

Betrieb von Mittelspannungsnetzen mit hoher Blockheizkraftwerk-Einspeisung

Von der Fakultät für Elektrotechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Guido Daniëls
aus Maastricht, Niederlande

Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-J. Haubrich
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. H. Rijanto

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juli 1996

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Einleitung | i |
| 1.1 | Netzeinspeisung aus Kleinkraftwerken | 1 |
| 1.2 | Folgen für den Betrieb von Mittelspannungsnetzen | 4 |
| 1.3 | Ziel der Arbeit | 7 |
| 2 | Analyse der Aufgabenstellung | 9 |
| 2.1 | Systemabgrenzung | 9 |
| 2.2 | Analyse der Teilsysteme | 10 |
| 2.2.1 | Mittelspannungsnetz | 10 |
| 2.2.1.1 | Struktur | 10 |
| 2.2.1.2 | Netzschutz | 11 |
| 2.2.2 | Blockheizkraftwerke | 13 |
| 2.2.2.1 | Quasistationäres Verhalten | 13 |
| 2.2.2.2 | Dynamisches Verhalten | 14 |
| 2.2.2.3 | Generatorschutz | 17 |
| 2.2.3 | Hoch-/Mittelspannungstransformator | 19 |
| 2.2.4 | Elektrische Last | 20 |
| 2.3 | Einteilung in Normalbetrieb und Störfallverhalten | 21 |
| 2.4 | Nebenbedingungen | 22 |
| 2.4.1 | Nebenbedingungen im Normalbetrieb | 22 |
| 2.4.1.1 | Spannungshaltung | 22 |
| 2.4.1.2 | Statische Stabilität | 24 |
| 2.4.2 | Nebenbedingungen im Störfall | 26 |
| 2.4.2.1 | Kurzschlußbeanspruchung | 26 |
| 2.4.2.2 | Transiente Stabilität der Blockheizkraftwerke | 28 |
| 2.4.2.3 | Selektivität des Netzschutzes | 29 |
| 2.5 | Freiheitsgrade | 30 |
| 2.5.1 | Optimierung des Normalbetriebes | 30 |
| 2.5.2 | Verbesserung des Störfallverhaltens | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Modelle und Verfahren | 35 |
| 3.1 | Methodisches Vorgehen | 35 |
| 3.2 | Optimierung des Normalbetriebes | 37 |
| 3.2.1 | Zielfunktion und Vorgehensweise | 37 |
| 3.2.2 | Zustandsreduktion | 39 |
| 3.2.2.1 | Notwendigkeit der Zustandsreduktion | 39 |
| 3.2.2.2 | Einfluß des Hoch-/Mittelspannungstransformators | 40 |
| 3.2.2.3 | Einfluß dezentraler Einspeisung | 43 |
| 3.2.3 | Berechnung von Zielfunktion und Nebenbedingungen | 43 |
| 3.2.4 | Optimierungsalgorithmen | 45 |
| 3.2.4.1 | Lage der Trennstellen im Netz | 45 |
| 3.2.4.2 | Leistungsfaktoren der BHKW | 48 |
| 3.2.4.3 | Reglersollwert am Hoch-/Mittelspannungstransformator | 49 |
| 3.3 | Verbesserung des Störfallverhaltens | 50 |
| 3.3.1 | Vorgehensweise | 50 |
| 3.3.2 | Überprüfung der Nebenbedingungen | 50 |
| 3.3.3 | Verfahren zur Schutzparametrierung | 51 |
| 4 | Ergebnisse..... | 55 |
| 4.1 | Gliederung der Untersuchung | 55 |
| 4.2 | Untersuchung eines Modellnetzes | 56 |
| 4.2.1 | Ländliches Netz mit hoher dezentraler Einspeisung | 56 |
| 4.2.2 | Verifikation der Zustandsreduktion | 57 |
| 4.2.3 | Verlustoptimierung im Normalbetrieb | 59 |
| 4.2.4 | Verbesserung des Verhaltens im Störfall | 60 |
| 4.3 | Untersuchung realer Netze | 62 |
| 4.3.1 | Ländliches Netz | 62 |
| 4.3.2 | Städtisches Netz | 66 |
| 4.4 | Erkenntnisse | 69 |
| 5 | Zusammenfassung | 73 |
| 6 | Literatur | 77 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Anhang | 87 | |
| A1 | Dezentrale Einspeisung auf Basis regenerativer Primärenergieträger | 87 |
| A1.1 | Direkt gekoppelter Windenergiekonverter | 87 |
| A1.2 | Indirekt gekoppelte Anlage | 88 |
| A2 | Modell eines Blockheizkraftwerkes für Stabilitätsuntersuchungen | 90 |
| A2.1 | Verbrennungsmotor mit Abgasturbolader | 90 |
| A2.2 | Drehzahlregelung | 92 |
| A2.3 | Spannungsregler | 92 |
| A2.4 | Parametrierung der Regeleinrichtungen | 93 |
| A3 | Vollständiges Datenmodell | 96 |
| A3.1 | Lastflußdaten | 96 |
| A3.2 | Ergänzende Daten für Kurzschluß- und Stabilitätsuntersuchungen | 100 |