

Elektrotechnik Electrical Engineering

Autor / Author:
Dipl. El. Ing. G. Lempa

Dienstleistungskatalog und Referenzen Engineering Services and References



1. Systemauslegung

1.1 Einpoliges Übersichtsschema

Entwicklung eines elektrischen Systems basierend auf:

- Redundanzanforderungen
- Physikalische Anordnung der Anlage
- Motorleistungen und Spannungsebenen
- Verbraucherleistungen

Das elektrische Übersichtsschema zeigt die gesamte elektrische Anlage mit Netzeinspeisung, Generatoren, Transformatoren, Schaltanlagen, Spannungsebenen, Nullpunkt- und Erdungsausführung, Kabel- oder Schienenverbindungen sowie die Hauptdaten der elektrischen Komponenten.

1.2 Elektrische Systemanforderungen

1.2.1 Unterspannung / Unterfrequenz Strategie

Die Unterspannung / Unterfrequenz Strategien definieren die Abschaltungen und Staffelungen von Generatoren, Netzeinspeisungen, Schieneninspeisungen und Motoren im Falle von internen oder externen Störungen, um einen totalen Netzausfall in der Anlage zu vermeiden.

1.2.2 Wiedereinschaltkonzepte für Motoren

Beim Ausfall von ganzen Schienen oder Schienensegmenten werden alle Motoren vom Netz getrennt. Nach Wiederkehr der Spannung sollen die Motoren einzeln oder in Gruppen wieder eingeschaltet werden.

1.2.3 Elektrisches Betriebskonzept

Das Konzept beschreibt die 3 grundsätzlichen Betriebsfälle:

1. Normaler Betrieb

Hier werden die normalen Betriebsfälle beschrieben, für die die Anlagen ausgelegt sind.

In diesen Fällen wird das elektrische System hauptsächlich automatisch betrieben und das manuelle Eingreifen ist kaum notwendig.

2. Spezielle Betriebsfälle

Dieser Bereich deckt die Fälle ab, in denen von einem Betriebsfall zu einem anderen gewechselt wird und das manuelle oder halb-automatische Eingreifen des Betriebspersonals erforderlich ist.

3. Störungsbedingte Betriebsfälle

Unter diese Kategorie fallen alle Betriebsfälle, die die Beseitigung von Störungen oder die Wiederherstellung auf normalen Betrieb nach Störungen beschreiben.

Im Betriebskonzept werden diese drei Betriebsarten definiert und beschrieben.

1. System Design

1.1 Overall One Line Diagram

Development of the electrical system based on:

- Redundancy requirements
- Plant arrangement (physical requirements)
- Motor sizes and voltage levels
- Load requirements

The plant electrical system will be presented in an overall one line diagram, presenting the power supply, transformer arrangement, switchgear arrangement, voltage levels, earthing requirements, connection requirements (cables, busbars), transformer and switchgear ratings.

1.2 Electrical Plant Philosophies

1.2.1 Under-voltage/ -frequency Strategy

The undervoltage / underfrequency strategy defines the trip functionality of generators, incomers, motors and other feeders in case of undervoltage or underfrequency situations in the plant based on external or internal faults in order to prevent a total plant blackout.

1.2.2 Reaccelerating philosophy

Loss of parts of the plant (switchgears, bus sections) result in a trip of all motors connected. When power is restored the reaccelerating philosophy defines the grouping of motors to be restarted automatically.

1.2.3 Electrical system operation concept

The concept describes the relevant operating modes divided into 3 main categories:

1. Normal operating modes

This reflects the different operating conditions according to the process modes for the facility. These modes do not require a large amount of intervention from an operation point of view. The control functions for these modes are mainly automatic.

2. Special operating modes

This reflects operating modes or transitions between operating modes where more manual or semi automatic controls are carried out and thus also more applicable to the electric operation procedure system.

3. Failure related modes

This category covers operating conditions where mitigation of or restoring from failure modes require a number of manual or semi automatic operations. These operating modes are relevant to the electric operation procedure system.

1.3 Elektrisches Betriebshandbuch

Am Ende eines Projektes ist es unumgänglich ein elektrisches Betriebshandbuch zu erstellen.

