

Netzbetrieb in Elektroenergieversorgungsnetzen

(Inhalte – Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler / TU Dresden)

- 1 Elektroenergieversorgung**
 - 1.1 Sicherstellung der Energieversorgung**
 - 1.2 Eigenschaften der Energieversorgung**
 - 1.3 Systemzustand und –vorgang**
 - 1.3.1 Systemzustände
 - 1.3.2 Kennzeichen typischer Netzausgleichsvorgänge
 - 1.3.3 Beanspruchungen durch Betriebsvorgänge
 - 1.3.4 Klassifizierung der Beanspruchungsgrößen
 - 1.3.5 Analytische Verfahren zur Bestimmung von charakteristischen elektrischen Beanspruchungsgrößen
- 2 Stationärer Systemzustand**
 - 2.1 Beeinflussung Strom und Spannung**
 - 2.1.1 Statistische Bewertung von stochastischen Netzgrößen
 - 2.1.1.1 Eigenschaften der Verteilungsfunktionen der Netzgrößen
 - 2.1.2 Betriebsspannung
 - 2.1.2.1 Schreibweisen von Spannungen
 - 2.1.3 Betriebsstrom
 - 2.1.2.1 Betriebsstrom-Zeit-Kennlinien
 - 2.1.2.2 Anpassung der Strombeanspruchbarkeit an die -beanspruchung
 - 2.2 Bewertung der Spannungen und Ströme (Elektroenergiequalität)**
 - 2.2.1 Bedeutung und Einordnung
 - 2.2.2 Eigenschaften
 - 2.2.3 Nachweisort
 - 2.2.4 Wechselwirkungsmechanismus (Modellierung)
 - 2.2.5 Verursacher
 - 2.2.6 Störwirkungen
 - 2.2.7 Qualitätskenngrößen
 - 2.2.8 System der Qualitätsfaktoren Spannung
 - 2.2.9 Verträglichkeitskoordination und deren Modelle
 - 2.2.10 Klassifikation der Spannungsänderung
 - 2.2.10.1 Darstellung und Grenzwerte der Schwankungen

- 2.2.10.2 Flickereindruck und -kurve
- 2.2.10.3 Flickerdosis, -stärke und –störfaktor
- 2.2.10.4 Formfaktoren für spezielle Formen der Spannungsänderungen
- 2.2.10.5 Normen zum Flicker (National / international)
- 2.2.10.6 Verträglichkeitspegel und Grenzwerte für die Flickerstärke
- 2.2.10.7 Abhilfemaßnahmen bei Flickern
- 2.2.10.8 Beurteilung und zulässige Anschlussleistung

2.2.11 Kennzeichnung der Form (Oberschwingungen)

- 2.2.11.1 Darstellung und Grenzwerte der Schwankungen
- 2.2.11.2 Kenngrößen der Spannungsamplitude
- 2.2.11.3 Kenngrößen der Schwingungsänderung
- 2.2.11.4 Kriterien der Verzerrungsformen
- 2.2.11.5 Oberschwingungen (Darstellung & Grenzwerte)
- 2.2.11.6 Haupt- und Nebensysteme von Harmonischen
- 2.2.11.7 Netzverhalten und Oberschwingungsquellen
- 2.2.11.8 Oberschwingungsfortleitung
- 2.2.11.9 Oberschwingungssenken
- 2.2.11.10 Zulässiger Oberschwingungsstrom (Bewertung)
- 2.2.11.11 Technische Mittel / Maßnahmensteuerung

2.2.12 Resonanzen im Netz

- 2.2.12.1 Kenngrößen von Schwingkreisen
- 2.2.12.2 Planung und Projektierung von Netzfiltern

3 Instationärer Systemzustand

3.1 Entstehung und Ursachen von zeitweiligen Strom- und Spannungsüberhöhungen

- 3.1.1 Größen zur Kennzeichnung zeitweiliger Spannungsüberhöhungen
- 3.1.2 Zeitweilige Spannungsüberhöhungen als Folge von Entlastungen
 - 3.1.2.1 Lastabwurf - Entstehung und Folgen im Netz
 - 3.1.2.2 Selbsterregung bei Generatoren
 - 3.1.2.3 Ferranti-Effekt – Ursachen und Bewertung

3.2 Zeitweilige Stromüberhöhungen im Netz

- 3.2.1 Kurzzeitig dynamische Stromüberhöhungen
 - 3.2.1.1 Einflussgrößen auf den zeitl. Stromverlauf
 - 3.2.1.2 Der Motorhochlauf und seine Komponenten

