



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE**  
**CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CEAU**



**MAGNO CHARLES DA SILVA**

**AUTOMATIZAÇÃO DOS GRUPOS GERADORES DA ESTAÇÃO DE BOMBAS VI**  
**DA UNIDADE DE GERMANO DA SAMARCO MINERAÇÃO**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto, 2017**

MAGNO CHARLES DA SILVA

**AUTOMATIZAÇÃO DOS GRUPOS GERADORES DA ESTAÇÃO DE BOMBAS VI  
DA UNIDADE DE GERMANO DA SAMARCO MINERAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

Setembro/2017

S586a

Silva, Magno Charles.

Automatização dos grupos geradores da Estação de Bombas VI da unidade de Germano da Samarco Mineração [manuscrito] / Magno Charles Silva. - 2017.

39f.: il.: color.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Geradores (Programas de computador). 2. Programação automática (Computação). 3. Controladores programáveis. I. Reis, Agnaldo José da Rocha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

Monografia defendida e aprovada, em 05 de setembro de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



---

Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Orientador



---

Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



---

Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

*“...cada um de nós compõe a sua história, cada ser em si carrega o dom de ser capaz e de ser feliz...”*

*Renato Teixeira; Almir Sater.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para lutar por meus objetivos.

A minha esposa, pela força, compreensão, incentivo e apoio incondicional.

A toda minha família, pelo apoio.

Ao meu amigo William pelo companheirismo durante essa jornada.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que proporcionaram um ensino de qualidade.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

## RESUMO

A falta de energia pode causar inúmeros transtornos e inclusive perdas econômicas nos mais variados processos produtivos. Nas grandes indústrias, cujos processos envolvem equipamentos de potências mais altas e que não podem ficar parados por muito ou nenhum tempo, são utilizados grupos geradores de energia elétrica, geralmente acionados por motores a diesel, para suprir a falta de alimentação de energia da concessionária. O avanço da eletrônica permitiu o desenvolvimento de controladores dedicados, capazes de realizar automaticamente e com extrema eficiência todas as manobras necessárias em uma transferência de carga entre grupos geradores e concessionária. Os controladores da *Deep Sea Eletronics* estão entre os mais modernos disponíveis no mercado. Durante o projeto 'Quarta Pelotização' da Samarco Mineração, foram instalados três grupos geradores de 635KVA e 480Vca cada na Estação de Bombas VI, com o objetivo de fornecer energia a equipamentos que não poderiam ficar desligados de maneira não planejada por um determinado tempo. Os grupos geradores possuem um sistema de controle composto por controladores DSE8610 e DSE8660. Devido, principalmente, aos prazos de entrega do projeto, o sistema foi liberado para a operação funcionando apenas em modo manual. Com o objetivo de habilitar o funcionamento automático, foi realizada uma revisão do sistema, alterando ligações e parametrizações dos controladores e habilitando novas saídas digitais para permitir o controle do acionamento dos disjuntores do sistema de transferência de carga.

**Palavras-Chave:** Grupos geradores, Geradores de emergência, Controladores de grupos geradores, Automação de grupos geradores.

## ABSTRACT

The lack of energy can cause numerous disorders and even economic losses in the most varied production processes. In large industries whose processes involve higher power equipment that can not be left idle for long or short periods of time, electric power generating groups, usually driven by diesel engines are used to supply the utility lack of power. Electronic advances have enabled the development of dedicated controllers able to, automatically and efficiently, perform all necessary maneuvers in a load transfer between generator sets and the concessionaire. The controllers of Deep Sea Eletronics are one of the most modern controllers available in the market. During Samarco Mineração's Fourth Pelletizing project, three generator sets of 635KVA and 480Vca were installed at the Pump Station VI to provide power to equipment that could not be unplugged for a certain time. The generator sets have a control system consisting of DSE8610 and DSE8660 controllers. Due to delivery deadlines of the project, the system was released for operation operating only in manual mode. In order to enable automatic operation, a system revision was carried out, altering the connections and parameterizations of the controllers and enabling new digital outputs to allow the control of the drive of the circuit breakers of the load transfer system.

**Keywords:** Group generators, Emergency generators, Controllers of generator sets, Automation of generator sets.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Pelotas de minério de ferro produzidas pela Samarco. ....	12
Figura 2.2: Processo produtivo Samarco. ....	13
Figura 2.3: Traçado minerodutos Samarco. ....	14
Figura 2.4: Estação de bombas VI da Samarco. ....	15
Figura 2.5: Agitador de polpa. ....	16
Figura 3.1: Vista em corte do motor diesel .....	18
Figura 3.2: Circuito equivalente simplificado do gerador .....	20
Figura 3.3: Fechamento estrela das bobinas do gerador .....	21
Figura 3.4: Representação da ligação de geradores em paralelo .....	21
Figura 3.5: Desenho explodido de gerador GPA 312 EE DI .....	23
Figura 3.6: Módulo DSE8610 .....	24
Figura 3.7: Módulo DSE8660 .....	25
Figura 3.8: Grupo gerador diesel STEMAC .....	27
Figura 4.1: Disjuntor aberto ABW08 .....	28
Figura 4.2: Disjuntor aberto ABW08 e bobinas .....	29
Figura 5.1: sistema de transferência de cargas .....	30
Figura 5.2: Terminais do controlador DSE8660 .....	32
Figura 5.3: Descrição dos terminais de saída do módulo DSE8660 .....	33
Figura 5.4: Descrição dos terminais de entradas digitais do módulo DSE8660 .....	33
Figura 5.5: Módulo de controle DSE8660 em funcionamento .....	36

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
1.1	Objetivo geral.....	10
1.2	Objetivos específicos .....	10
1.3	Justificativas do trabalho.....	10
1.4	Metodologia proposta.....	11
1.5	Estrutura do trabalho .....	11
2	A SAMARCO MINERAÇÃO.....	12
2.1	Mineroduto.....	14
3	GERADORES ELÉTRICOS MOVIDOS POR MOTORES A COMBUSTÃO.....	17
3.1	Motor a combustão.....	17
3.2	Geradores .....	19
3.3	Sistemas de controle para grupos geradores .....	24
3.4	Grupo motor gerador (GMG).....	25
4	DISJUNTORES .....	28
5	AUTOMATIZAÇÃO DOS GRUPOS GERADORES DA ESTAÇÃO DE BOMBAS VI DA SAMARCO.....	30
5.1	Resultados .....	35
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

Grupo Motor Gerador (GMG) é um equipamento constituído por um motor de combustão (Diesel, Gasolina ou Gás) acoplado a um gerador que transforma a energia mecânica fornecida pelo motor em energia elétrica. Os GMGs podem ser utilizados em aplicações com o objetivo de economia, substituindo ou trabalhando em paralelo com a alimentação elétrica da concessionária de energia. A aplicação dos GMGs mencionados nesse documento é como equipamentos de emergência. Eles possuem a função de prover energia elétrica no caso de falta da alimentação da concessionária.

Devido ao avanço da eletrônica e dos microcontroladores, controladores dedicados ao controle, acionamento, monitoramento e a transferência de carga para grupos geradores foram desenvolvidos. Esses controladores podem detectar anormalidades na alimentação da concessionária e acionar os grupos geradores automaticamente caso necessário, além de poderem fazer outras funções complexas como paralelismo entre os grupos geradores e a concessionária.

São três os grupos motores geradores que serão abordados neste documento. Eles estão instalados na Estação de Bombas VI do complexo Germano da Samarco e são constituídos por motores Scania modelo DC1649A de 749 CV (STEMAC, 2017) e geradores WEG modelo GPA 312 EE DI de 635 KVA com tensão de 480 V e corrente de 763,8 A (WEG, 2017). O sistema de controle destes grupos geradores possui quatro controladores da fabricante *Deep Sea Eletronics*, sendo três modelos DSC8610 e um modelo DSC8660.

Os GMGs devem fornecer a energia necessária para o funcionamento de equipamentos em situações nas quais haja problemas de fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária, evitando a parada da planta por período de tempo indefinido e de forma não planejada. Esse tipo de parada inesperada poderia causar grandes perdas econômicas e de produtividade.

Devido aos prazos para entrega do projeto e a falta de comunicação entre fornecedores dos grupos geradores e dos painéis elétricos de baixa tensão, o sistema de transferência de carga e acionamento automático dos geradores não foi concluído durante a fase de instalação e comissionamento desses equipamentos. As ligações entre o controlador DSE8660 e os

disjuntores do sistema de transferência de carga não foram concluídas. Desse modo, o sistema foi entregue funcionando apenas em modo manual.