Dieses Handbuch enthält:

- Eine Einführung des Dokumentes mit Informationen wie das Dokument aufgebaut ist
- Systembeschreibungen inklusive der zugehörigen Automatisierung, sowie Referenzen zu der relevanten Produktdokumentation:
 - Hauptenergieversorgung, normale, unterstützende oder Notversorgungssysteme
 - Übersicht der Schaltanlagen jeder Spannungsebene
 - Verkabelungssystem inklusive Spezialfälle wie Seekabel
 - Leistungstransformatoren
 - USV Systeme
 - Drehzahlgeregelte Antriebssysteme
- Eine Anleitung über den Betrieb der Hauptsysteme
- Ein Kapitel zur Fehlerbehebung
- Hilfefkapitel und Kontakte
- Einstellungs Anweisungen
- Allgemeine Betriebsanweisungen
 - Einschalten von Schaltanlagen
 - Umschaltungen zwischen Einspeisungen
 - DG Test und Umschalhandlungen
 - PMS (Power Management System) Betrieb
- Informationen über Normen und Vorschriften, die anzuwenden sind
- Anweisungen für spezielle Betriebshandlungen
 - Einschaltungen von Auto-Transformatoren
 - Einschalten von Kabeln
 - Einschalten von Systemen
 - Belastung von Transformatoren
 - Einschalten von Generatoren und Umschaltung der Spannungsversorgung
 - Wiederherstellung der Spannungsversorgung nach Lastabwurf
 - Start der Hauptgeneratoren nach totalem Spannungsausfall
 - Geplante Abschaltung der Anlage

1.3 Electrical System Operation Manual

At the end of the design phase of a plant project it is mandatory to provide an overall electrical system operation manual.

The operation manual will include:

- A preface, containing details of related documents and information on how to navigate the user guide, revision history
- System descriptions including associated control systems and references to product operating instructions for:
 - Power Station, normal, back up and emergency generator systems
 - Switchgears on each voltage level
 - Power cable systems, including sea cables
 - Power Transformers
 - UPS systems
 - Variable Speed Drive Systems
- A guide on how to use at least the main functions of the system
- A troubleshooting section
- Where to find further help, and contact details
- Setup instructions
- Normal usage instructions
 - Energising switchboards
 - Switch over from two incomers to one incomer
 - DG test and switching procedures
 - PMS operations
- Regulatory code compliance information
- Procedures for special operations
 - Energising auto transformers
 - Energising cables
 - Energising of the system
 - Loading of transformers
 - Energising generators and change-over the power supply
 - Restoring from Loss of large loads
 - Restart of the main power system after blackout
 - Planned Shut Down related procedures

2. Systemstudien

2.1 Lastflussanalyse

Die elektrische Lastflussanalyse wird über die gesamte Anlage berechnet und wie folgt dokumentiert:

- Kapazität und aktuelle Belastung von Leistungsversorgung, Mittel- und Niederspannungssystem, Leistungskabeln, Schaltanlagen, Schaltern und Transformatoren.
- Spannungsschwankungen (maximale und minimale Spannung) basierend auf den aktuellen Transformatoren-Übersetzungsverhältnissen sowie der empfohlenen Stufenschalter-Einstellungen.

2.2 Kurzschlussberechnung

Die elektrische Kurzschlussberechnung wird ausgeführt, um die maximalen und minimalen Kurzschlussströme in der Anlage zu bestimmen.

Die Berechnungen werden nach IEC 60909 ausgeführt.

2.3 Harmonische Analysen

Die Hauptaufgaben der harmonischen Analyse sind:

1. Bestimmung der gesamten harmonischen Störung (THD = Total Harmonic Distortion) an allen Hauptsammelschienen in Abhängigkeit verschiedener Betriebsbedingungen und Überprüfung der Ergebnisse mit den zulässigen Werten die in IEC 61000-2-4 definiert sind.
2. Berechnung der individuellen harmonischen Störung und Überprüfung der Ergebnisse mit den zulässigen Werten, die in IEC 61000-2-4 definiert sind.
3. Untersuchungen und Bestimmung von harmonischen Filtern, die im Bedarfsfall eingesetzt werden sollen.

2.4 Elektrische Schutzkoordination

Die Aufgabe dieses Dokumentes besteht darin, den gesamten elektrischen Anlagenschutz zu bestimmen und untereinander zu koordinieren. Es enthält Einstellungstabellen für jede Schutzfunktion und Empfehlungen für die Optimierung der Selektivität und der Koordination innerhalb des elektrischen Hauptsystems. Die grössten elektrischen Verbraucher einer jeden Schiene werden berücksichtigt und mit den Einspeiseschaltern koordiniert. In dem Dokument werden folgende Einrichtungen abgedeckt:

- Hauptgeneratoren
- Mittelspannungsmotoren
- Transformatoren (MS/NS)
- NS Not- und Hilfsgeneratoren
- Grösster Verbraucher auf jeder NS Schiene

2. System Studies

2.1 Load Flow Analysis

Electrical Load Flow Analysis for the entire system is carried out. The following will be documented:

- Capacity and loading of normal generation systems, medium and low voltage distribution system cables, switchboards, circuit breakers and transformers
- Prospective voltage variations (maximum and minimum voltages) with as-built transformer winding ratios and proposed tap settings

2.2 Short Circuit Analysis

Electrical Short Circuit Analysis is carried out. Maximum and minimum fault levels will be calculated for the entire system.