3.2.1.3 Spezielle Schwingungszustände im Netz

3.2.2 Zeitweilige Resonanzüberhöhungen und –ströme im Netz

3.2.2.1 Linearer Kreis – Eigenschwingungen

3.2.2.2 Ursache von Resonanzerscheinungen

3.2.2.3 Harmonische und Ultraharmonische Resonanz

3.2.2.4 Nichtlinearer Kreis – subharmonische Resonanzen

3.2.2.5 Der Mehrdeutigkeitsbereich

3.2.2.6 Ursachen und Folgen für mögliche Resonanzanregungen

3.2.2.7 Resonanzüberhöhungen im Netz

3.2.3 Innere transiente Überspannungen und -ströme

3.2.3.1 Physikalische Grundlagen / Ursachen im Netz

3.2.3.2 Bewertung von Schaltüberspannungen

3.2.3.3 Erdunsymmetrien und Sternpunktverlagerungseffekte

3.2.3.4 Überspannungs- und Überstromfaktoren

3.2.3.5 Rechenverfahren zur Beschreibung der
Ausgleichsvorgänge

3.2.3.6 Klassifizierung von Schaltüberspannungen

3.2.3.7 Einschwingvorgänge nach Kurzschlussabschaltungen

3.2.3.8 Netzparameter bei Einschwingvorgängen

3.2.3.9 Schaltüberspannung beim Ausschalten von Wicklungen

3.2.3.10 Neuzündungsvorgänge bei Transformatoren

3.2.3.11 Begrenzung von Schaltüberspannungen

3.2.3.12 Schaltüberspannungen Beim Schalten von Leitungen

3.2.3.13 Wanderwellenvorgänge und deren Berechnung

3.2.3.14 Größen, die den Wanderwellenvorgang beeinflussen /
Bergeron-Verfahren

3.2.3.15 Erdkurzschlussüberspannungen im Netz

3.2.3.16 Spezielle Auf- und Endladungsvorgänge im Netz

3.2.3.17 Schwebungszustände und Erdschlusswiederzündung

3.2.3.18 Schaltüberströme beim Ein- und Ausschalten
elektrischer Betriebsmittel, z.B. Inrush

3.2.3.19 Überstrom- und Überspannungsfaktoren

3.2.3.20 Der Kurzschlussstrom und deren Systemzustand im
Fehlerbetrieb

3.2.4 Äußere transiente Überspannungen und -ströme

3.2.4.1 Blitzüberspannungen und -ströme

3.2.4.1.1 Möglichkeiten des Blitzeinschlags

3.2.4.1.2 Einschlagwahrscheinlichkeiten

- 3.2.4.1.3 Kenngrößen und Bewertungen
- 3.2.4.1.4 Blitzspannungsbeanspruchung und
Anwendung UW-Bau

4 Spannungs- und Frequenzhaltung im Netz

4.1 Spannungshaltung und deren Regelung

4.1.1 Blindleistungsregime

- 4.1.1.1 Verteilungsfunktion der spezifischen
Zusatzverluste durch PQ-Anlage
- 4.2.1.2 Definition und zeitlicher Verlauf von Leistungen im Netz
- 4.2.1.3 Zusammenhang zwischen Spannung und Blindleistung

4.1.2 Die Spannungs- Blindleistungsregelung im Netz

- 4.1.2.1 Verhalten ohne Reglereinrichtung
- 4.1.2.2 Spannungsregelung von Generatoren
- 4.1.2.3 Verhalten mit Reglereinrichtung ohne
Blindstromabhängigkeit
- 4.1.2.4 Aufbau einer Spannungsreglereinrichtung
- 4.1.2.5 Generator mit Spannungsreglereinrichtung und deren
Einflussgrößen für den Netzbetrieb (Parametrierung)
- 4.1.2.6 Verhalten mit Reglereinrichtung und
Blindstromabhängigkeit
- 4.1.2.7 Spannungs-Blindleistungsverhalten am
Netzanschlusspunkt
- 4.1.2.8 Generatorkennlinien
- 4.1.2.9 Netzkennlinien
- 4.1.2.10 Blindstromaufteilung bei unterschiedlichen Netzebenen
- 4.1.2.11 Statische und dynamische Stabilität

4.2 Frequenzhaltung und deren Regelung

4.2.1 Frequenzhaltung und deren Regelung

- 4.2.1.1 Aufgaben des Betriebsregimes (Gewährleistung der
Energieversorgung)
- 4.2.1.2 Die Frequenz-Wirkleistungsregelung**
 - 4.2.1.2.1 Die Wirkleistungserzeugung /-verbrauch
 - 4.2.1.2.2 Berechnung und Bewertung der
Netzleistung und Netzverluste
 - 4.2.1.2.3 Festlegung von Grenzwerten / Intervalle
 - 4.2.1.2.4 Frequenzhaltung bei Inselnetzen
 - 4.2.1.2.5 Abhängigkeiten der Netzleistungen auf die
Netzfrequenz / Ableitung auf die Regelung

- 4.2.1.2.6 Frequenzverhalten bei unterschiedlicher Generatorleistung
- 4.2.1.2.7 Erzeuger /- Verbraucherkennlinien
- 4.2.1.2.8 Frequenzabsenkungen und die Leistungszahl im Netz
- 4.2.1.2.9 Das Problem mit der Netzregelreserve (Europa / ENTSO-E)
- 4.2.1.2.10 Tagesbelastungsgänge / stochastische Modellierung / Programmlast und Einsatz neuronaler Netze
- 4.2.1.3 Primäre / Sekundäre Leistungsregelung**
 - 4.2.1.3.1 Maschinen-Grenzlast
 - 4.2.1.3.2 Grenzwerte und Netzverhalten nach Reglereingriff
 - 4.2.1.3.3 Minutenreserve
 - 4.2.1.3.4 Anwendung Pumpspeicher / Gasturbinen
 - 4.2.1.3.5 Frequenzregelung mit Primär- und Sekundärregler
- 4.2.1.4 Statische Regelkennlinie**
 - 4.2.1.4.1 Maschinenstatik
 - 4.2.1.4.2 Maschinenverhalten im Inselbetrieb
 - 4.2.1.4.3 Erzeuger- und Verbraucherkennlinie
- 4.2.1.5 Netzparallelbetrieb**
 - 4.2.1.5.1 Mehr-Maschinen-Problem
 - 4.2.1.5.2 Zusammenhang zur Belastungskennlinie
 - 4.2.1.5.3 Eingriff in den Sekundärregler
 - 4.2.1.5.4 Störungen im Netzverbund