É nesse contexto que se insere este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Após pesquisas e muitos estudos para entender o funcionamento, os esquemas de ligação e o software de configuração dos controladores dos geradores, foram realizadas alterações no projeto – ligações elétricas e parametrização dos controladores – de maneira que o sistema pudesse funcionar em modo automático. No caso, deu-se ênfase às modificações nas ligações elétricas do sistema.

### 1.1 Objetivo geral

Apresentar estudo e pesquisa sobre o funcionamento, esquemas de ligação e configurações do sistema de controle dos grupos geradores da Estação de Bombas VI da unidade de Germano da Samarco Mineração com enfoque no hardware.

### 1.2 Objetivos específicos

Apresentar as alterações feitas no projeto elétrico de controle dos grupos geradores da Estação de Bombas VI da unidade de Germano da Samarco Mineração, para que o sistema de acionamento e transferência de carga funcionasse em modo automático.

### 1.3 Justificativas do trabalho

A automatização do funcionamento de grupos geradores é muito importante para as empresas onde esses equipamentos são instalados, principalmente quando possuem a função de sistema de emergência, suprindo a energia no caso de falha da alimentação da concessionária. Nesses casos é muito importante que o reestabelecimento da energia à carga seja feito o mais rápido possível. Como uma falta de energia pode ocorrer a qualquer hora, nem sempre haverá uma pessoa treinada, habilitada e autorizada a realizar as manobras de acionamento dos geradores e de transferência de carga. Logo, a automatização dessas manobras deve ser feita por meio de controladores específicos para aplicações com GMGs. Neste trabalho, os controladores empregados na automação dos GMGs, como já destacado, são fabricados pela empresa Deep Sea Electronics. Como os GMGs da Estação de Bombas VI da unidade de Germano da Samarco Mineração não funcionavam em modo automático, foi necessária uma revisão do sistema de controle para adequá-los. Essa adequação permitiu que

os GMGs operassem automaticamente, dispensando a necessidade de supervisão humana e garantindo a segurança dos trabalhadores que atuavam nas manobras de transferência de carga. Esse assunto é descrito em detalhes no capítulo 5.

#### 1.4 Metodologia proposta

A metodologia utilizada neste trabalho baseia-se no estudo e pesquisa em manuais para entendimento do funcionamento, do esquema de ligação de controladores DSE8660 e DSE8610 e familiarização com o software ‘DSE Configuration Suite PC’.

Após a etapa de estudo e entendimento dos controladores as seguintes operações foram realizadas:

- Verificação do esquema de ligação realizado entre os controladores e os disjuntores do sistema de transferência de carga;
- Alteração das ligações necessárias;
- Verificação da parametrização dos controladores;
- Alteração dos parâmetros referentes ao funcionamento automático;
- Testes com simulação de falta da energia da concessionária para verificar o comportamento dos grupos geradores.

#### 1.5 Estrutura do trabalho

Este documento foi dividido em seis capítulos, sendo que o primeiro apresenta uma introdução sobre o assunto tratado e os objetivos do projeto. O segundo capítulo traz algumas informações sobre a Samarco Mineração, empresa onde foi realizado o projeto. Nos capítulos três e quatro são apresentadas definições e especificações dos principais componentes e equipamentos citados no documento. O quinto capítulo, por sua vez, relata o desenvolvimento do projeto assim como os resultados obtidos. O sexto capítulo apresenta uma conclusão e algumas considerações sobre o trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 A SAMARCO MINERAÇÃO

A Samarco é uma empresa brasileira de mineração, fundada em 1977, de capital fechado, controlada em partes iguais por dois acionistas: BHP Billiton Brasil Ltda. e Vale S.A.

Destaca-se no setor de minério de ferro pelo pioneirismo e investimento em tecnologia de ponta. A empresa foi a primeira no Brasil a explorar o itabirito, um minério que era descartado como rejeito por possuir baixo teor de ferro. Seu principal produto são pelotas de minério de ferro, figura 2.1, produzidas a partir da transformação de minerais de baixo teor em um produto nobre, de alto valor agregado, e comercializado para a indústria siderúrgica de 25 países das Américas, Ásia, África, Europa e Oriente Médio (SAMARCO, 2013).



**Figura 2.1: Pelotas de minério de ferro produzidas pela Samarco.**

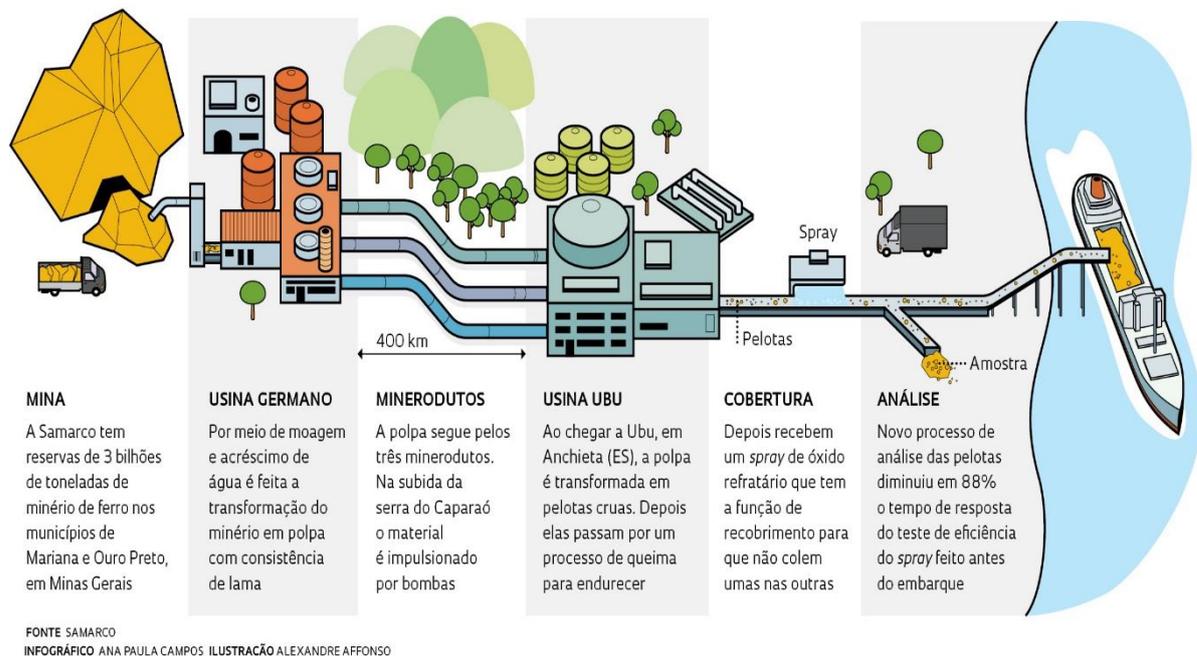
**Fonte: SAMARCO, 2013**

A empresa mantém unidades industriais em dois estados brasileiros, com operações realizadas de forma integrada e simultâneas. Em Minas Gerais, situada nos municípios de Mariana e Ouro Preto, localiza-se a unidade industrial de Germano, que possui três concentradores, que beneficiam o minério e aumentam seu teor de ferro. No Espírito Santo, no município de Anchieta, está instalada a unidade industrial de Ponta Ubu, que possui quatro usinas de pelotização e um terminal marítimo próprio, por onde escoam toda produção. As duas unidades industriais são interligadas por três minerodutos, com 398Km de extensão cada, que

transportam a polpa de minério de ferro entre os dois estados passando por 25 municípios. A Samarco é pioneira neste tipo de transporte (SAMARCO, 2013).

A Samarco possui escritórios de vendas em Belo Horizonte (MG) e Vitória (ES), e dois internacionais, em Amsterdam (Holanda) e Hong Kong (China). Além disso, a Samarco possui também uma usina hidrelétrica em Muniz Freire (ES) e participa do consórcio da usina hidrelétrica de Guilman-Amorim, em Antônio Dias e Nova Era (MG). A figura 2.2 ilustra o processo produtivo da Samarco (SAMARCO, 2013).

Mineral fino, concentrado e misturado com água percorre 400 km no subsolo de 25 municípios



**Figura 2.2: Processo produtivo Samarco.**

Fonte: PESQUISA, 2104

De acordo com a figura 2.2, a primeira etapa consiste na lavra de mina, seguido do beneficiamento do minério, que através de operações unitárias (britagem, peneiramento, moagem, flotação, espessamento) garantem as especificações da polpa de minério de ferro para seu bombeamento através dos minerodutos para a etapa de pelotização e em seguida estocagem e embarque do produto final.