The shortcircuit calculations are carried out according to IEC 60909.

2.3 Harmonic Analysis

The main objectives of the harmonic system analysis are:

1. Calculation of the total harmonic distortion (THD) at all main buses in dependence of different operational modes and verify against harmonic acceptance limits as defined in IEC 61000-2-4.
2. Calculation of individual harmonic distortion (per harmonic) and verification against harmonic acceptance limits as defined in IEC 61000-2-4.
3. Investigation of the functionality of filters to be implemented into the system if necessary.

2.4 Protective Relay Coordination Study

The objective of this document is to describe the entire power distribution system of the installations. This document includes the setting tables and protection principles for the different protection functions in use and recommendations to improve the selectivity and coordination for the main power system, limited to include only largest consumer on each LV main switchboard. The following main equipment is covered in this document:

- Main generators
- MV motors
- Transformers from MV to LV
- LV emergency and Auxiliary generators
- Largest consumer on each main LV switchboard according to Main single line

2.5 Transiente Stabilitätsanalyse / Dynamische Studien

Ermittlung des dynamischen Verhaltens während Normalbetrieb (z.B. Motoranlauf) aber auch bei Störfällen wie Kurzschluss oder Lastabwurf.

Ein repräsentatives Modell des Netzes und der elektrischen Geräte einschließlich Generatoren, Turbinen, Drehzahlregler, Spannungsregler und Motoren wird für diese Analyse aufgebaut.

Die Analyse beinhaltet folgende typische Fälle:

- Motoranlauf für den grössten Motor an jeder MS Schaltanlage
- Verlust eines Generators mit anschliessendem Lastabwurf
- Ausfall eines Kabels
- Lastabwurf-Fälle
- Kurzschluss im Hochspannungs-System

2.6 Machbarkeitsstudien

Jegliche Art von Studien für neue Anlagen oder Anlagen im Ausbau in Bezug auf Spannungsversorgungen, Filterauslegungen, Gerätegrössen und Anforderungen.

2.7 Software

Unsere bevorzugte Software für die elektrischen Analysen ist DigSilent (Lizenz im Hause).

Andere Software Optionen (nach Absprache) sind:

- ETAP
- PA (Power Analytics ehemals EDSA)
- Neplan
- Calckus für kleinere Projekte (Lizenz im Hause)

2.5 Transient stability analysis / Dynamic Study

Documentation of dynamic behaviour during normal operation modes such as motor starting, and failure modes such as short circuit including also load shedding.

A model representation of network and electrical equipment including generators, speed governors, turbines, AVRs, and motors is built up for this study.

The analysis comprises the following typical disturbances:

- Motor start calculations for largest motors on each MV level
- Loss of generation case, with subsequent electrical fast load shedding
- Loss of cables
- Load shedding cases
- Short circuit in the HV system

2.6 Feasibility Studies

All kind of studies required for new or expanded plant projects with regard of power supply options, filter designs, equipment ratings or other queries related to the electrical system.

2.7 Study software

The preferred software for the system analysis is DigSilent (licence in house).

Other software options (subject of special agreement) are:

- ETAP
- PA (Power Analytics formerly EDSA)
- Neplan

Relevante Normen und Vorschriften:

- IEC 60044-1 – Instrument Transformatoren – Teil 1: Stromwandler / Teil 2: Spannungswandler
- IEC 60947-2 – NS Schaltanlagen – Leistungsschalter.
- IEC 60947-4-1 – NS Schaltanlagen – Elektromechanische Schütze und Motorstarter
- IEC 60947-4-2 – NS Schaltanlagen – Halbleiter Motorsteuergeräte und –Starter für Wechselspannung
- IEC 60255-3 – Relais – Messrelais mit einer Eingangsgröße und abhängiger oder unabhängiger Zeitkennlinie.
- IEC 61892-1 – Mobile und fest installierte offshore Einheiten – Elektrische Installation – Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- IEC 61892-2 – Mobile und fest installierte offshore Einheiten – Elektrische Installation – Teil 2: Systemauslegung
- IEC 61892-4 – Elektrische Installation – Teil 4: Kabel
- IEC 62271-100 – Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Part 100: Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter

