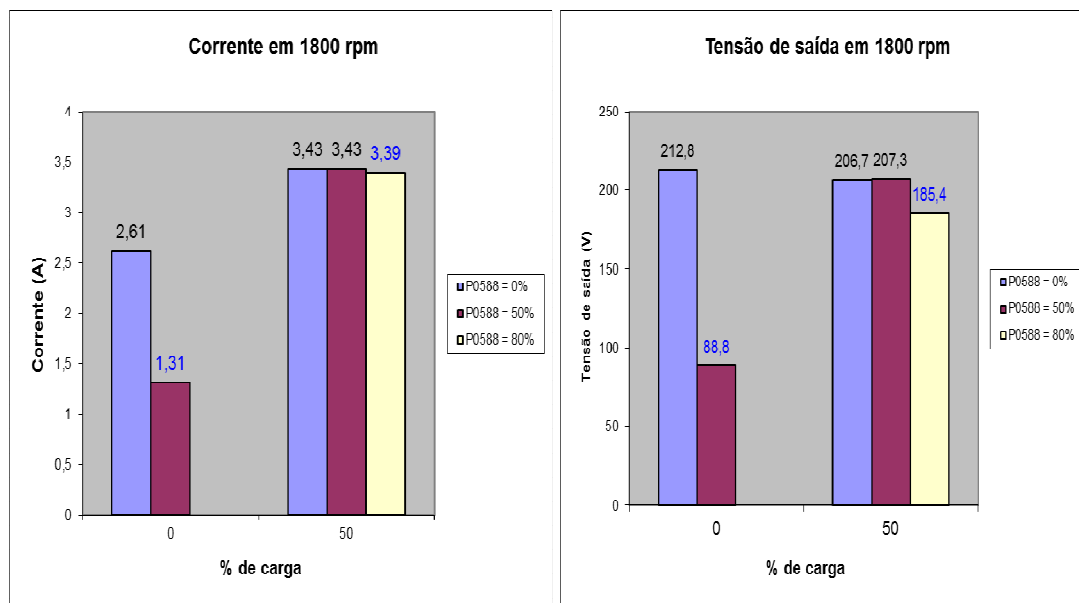


Figura 37. Corrente e tensão de saída para velocidade de 1800rpm.

Conclusão : A função de economia de energia (P0588) ficou evidente quando foi ativada e o motor operado a vazio. Como se trata de um motor de alto rendimento, não foi possível observar um alto desempenho desta função quando com carga. Outro fato a se considerar é que o motor é pequeno e de baixa potência (1.5cv), 4.5A e o inversor CFW70X é de 5A.

4.2 OUTRAS ATIVIDADES REALIZADAS

Durante o período de estágio foram executadas várias tarefas em paralelo a validação das funções. As principais tarefas estão a seguir:

4.2.1 TESTE DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA EM CARTÃO DE FONTE CHAVEADA PARA ALIMENTAÇÃO DE VENTILADORES EM CÂMARA CLIMÁTICA.

O cartão de fonte chaveada para alimentação de ventiladores são responsáveis pela parte de ventilação do inversor de frequência. Esse teste foi realizado com o auxílio de uma câmara climática no qual submetia os componentes eletrônicos a uma temperatura superior a 60° C.



Figura 38. Câmara térmica.

Para captar a temperatura foi utilizado um registrador de temperatura que media e registrava a temperatura proveniente de termopares tipo T instalados nos pontos mais críticos das placas.

Foram utilizados 2 cartões de fonte chaveada para alimentação de ventiladores. Um com componentes eletrônicos mais novos e outro cartão com componentes antigos, para então termos a comparação entre elas.

No total do teste foram utilizados 8 termopares tipo T (4 em cada placa) e o teste foi realizado durante 1 semana.



Figura 39. Cartão de fonte chaveada para alimentação de ventiladores dentro da câmara climática.

De acordo com os resultados, foi gerado um relatório repassando os valores de temperatura em cada componente e as formas de onda captadas para então serem tomadas as devidas providências para o melhoramento das placas.

4.2.2 SIMULAÇÃO DE CABO LONGO BLINDADO

Consumidores dos inversores WEG no exterior estavam relatando um erro em comum encontrado nas aplicações que utilizavam cabos longos blindados. Para tentar encontrar o mesmo erro dos clientes, fizemos uma placa RLC série que se encontrava na saída do inversor em paralelo com o motor, simulando o efeito de cabos longos.