## 2.1 Mineroduto

O uso de minerodutos para transporte de minério traz muitas vantagens para o processo produtivo, entre elas podemos citar:

- O controle operacional mais eficaz e seguro;
- O baixo impacto e a facilidade de gestão ambiental nas suas fases de implantação, operação e manutenção;
- A alta disponibilidade e confiabilidade do sistema;
- A possibilidade de trabalho integral;
- A locação fixa;
- O baixo custo operacional e de manutenção.

O transporte por mineroduto é um dos grandes diferenciais da Samarco. Esse sistema opera com baixos custos operacionais e elevada confiabilidade. A empresa possui três minerodutos.



Figura 2.3: Traçado minerodutos Samarco.

Fonte: SAMARCO, 2013

A figura 2.3 ilustra o traçado dos minerodutos, que possuem 398 km de extensão, ligando a unidade de Germano, em Minas Gerais, à unidade de Ponta Ubu, no Espírito Santo, onde é feita a pelotização do concentrado de minério, estocagem e embarque.

A figura 2.4 ilustra uma das estações de bombeamento (EBVI) localizadas no complexo de Germano.



**Figura 2.4: Estação de bombas VI da Samarco.**

Cada mineroduto possui duas estações de bombeamento, uma na unidade de Germano em Mariana – MG (EBI/EB4/EB6) e outra em Matipó – MG (EB2/EB5/EB7), além de duas estações de válvulas, uma em Guaçuí (EV1/EV3/EV5) e outra em Alegre (EV2/ EV4/EV6), no estado de Espírito Santo.

No lado direito da figura 2.4 podemos observar um tanque de homogeneização da polpa de minério. O material contido no interior destes tanques deve estar em constante agitação para que não ocorra a sedimentação do material. Esta agitação é feita por meio de um equipamento denominado agitador, ilustrado na figura 2.5, acionado por motor elétrico. Caso esse motor fique sem alimentação de energia, o agitador irá parar e a polpa de minério sedimentará no interior do tanque causando inúmeros problemas.

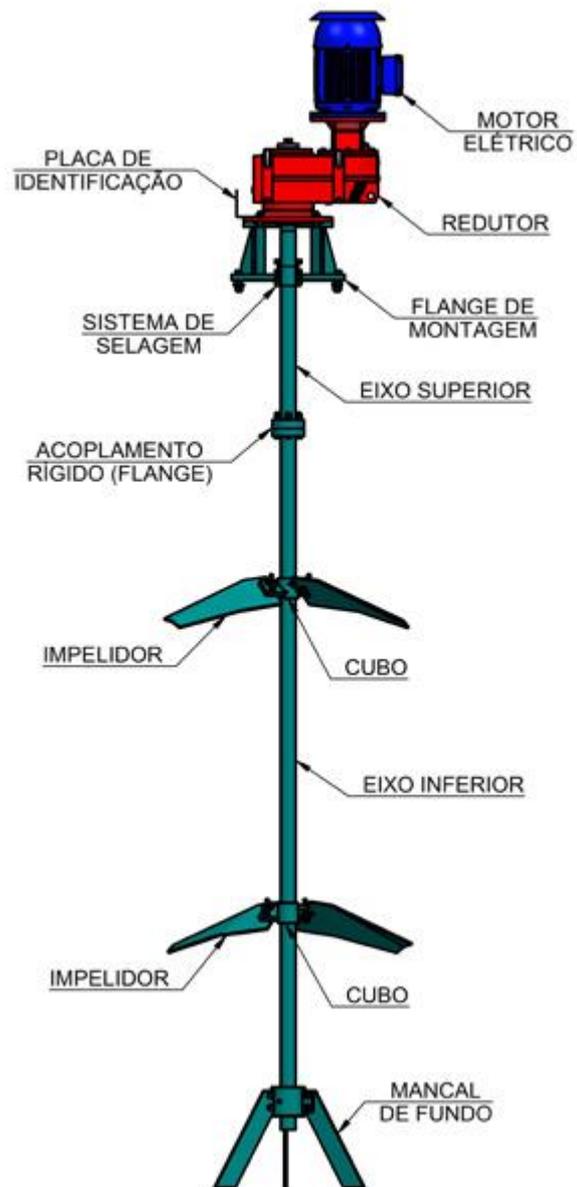


Figura 2.5: Agitador de polpa.

Fonte: SEMCO, 2017

### 3 GERADORES ELÉTRICOS MOVIDOS POR MOTORES A COMBUSTÃO

#### 3.1 Motor a combustão

Um motor é uma máquina capaz de converter algum tipo de energia em energia mecânica. Neste documento vamos citar os motores à combustão que convertem a energia química proveniente de combustíveis como a gasolina, o álcool ou o diesel, em energia mecânica que pode ser usada para acionar outras máquinas.

Pode-se classificar os motores de combustão como sendo do tipo de ciclo Otto, utilizam gasolina, álcool ou gás, e do tipo de ciclo diesel, os que utilizam o óleo diesel. O motor a diesel é o mais utilizado em grupos geradores e seu nome é em função do engenheiro Rudolf Diesel que fez o primeiro teste bem-sucedido com este tipo de motor na Inglaterra em 1897. Podemos defini-lo como um motor de combustão de ignição por compressão, com ciclo de quatro tempos e refrigerado à água. Neste motor, dentro da câmara de ignição, o ar comprimido recebe o combustível sob pressão e esta mistura explode por autoignição (MOURA, 2015).

Segundo Pereira (2015), os motores diesel podem ser classificados em quatro tipos básicos conforme sua aplicação:

- Estacionários: destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;
- Industriais: destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde exijam características especiais do acionador;
- Veiculares: destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral tais como caminhões e ônibus;
- Marítimos: destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval.

Os motores utilizados nos grupos geradores citados neste documento são motores Scania modelo DC16 49A-1028D que fornecem 635 KVA de potência, com injeção eletrônica, 4 tempos, turboalimentado e pós-arrefecido por intercooler. São refrigerados a água, possuem

alternador para carga de bateria, motor de partida e sistema de gerenciamento eletrônico para controle e monitoração (STEMAC, 2017).

A figura 3.1 fornece uma vista em corte de um motor a diesel destacando suas principais partes.

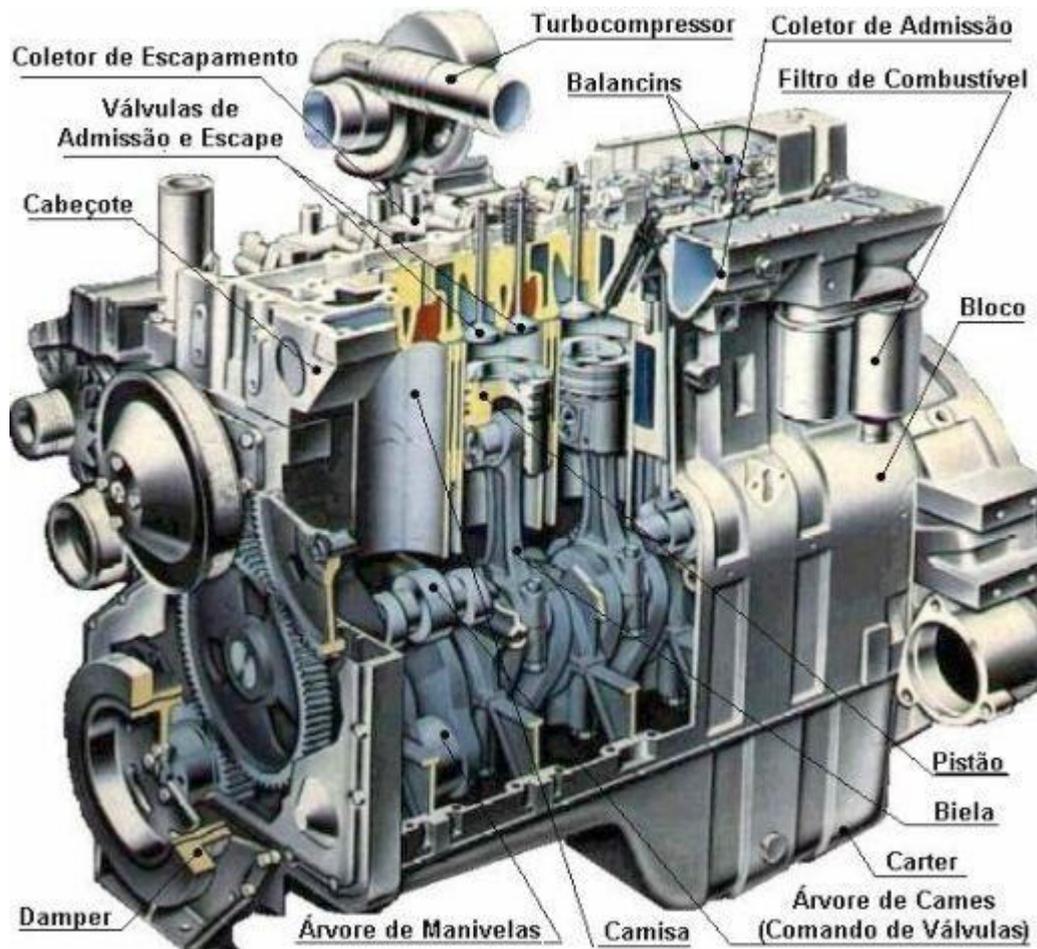


Figura 3.1: Vista em corte do motor diesel

Fonte: PEREIRA, 2015

### 3.2 Geradores

Geradores elétricos são máquinas ou dispositivos capazes de transformar algum tipo de energia em energia elétrica. As pilhas, por exemplo, transformam energia química em energia elétrica através de reações de oxirredução entre dois eletrodos (FOGAÇA, 2017).