Relevant Codes and Standards:

- IEC 60044-1 – Instrument transformers – Part 1: Current transformers / Part 2: Inductive voltage transformers
- IEC 60947-2 – Low voltage switchgear and control gear – Circuit breakers.
- IEC 60947-4-1 – Low voltage switchgear and control gear – Contactors and motor-starters –Electromechanical contactors and motor-starters
- IEC 60947-4-2 – Low voltage switchgear and control gear – Contactors and motor-starters – AC semiconductor motor controllers and starters
- IEC 60255-3 – Electrical relays – Single input energizing quantity measuring relays with dependent or independent time.
- IEC 61892-1 – Mobile and fixed offshore units – Electrical installations – Part 1: General requirements and conditions.
- IEC 61892-2 – Mobile and fixed offshore units – Electrical installations – Part 2: System design
- IEC 61892-4 – Electrical installations – Part 4: Cables
- IEC 62271-100 – Highvoltage switchgear and control gear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers

3. Erfahrungen und Referenzen

Aktuelle Projekte:

Off-Shore Ölförderungsanlage in Brasilien (FPSO mit DT Kraftwerk, 2 Plattformen und 10 km Seekabel)

- Überprüfung des elektrischen Systems und Studien
- Kurzschluss- und Lastfluss Berechnung
- Harmonische Analyse
- Schutzkoordination
- Dynamische Studien
- Transiente Stabilitätsstudie
- Übersichtsschaltbild
- Betriebskonzept und elektrisches Betriebshandbuch

Kombi-Kraftwerk für eine Papierfabrik in Deutschland

- Einpoliges Schema
- Betriebskonzept
- System Studien
- Spezifikationen für die elektrische Ausrüstung

LNG Anlage in Norwegen mit GT Kraftwerk (5x LM 6000)

- Spezifikationen und Projektengineering für den Kraftwerksteil
- Elektrische Systemstudien
- Erstellung eines elektrischen Betriebskonzeptes
- Elektrische Leitung während der "String Tests" in Italien
- Entwicklung, Überwachung, Test und Inbetriebnahme eines anspruchsvollen Power Management System (PMS)

Kombi-Kraftwerk in Griechenland (2x GT + 1 DT)

- Elektrische Projektleitung
- Übergeordnete Systemauslegung für den elektrischen Teil des Kraftwerks und der Energieverteilung
- Elektrische Systemstudien
- Spezifikationen und Ausführung für die elektrische Ausrüstung des GT-Teils

Gasturbinen Kraftwerk in den Vereinigten Arabischen Emiraten

- Übergeordnete Systemauslegung für den elektrischen Teil des Kraftwerks und der Energieverteilung
- Elektrische Systemstudien
- Spezifikationen und Ausführung für die elektrische Ausrüstung des GT-Teils

Gasturbinen Kraftwerk in der Elfenbeinküste

- Übergeordnete Systemauslegung für den elektrischen Teil des Kraftwerks und der Energieverteilung
- Spezifikationen und Ausführung für die elektrische Ausrüstung des GT-Teils

3. Experience and References

Recent Projects:

Off-shore oil plant in Brazil (FPSO with ST power generation, 2 WHP and 10 km sea-cable)

- Verification of the entire electrical system including system studies
- Short circuit and load flow calculation
- Harmonic analysis
- Relay coordination study
- Dynamic studies
- Transient stability study
- Overall One Line Diagram
- Operation Concept and Operation Manual

Combined Cycle Power Plant Project for Paper Mill in Germany

- Overall One Line Diagram
- Operation Concept
- System Studies
- Main Equipment Specifications

LNG plant in Norway with GT power generation (5xLM 6000)

- Specification and project engineering for the power plant
- Electrical system studies
- Development of the electrical operation philosophy
- Electrical lead engineer for the string tests in Italy
- Development, supervision, testing and commissioning of an extensive power management system (PMS)

Combined Cycle Power Plant in Greece (2x GT + 1 ST)

- Electrical Lead engineer
- Overall system planning for the electrical power generation and distribution
- Electrical system studies
- Specification and engineering for the electrical system for the GTs

Gasturbine Power Plant in the United Arab Emirates

- Overall system planning for the electrical power generation and distribution
- Electrical system studies
- Specification and engineering for the electrical system for the GTs

Gasturbine Power Plant in Ivory Coast

- Overall system planning for the electrical power generation and distribution
- Specification and engineering for the electrical system for the GTs