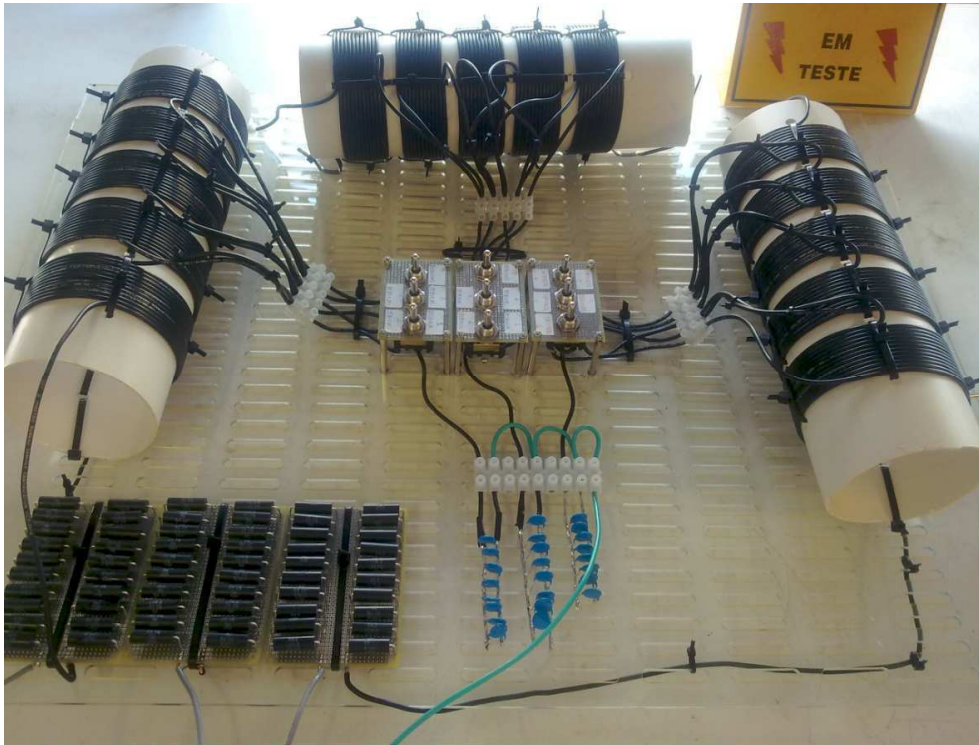


Figura 40. Circuito RLC série simulando efeito de cabos longos.

Através da placa alteramos os valores de capacitância e indutância tentando simular o erro encontrado. O motor que utilizamos no teste é um motor de 500cv com cabos blindados.



Figura 41. Motor de 500cv com cabos blindados utilizado no teste.

Até a finalização do trabalho não conseguimos simular o erro encontrado.

5 ÁREAS DE IDENTIFICAÇÃO COM O CURSO

As disciplinas do curso de engenharia elétrica tiveram um papel fundamental para o entendimento das atividades realizadas durante o estágio. Eletrônica de potência foi uma matéria de grande importância, pois necessitava entender o que ocorre internamente em um inversor de frequência. Instalações elétricas foi de suma importância pois a maioria dos testes fazia a instalação elétrica dos equipamentos.

Disciplinas como controle analógico, eletrônica e máquinas elétricas contribuíram também no entendimento de todo o processo ocorrido desde a entrada do inversor até a saída para o motor, como também o entendimento do sistema de controle do inversor de frequência.

Em geral, todas as disciplinas do curso de engenharia contribuíram de forma direta ou indireta para a realização do estágio, pois é através delas que o aluno desenvolve o raciocínio lógico para exercer a função de engenheiro.

6 CONCLUSÃO

As atividades realizadas durante o estágio foram válidas tanto pelo aspecto técnico quanto pela experiência de trabalho em uma empresa multinacional, com a grande diversidade cultural e étnica que existe no ambiente de trabalho é possível enriquecer o lado pessoal também, vivenciando políticas e regras internas da empresa para que haja um equilíbrio e respeito em uma população multicultural.

O aprendizado em relação às atividades desenvolvidas foi um processo contínuo através de buscas de informações em referências bibliográficas, manuais de produtos e principalmente através dos colegas engenheiros.

Foi um estágio muito que atendeu todas as expectativas em relação a empresa e deu um amplo conhecimento sobre inversores de frequência.

Assim percebe-se que o estágio curricular vem cumprindo sua finalidade, de ser um período de experiência para o futuro engenheiro, agregando tanto informações técnicas como também o desenvolvimento das relações interpessoais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Sobre-a-WEG/Numeros>>. Acesso em : 14-11-2011.

[2] Disponível em: <<http://www.zest.co.za>>. Acesso em: 21-11-2011.

[3] Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Sobre-a-WEG/Unidades-WEG/Jaragua-do-Sul-II>>. Acesso em: 02-12-2011.

[4] WEG. *Manual de programação CFW11*. Jaraguá do Sul, 2011.

[5] WEG. *Manual de programação CFW70X*. Jaraguá do Sul, 2011.