O fenômeno onde um campo eletromagnético variável é capaz de produzir uma corrente elétrica induzida em um material condutor é o princípio no qual se baseia o funcionamento do gerador (FERREIRA, 2017).

Neste documento, são citados geradores elétricos de corrente alternada, também conhecidos como alternadores ou geradores síncronos. Esses equipamentos convertem energia mecânica em energia elétrica de corrente alternada com tensão e frequência específicas. São ditas máquinas síncronas pelo fato da frequência elétrica estar sincronizada com a velocidade de rotação do eixo mecânico. A tensão gerada depende da velocidade de rotação do eixo e do fluxo de campo e é dada pela fórmula:

$$E_A = K\Phi\omega$$

Onde  $E_A$  é a tensão gerada,  $K$  é uma constante que representa aspectos construtivos da máquina,  $\Phi$  é o fluxo de campo e  $\omega$  a velocidade de rotação. E a equação que relaciona a frequência com a rotação do eixo é:

$$f_{se} = \frac{n_m p}{120}$$

Onde  $f_{se}$  é a frequência elétrica medida em Hertz,  $n_m$  a velocidade do eixo e  $p$  o número de polos do gerador (CHAPMAN, 2013).

Na figura 3.2 temos o circuito simplificado de um gerador representando a tensão gerada  $E_A$ , as reatâncias  $jX$ , corrente  $I_A$  e tensão de fase  $V_\phi$ .

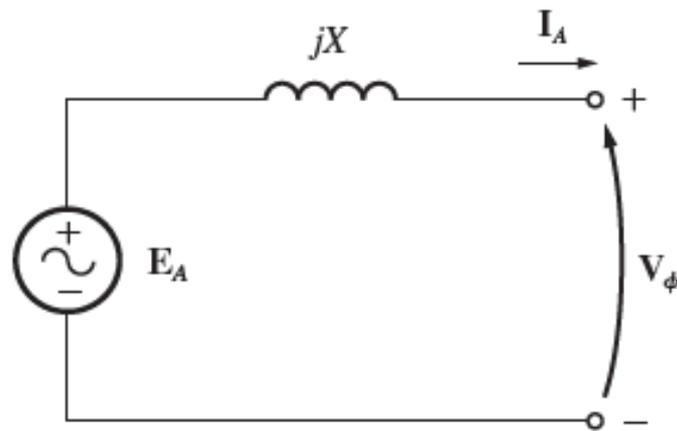


Figura 3.2: Circuito equivalente simplificado do gerador

Fonte: CHAPMAN, 2013

Quando adicionamos carga a um gerador, a tensão gerada pode variar dependendo da natureza desta carga, diminuindo consideravelmente caso seja uma carga indutiva e até aumentando no caso de cargas capacitivas. Como precisamos manter a tensão e frequência na saída do gerador constantes, devemos controlar esta variação. Este controle é feito através de ajustes na corrente de campo e, conseqüentemente, no fluxo de campo. Desta maneira controlamos a tensão gerada  $E_A$  para manter constante a tensão de saída do gerador. O dispositivo utilizado para realizar este controle da tensão de saída é o regulador de tensão (CHAPMAN, 2013).

Os enrolamentos dos geradores são geralmente ligados na configuração estrela conforme representado na figura 3.3.

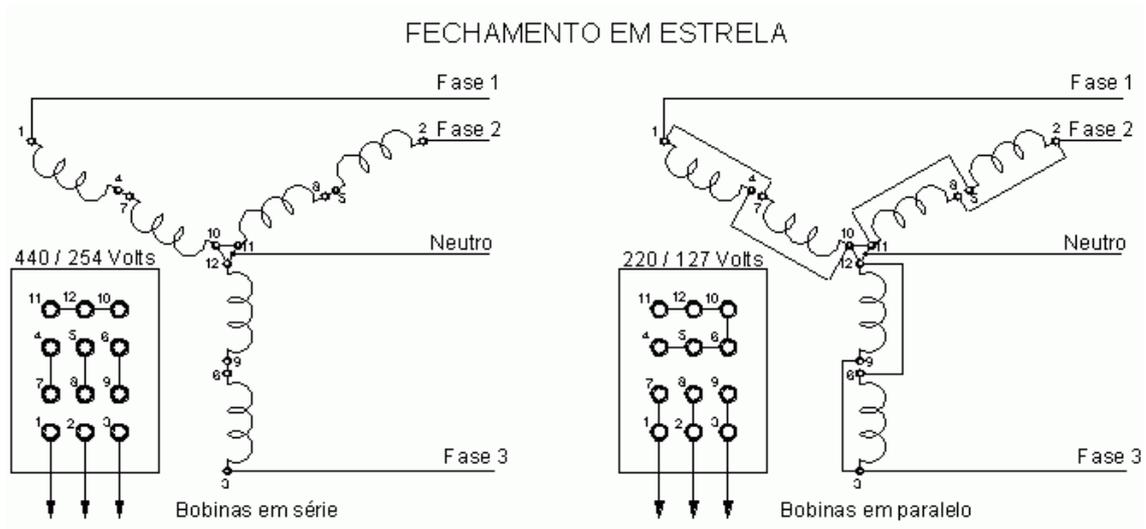


Figura 3.3: Fechamento estrela das bobinas do gerador

Fonte: PEREIRA, 2015

Na maioria das aplicações, mais de um gerador é necessário para suprir as cargas existentes. Neste caso, os geradores são colocados para trabalhar em paralelo como representado na figura 3.4.

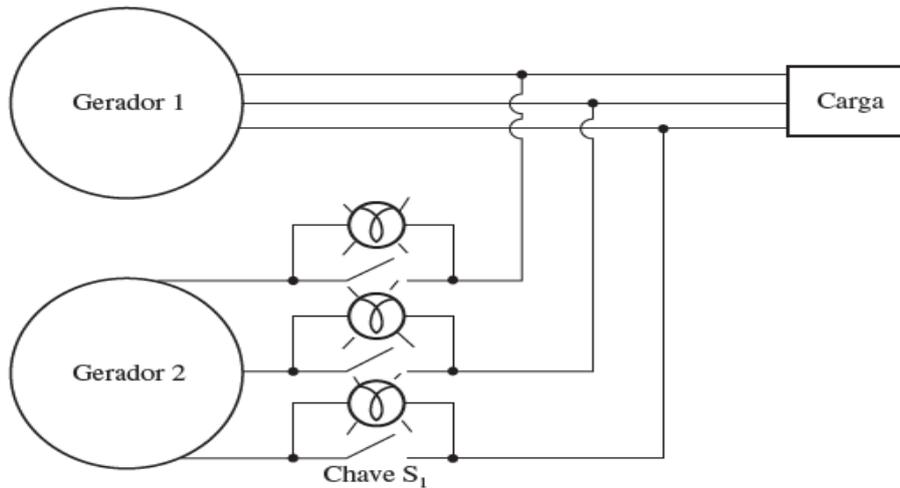


Figura 3.4: Representação da ligação de geradores em paralelo

Fonte: CHAPMAN, 2013

Para que este tipo de operação seja possível é necessário satisfazer algumas condições de paralelismo:

- As tensões de linha dos geradores devem ser iguais;
- As sequências de fase dos geradores também devem ser iguais, assim como os ângulos de fase;
- A frequência do gerador que será colocado em paralelo deve ser ligeiramente maior do que a do sistema que está funcionando;

As duas primeiras condições poderão ser confirmadas quando as lâmpadas incandescentes representadas na figura 4.3 brilharem inicialmente e depois se apagarem de maneira simultânea. A terceira condição pode ser verificada com um frequencímetro (CHAPMAN, 2013).

Este método de checagem de sincronismo utilizando lâmpadas é rudimentar e perigoso porque expõe os profissionais ao risco de choque elétrico e curto-circuito, principalmente quando os níveis de tensão são mais altos. Hoje contamos com sofisticados sistemas eletrônicos de controle capazes de realizar o paralelismo de geradores de modo totalmente automático e seguro.

Os geradores citados neste documento são do modelo GPA 312 EE DI fabricados pela WEG. A figura 3.5 apresenta um gerador destacando seus principais componentes. As características técnicas deste gerador são: tensão de trabalho de 480 Vca, 635 KVA de potência, excitação tipo brushless, 763,8 A de corrente e grau de proteção IP 23 (WEG, 2017).

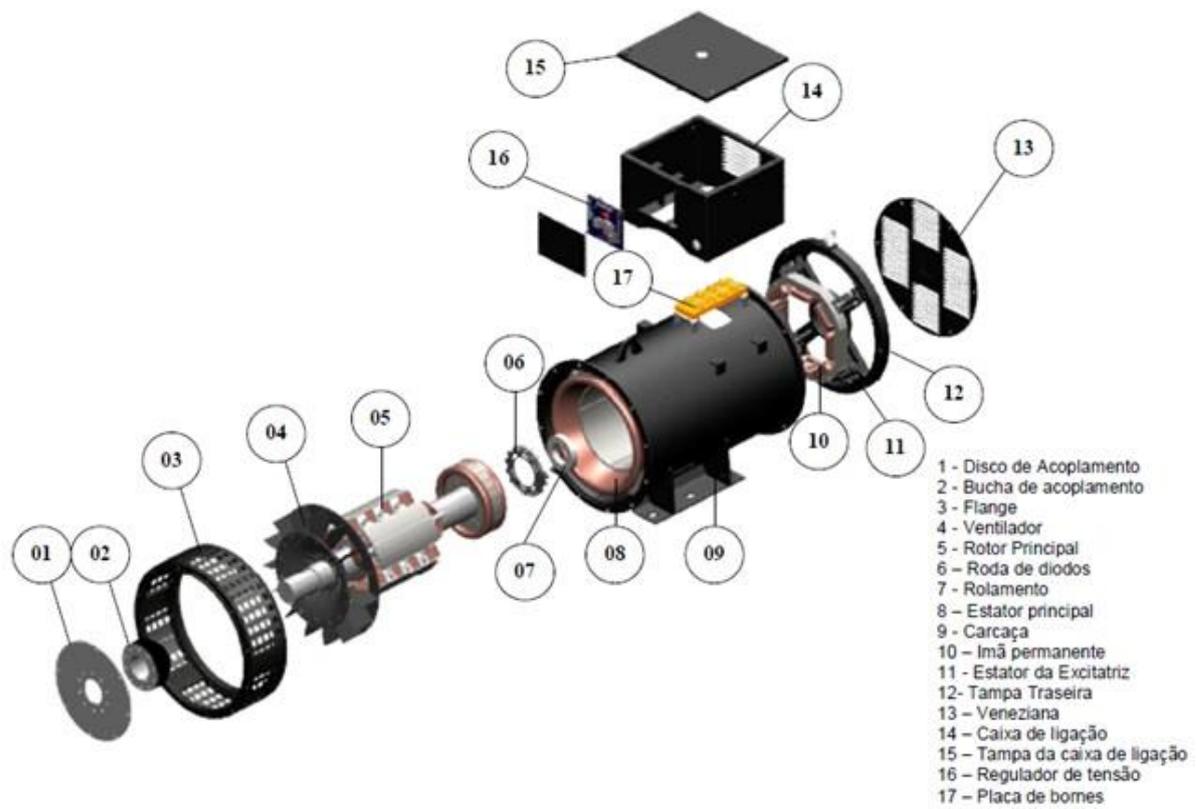


Figura 3.5: Desenho explodido de gerador GPA 312 EE DI

Fonte: WEG, 2017

### 3.3 Sistemas de controle para grupos geradores

Os grupos motores geradores necessitam de um sistema de controle com alguma interface para que possam ser operados. As manobras de acionamento dos grupos geradores e de transferência de carga são complexas e exigem conhecimento técnico. Quando feitas manualmente são muito perigosas e podem causar acidentes com eletricidade.

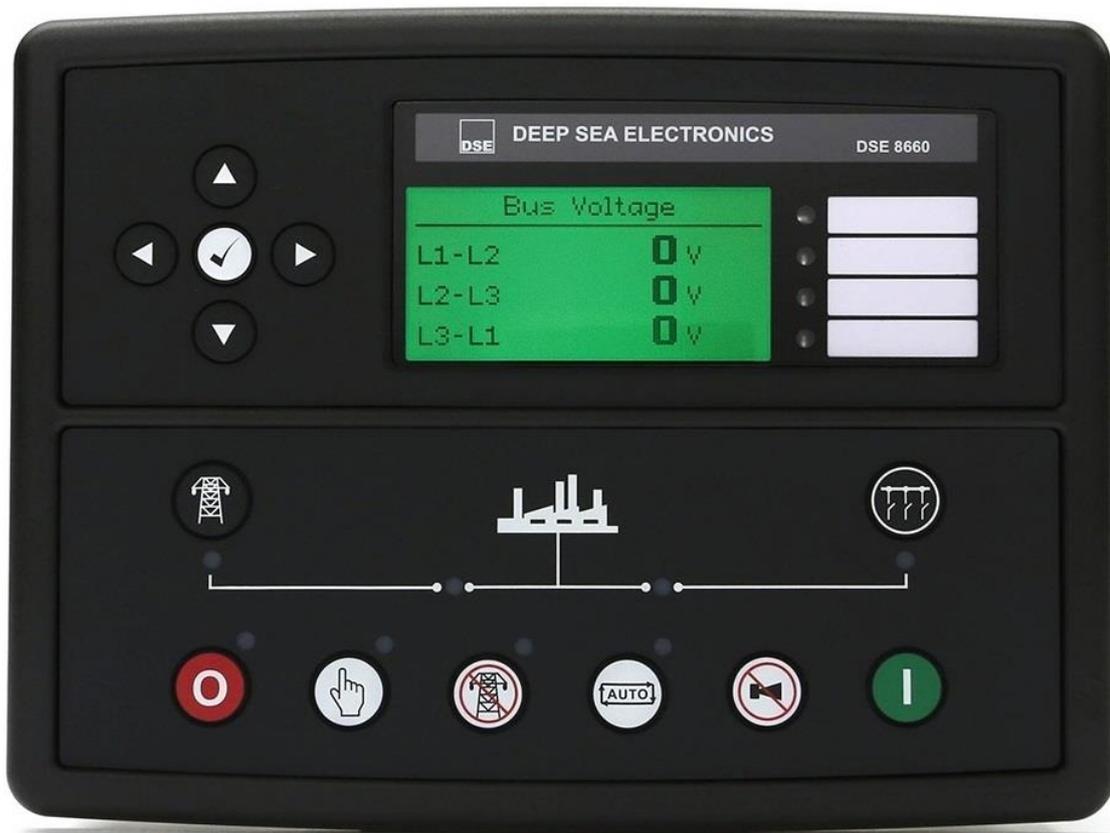
Controladores capazes de realizar automaticamente as manobras de transferência de carga foram desenvolvidos e começaram a entrar no mercado brasileiro a partir da década de 70. Esses controladores alcançaram verdadeira repercussão apenas a partir de 1996 quando empresas de telecomunicações, que eram as que mais utilizavam grupos geradores, começaram a ter interesse no uso dessa tecnologia (PEREIRA, 2015).

Nesse documento são citados os controladores DSE8610 e DSE8660, ilustrados nas figuras 3.6 e 3.7. Esses controladores estão entre os mais modernos disponíveis no mercado. Possuem a capacidade de executar funções complexas como o paralelismo entre grupos geradores e concessionária graças ao seu poderoso microprocessador ARM de alto performance (DEEP SEA ELECTRONICS, 2017).



Figura 3.6: Módulo DSE8610

Fonte: DEEP SEA, 2017



**Figura 3.7: Módulo DSE8660**

**Fonte: DEEP SEA, 2017**

### 3.4 Grupo motor gerador (GMG)

Grupo motor gerador, GMG, consistem em um motor, geralmente a diesel, acoplado mecanicamente a um gerador ou alternador síncrono. Os grupos geradores são aplicados em diversas situações onde a falta ou deficiência da energia fornecida por concessionárias pode causar prejuízos, falta de segurança ou até mesmo a morte de pessoas como no caso de hospitais. Muitas das vezes também são utilizados por razões econômicas, substituindo a energia da concessionária em horários nos quais o valor desta energia é muito alto se comparado ao uso de geradores.

Considerando essas informações, podemos identificar quatro regimes de operação para grupos geradores:

- Regime de emergência – utilizado apenas durante a falta de energia da concessionária, alimentando cargas variáveis e por um período inferior a 300 horas por ano.
- Regime auxiliar – usados por períodos entre 300 e 1000 horas por ano, principalmente em horários em que a energia da concessionária tem custo elevado.
- Regime principal – utilizado por período ilimitado e com cargas variáveis.
- Regime básico – utilizado por período ilimitado, porém com carga constante.

A norma técnica NBR 14664 estabelece algumas condições para o uso de geradores, uma dessas condições é referente a frequência da tensão fornecida que pode ter oscilações de no máximo  $\pm 4,0\%$  sobre valor nominal de 60Hz, mesmo que ocorra desequilíbrio de até 15% de carga entre fases (NBR14664, 2001).

Os grupos geradores podem ser utilizados em três topologias básicas para o fornecimento de energia. A primeira é denominada singela e sem paralelismo; nesta configuração o gerador supre toda a energia demandada pela carga e há apenas um grupo gerador para cada grupo de carga. Já na forma múltiplos grupos sem paralelismo com a rede, há o paralelismo apenas entre os grupos geradores ocorrendo a divisão de carga entre eles. E na forma múltiplos grupos paralelos à rede, ocorre a divisão de cargas entre a rede e os geradores (PRADO, 2006).

Podemos destacar algumas partes importantes de um sistema de grupo geradores como:

- Grupo motor gerador.
- Painel de transferência, onde se encontram os disjuntores que conectam os barramentos dos grupos geradores ao barramento das cargas.
- Sistema de controle, responsável pelo acionamento e monitoramento dos grupos geradores, assim como realizar o paralelismo entre eles e também com a rede da concessionária caso necessário. O sistema de controle também realiza as manobras de transferência de carga.

Na figura 3.8 podemos verificar um típico grupo gerador e seus componentes.

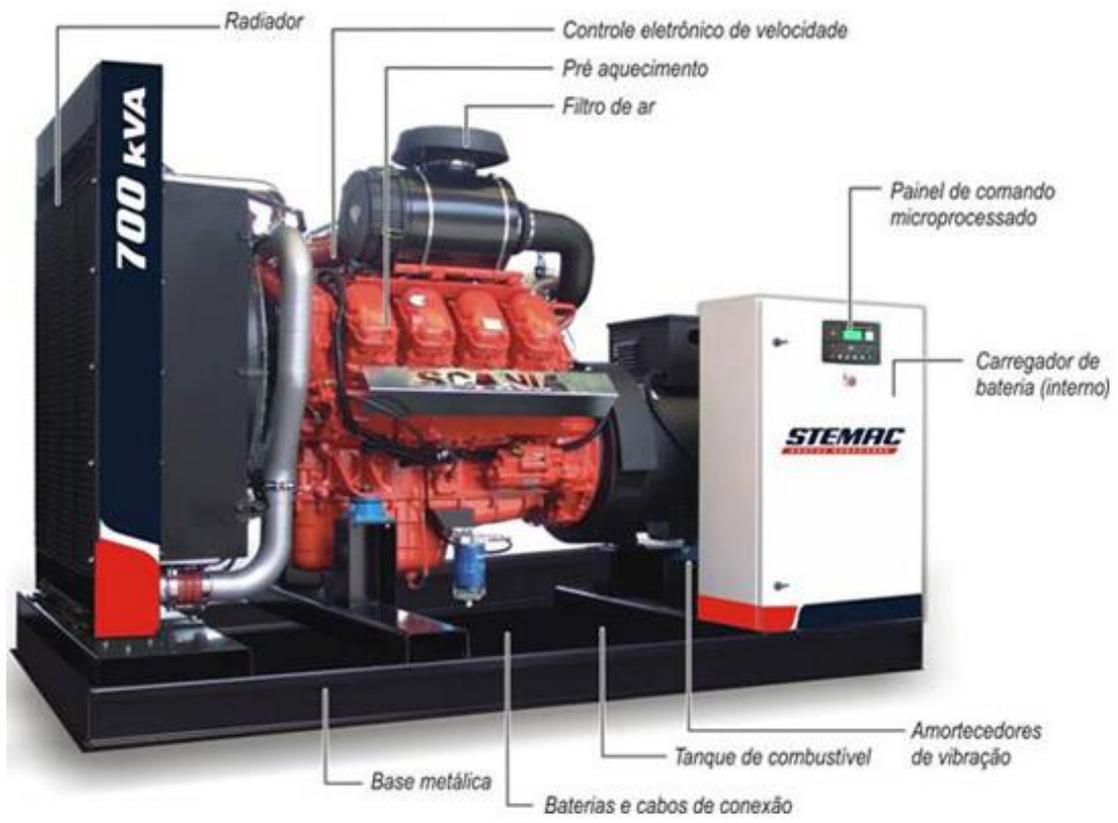


Figura 3.8: Grupo gerador diesel STEMAC

Fonte: STEMAC, 2015

## 4 DISJUNTORES

Segundo Mamede Filho (2015), disjuntores são dispositivos destinados à proteção de circuitos elétricos, os quais devem atuar quando percorridos por uma corrente de valor superior ao estabelecido para o funcionamento normal do circuito.

De acordo com sua forma construtiva, os disjuntores podem acumular várias funções:

- Proteção contra sobrecarga;
- Proteção contra curto-circuito;
- Comando funcional;
- Seccionamento;
- Seccionamento de emergência;
- Proteção contra contatos indiretos;
- Proteção contra queda e ausência de tensão.

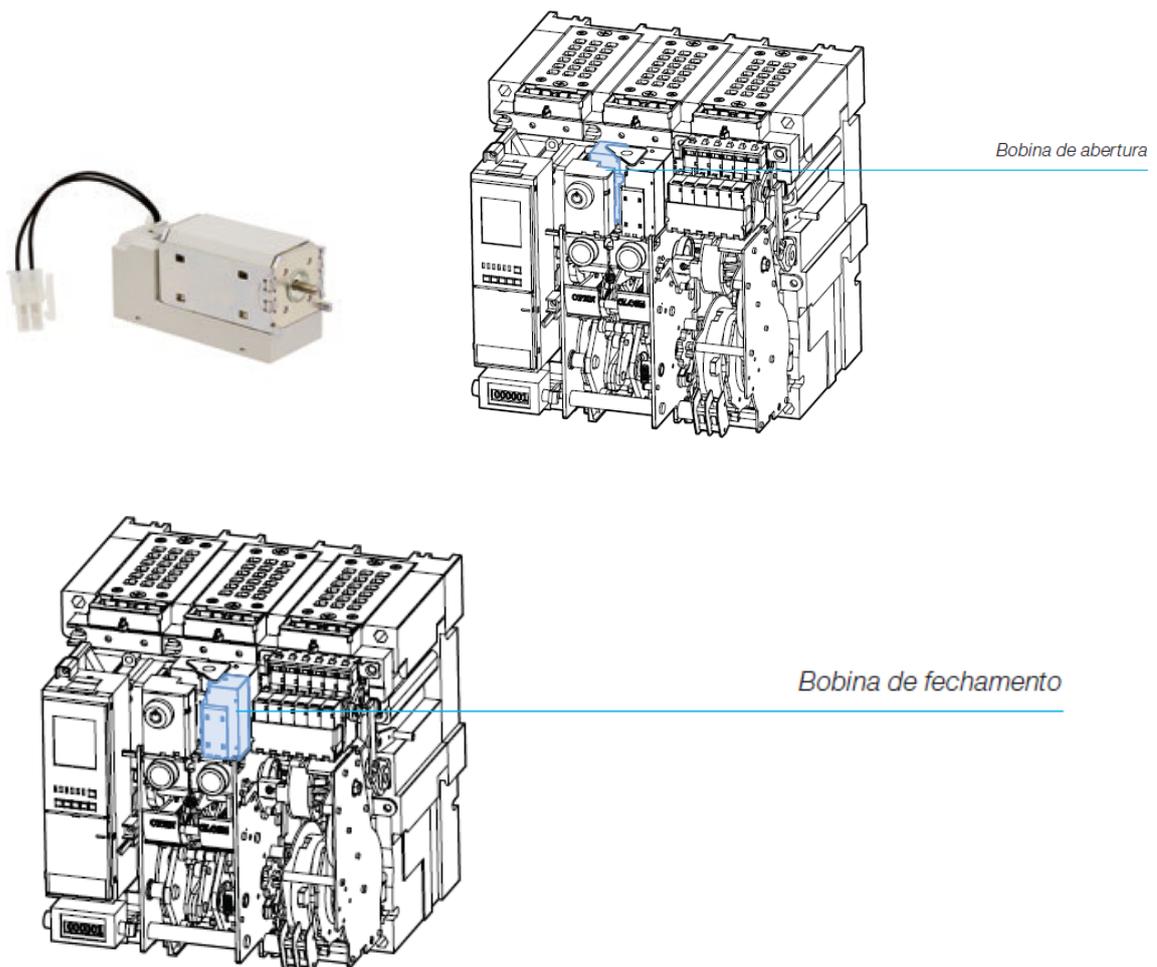
Neste projeto, a função do disjuntor que se destaca é a de seccionamento que permite a realização das manobras de transferência de carga. O disjuntor utilizado no centro de controle de motores (CCM) da estação de bombas VI é o modelo ABW08 da WEG, ilustrado na figura 4.1.



Figura 4.1: Disjuntor aberto ABW08

Fonte: WEG, 2017

Os disjuntores possuem acionamentos manuais (botões) para manobras locais, mas também podem ser acionados remotamente através de bobinas. Essas bobinas recebem um pulso elétrico para gerar um campo magnético e acionar um sistema de alavanca para disparar o mecanismo de abertura e fechamento do disjuntor. Na figura 4.2 pode-se observar uma bobina e seu local de instalação no interior do disjuntor.



**Figura 4.2: Disjuntor aberto ABW08 e bobinas**

Fonte: WEG, 2017

## 5 AUTOMATIZAÇÃO DOS GRUPOS GERADORES DA ESTAÇÃO DE BOMBAS VI DA SAMARCO

O sistema de transferência de cargas, ilustrado na figura 5.1, é composto por um painel de transferência com três disjuntores que conectam os grupos geradores a um barramento comum. O sistema também possui três controladores DSE8610 que tem a função de gerenciar os motores analisando variáveis como pressão de óleo, temperatura, nível de combustível, rotação, além da função de ligá-los/desligá-los e conectá-los ao barramento comum realizando o sincronismo entre eles.

Esses controladores também realizam o paralelismo entre barramento e gerador antes de conectá-lo. No painel de transferência também está instalado um controlador DSE8660 que monitora a tensão da concessionária e solicita aos controladores DSE8610 o acionamento dos geradores quando necessário. O DSE8660 monitora o barramento comum e realiza os comandos de abertura e fechamento dos disjuntores DJ01 e DJ02 instalados no centro de controle de motores, CCM. Esses disjuntores conectam/desconectam a tensão da concessionária e o barramento comum do painel de transferência ao barramento do CCM.

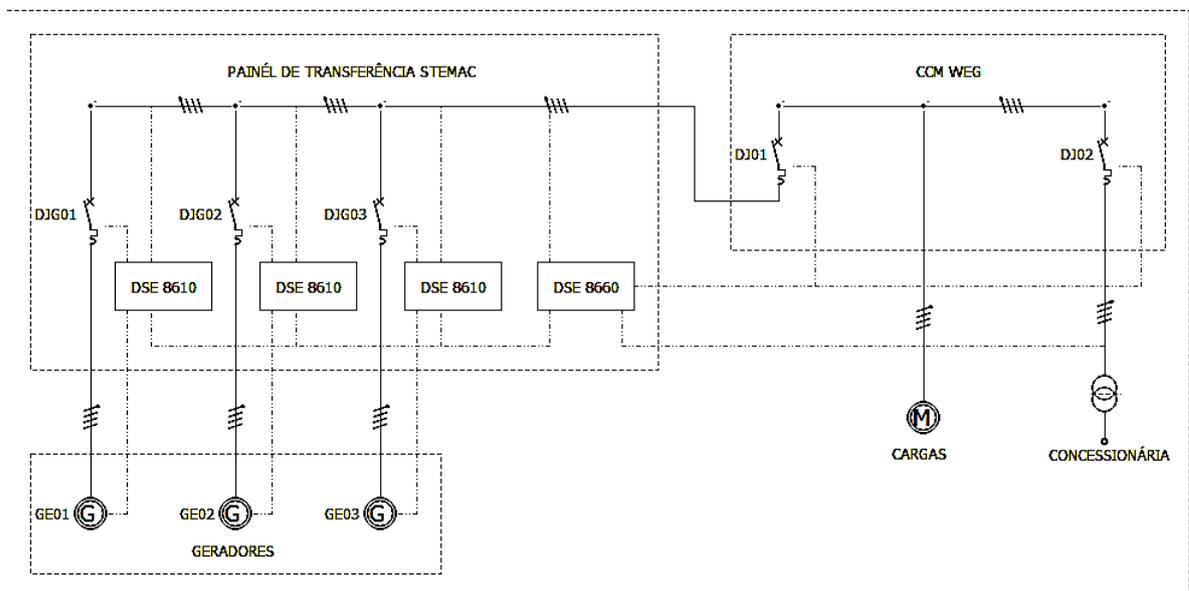


Figura 5.1: sistema de transferência de cargas

Após algumas pesquisas para reunir informações sobre os controladores DSE8660 e DSE8610, foi realizado um cadastro no site da empresa Deep Sea Eletrctronics. Nesse site é disponibilizado para download todo o material técnico referente aos controladores e também o software para configuração desses equipamentos. Através desse material foi possível identificar como foram feitas as ligações dos controladores e entender detalhes das parametrizações. Os desenhos elétricos existentes apresentavam apenas esquemas básicos de algumas ligações e estavam incoerentes com o real.

O projeto inicial não contemplava que os disjuntores do sistema de transferência de carga possuíam bobinas de abertura e de fechamento individuais, considerava apenas uma bobina para os dois acionamentos (abertura e fechamento). Essa característica dos disjuntores exigiu o uso de mais saídas digitais do controlador.

Além disso, foi identificado também que as ligações entre as saídas e entradas digitais dos controladores e os disjuntores não foram concluídas. Sem essas ligações feitas corretamente não era possível o acionamento dos disjuntores através dos controladores, impossibilitando o funcionamento automático do sistema. Todas as manobras de abertura e fechamento só poderiam ser feitas diretamente nos disjuntores através de acionamentos manuais.

Para possibilitar o acionamento automático dos disjuntores DJ01 e DJ02 que interligam a energia da concessionária e o barramento comum do painel de transferência ao barramento do CCM, foram necessárias quatro saídas digitais (saídas 'D', 'E', 'F' e 'G' do módulo DSE8660) para os comandos de abertura e fechamento dos disjuntores. Foi realizada a ligação elétrica entre essas saídas e as bobinas dos disjuntores, de modo que a saídas 'D' (comando de fechamento) e 'G' (comando de abertura) acionassem o disjuntor DJ01 e as saídas 'E' (comando de fechamento) e 'F' (comando de abertura) acionassem o disjuntor DJ02. As entradas digitais 'A' e 'B' do módulo foram conectadas aos contatos auxiliares (normalmente abertos) dos disjuntores DJ01 e DJ02, respectivamente, para identificar o estado aberto ou fechado de cada disjuntor.

Toda a parametrização realizada no controlador DSE8660 foi feita por meio do software DSE Configuration Suite PC.

O controlador DSE8660 possui onze entradas e oito saídas digitais sendo que duas saídas são a relé e seis são conectadas ao neutro internamente, todas totalmente configuráveis. Na

figura 5.2 e 5.3 podem ser identificadas as conexões do módulo DSE8660. Além das saídas e entradas digitais, ele possui terminais para a leitura da amostra de tensão do barramento comum do painel de transferência e da tensão da concessionária, entre outros terminais.



Figura 5.2: Terminais do controlador DSE8660

ÍCONE	PINO	DESCRIÇÃO	ÍCONE	PINO	DESCRIÇÃO
	1	Entrada de Alimentação CC Planta (Negativo)		39	Relé da Saída C
	2	Entrada de Alimentação CC da Planta (Positivo)		40	Relé da Saída C
		Não conectado		41	Relé da Saída D
		Não conectado		42	Relé da Saída D
		Não conectado		43	Monitoração da tensão na fase L1 (U) do gerador
		Não conectado		44	Monitoração da tensão na fase L2 (V) do gerador
	7	Terra funcional		45	Monitoração da tensão na fase L3 (W) do gerador
		Não conectado		46	Entrada Neutra (N) do Gerador
	8	Relé da Saída E			
	9	Relé da Saída F			
	10	Relé da Saída G			
	11	Relé da Saída H			
	12	Relé da Saída I			
	13	Relé da Saída J			

Figura 5.3: Descrição dos terminais de saída do módulo DSE8660

Fonte: DEEP SEA, 2017

Na figura 5.4 estão listadas as entradas digitais do controlador DSE8660.

ÍCONE	PINO	DESCRIÇÃO
	60	Entrada digital configurável A
	61	Entrada digital configurável B
	62	Entrada digital configurável C
	63	Entrada digital configurável D
	64	Entrada digital configurável E
	65	Entrada digital configurável F
	66	Entrada digital configurável G
	67	Entrada digital configurável H
	68	Entrada digital configurável I
	69	Entrada digital configurável J
	70	Entrada digital configurável K

Figura 5.4: Descrição dos terminais de entradas digitais do módulo DSE8660

Fonte: DEEP SEA, 2017

Para que a transferência e carga entre os grupos geradores e a concessionária ocorra corretamente sem o risco de curto-circuito, ou seja, de maneira que impossibilite as duas fontes de energia estarem conectadas simultaneamente ao mesmo barramento sem o devido paralelismo, a seguinte sequência de comandos deve ser executada quando uma falha na alimentação da concessionária for detectada pelo controlador DSE8660:

- Ligar geradores - (DSE810).
- Verificar paralelismo entre geradores e barramento do painel de transferência - (DSE8610).
- Conectar geradores ao barramento do painel de transferência - (DSE8610).
- Abrir disjuntor que alimenta o barramento do CCM com energia da concessionária - (DSE8660).
- Fechar disjuntor que conecta o barramento do painel de transferência ao barramento do CCM - (DSE8660).

Quando o controlador DSE8660 detectar a normalização da alimentação da concessionária, a seguinte sequência de comandos deve ser executada:

- Abrir disjuntor que conecta o barramento do painel de transferência ao barramento do CCM - (DSE8660).
- Fechar disjuntor que alimenta o barramento do CCM com energia da concessionária - (DSE8660).
- Desconectar geradores do barramento do painel de transferência - (DSE8610).
- Desligar geradores - (DSE8610).

Entre o instante em que o controlador DSE8660 detecta uma falha na rede e inicia a sequência de manobras deve existir um atraso de tempo para evitar que, caso a falha seja instantânea, os geradores sejam acionados e as manobras de transferência sejam realizadas desnecessariamente. Baseando-se em situações anteriores, esse atraso foi estipulado em três minutos. O mesmo é válido para o retorno da alimentação da concessionária.

Nesse projeto não foi necessário o paralelismo entre a alimentação dos geradores e a alimentação da concessionária. Este recurso é útil em casos onde uma segunda desenergização da carga deve ser evitada no momento de reconectar a alimentação da concessionária ao barramento. Nesta configuração, ainda com o barramento do painel de transferência energizado e conectado ao CCM, o controlador DSE8660 verifica o paralelismo entre a tensão

do barramento do CCM e a concessionária. Ao ser atingido o paralelismo, a alimentação da concessionária também é conectada ao CCM e em seguida o barramento do painel de transferência é desconectado. Essa operação é complexa e arriscada e deve ser evitada se não for imprescindível.

### 5.1 Resultados

Após conclusão das ligações entre o controlador DSE8660 e os disjuntores do CCM e alterações na parametrização dos controladores, foram realizadas simulações de falha na alimentação da concessionária para verificar o comportamento do sistema em modo automático. Durante a simulação o controlador DSE8660 respondeu conforme esperado, identificou a ausência da tensão da concessionária e enviou o comando aos controladores DSE8610 para que acionassem os grupos geradores. Após energização do barramento comum do painel de transferência, o controlador DSE8660 acionou a bobina de abertura do disjuntor DJ02 e a bobina de fechamento do disjuntor DJ01 realizando a transferência de carga da concessionária para os grupos geradores.

O sistema operou normalmente e após a religação da alimentação da concessionária, o controlador DSE8660 identificou o retorno da alimentação e comutou os disjuntores DJ01 e DJ02, realizando a transferência de carga dos grupos geradores para a concessionária. Após a transferência, os grupos geradores desligaram automaticamente. O tempo total entre a detecção da falha e a alimentação das cargas com os GMG's foi de aproximadamente cinco minutos.

A figura 5.5 mostra o módulo DSE8660 em funcionamento. Os leds verdes indicam que a energia da concessionária está normal e alimentando a carga através do disjuntor DJ01 que está fechado. O led vermelho indica que o controlador está operando em modo automático.



Figura 5.5: Módulo de controle DSE8660 em funcionamento

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a execução deste projeto, pôde-se observar que os avanços tecnológicos trazem inúmeros benefícios para os processos industriais gerando economia, robustez, eficiência e segurança. A automação de processos ou partes desses é cada vez mais fácil de ser implantada. No caso dos grupos geradores, os controladores dedicados a esses equipamentos estão cada vez mais completos e ao mesmo tempo simples de serem instalados e configurados, de modo a atender a todos os sistemas que utilizam grupos geradores.

As manobras de transferência de carga realizadas nesses sistemas exigem certo conhecimento técnico e possuem um alto risco de acidente com eletricidade devido aos níveis de potência em que esses equipamentos operam. Uma manobra feita incorretamente pode ocasionar um curto-circuito ou uma explosão em algum componente caso os sistemas de proteção falhem. O funcionamento dos geradores da estação de bombas VI da Samarco em modo automático torna desnecessária a supervisão humana. Por consequência, a exposição aos riscos inerentes às manobras com equipamentos elétricos energizados é diminuída consideravelmente.

O sistema automatizado, além dos benefícios já citados, proporciona maior segurança para o processo, pois independente da hora em que uma falha ocorrer na alimentação da concessionária, o sistema responderá à falha sem a necessidade de acionar um técnico, agilizando o processo de transferência de carga e evitando que os equipamentos fiquem sem alimentação elétrica por tempo indeterminado.

Os controladores da Deep Sea possuem funções e recursos que lhes permitem trabalhar integrados em uma rede; dessa maneira é possível criar um sistema remoto de supervisão dos controladores e de todo o sistema dos grupos geradores. Tais características são válidas para projetos futuros sobre o tema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14664**: Grupos geradores - Requisitos gerais para telecomunicações. Rio de Janeiro, 2001.
- CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013. 684 p.
- DEEP SEA ELECTRONICS. Módulo de controle DSE8610, 2017. Disponível em: <<https://www.deepseapl.com/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- DEEP SEA ELECTRONICS. Módulo de controle DSE8660, 2017. Disponível em: <<https://www.deepseapl.com/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- FERREIRA, N. A. A Descoberta da Indução Eletromagnética. **Brasil Escola**, 2017. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-descoberta-inducao-eletromagnetica.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- FOGAÇA, J. Pilhas. **Brasil Escola**, 2017. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/pilhas.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 666 p.
- MOURA, I. A. **Sistema de supervisão de grupo moto gerador**. 2015. 71 p. Monografia (Trabalho de Final de Curso em Tecnologia em Automação Industrial) - Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- PEREIRA, J. C. **Motores e Geradores - Princípio de funcionamento, instalação e manutenção de grupos diesel geradores**, 2017. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/PDF/diesel1.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2017.
- PRADO, A. M. **Sistema elétrico automatizado objetivando otimização na alimentação de centro de consumo**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétricas) - Departamento de Energia e Automação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SAMARCO MINERAÇÃO. **Relatório anual de sustentabilidade 2013**. Samarco Mineração, Mariana: 2013. Disponível em: <<http://www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/08/2013-Relatorio-Anual-de-Sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

SEMCO TECNOLOGIA EM PROCESSOS. Agitador, 2017. Disponível em: <<http://www.semcoequipamentos.com.br/produtos/agitador.html>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

SILVEIRA, E. Pelotas para exportação. **Pesquisa**, São Paulo, jun. 2014. Seção Inovação. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/06/16/pelotas-para-exportacao/>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

STEMAC. Grupo gerador diesel, 2017. Disponível em: <<http://www.stemac.com.br/pt/produtos/Documents/Lamina-Comercial-Diesel-50Hz-pt-Scania.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

STEMAC. O que são grupos geradores?, 2017. Disponível em: <<http://www.blogstemac.com.br/artigos-tecnicos/o-que-sao-grupos-geradores/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

WEG. Disjuntor aberto ABW, 2017. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-disjuntor-aberto-abw-50011456-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

WEG. DT5 - Características e especificações de geradores, 2017. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-5-caracteristicas-e-especificacoes-de-geradores-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.