



Raimund Schnieder (Autor)  
**Regelungsverfahren für regelbare  
Ortsnetztransformatoren im Mono- und  
Multisensorbetrieb**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7728>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation .....	1
1.1	Aufgabenstellung .....	4
1.2	Vorgehensweise bei den theoretischen Untersuchungen zum regelbaren Ortsnetztransformator .....	6
1.3	Grundlagen und Stand der Technik.....	7
2	Grundlagen für neue Betriebsarten regelbarer Ortsnetztransformatoren.....	23
2.1	Berechnung des Spannungshubs bei Verwendung unterschiedlichen Niederspannungskabeltypen .....	23
2.2	Reihenentwicklung der Spannungsänderung entlang einer Leitung .....	27
2.3	Betrachtung der Spannungsänderung in Niederspannungsverteilsnetzen anhand von Messdaten und Netzberechnungen .....	29
2.4	Parametrierung der Stufung und der Reglertotbandzone regelbarer Ortsnetztransformatoren .....	34
2.5	Betriebsarten regelbarer Ortsnetztransformatoren.....	39
2.6	Definition des Reglertotbandes für die unterschiedlichen Betriebsarten.....	49
2.7	Nutzen des regelbaren Ortsnetztransformators im Niederspannungsverteilsnetz in verschiedenen Betriebsarten .....	51
3	Modellbildung für die Untersuchung unterschiedlicher Regelungsverfahren für regelbare Ortsnetztransformatoren .....	57
3.1	Modellnetzbildung für die Untersuchung der unterschiedlichen Regelverfahren .....	57
3.2	Modellierung des regelbaren Ortsnetztransformators .....	63
3.3	Profilbildung für Lasten, dezentrale Energiewandlungsanlagen und die vorgelagerte Mittelspannung.....	74
3.4	Übersicht des Gesamtmodells .....	76
3.5	Ergebnisdarstellung der verschiedenen Szenarien .....	76
3.6	Kennzahlen für die Regelqualität .....	79
4	Monosensorbetrieb des regelbaren Ortsnetztransformators.....	85
4.1	Monosensorbetrieb mit konstantem Sollwert bei Nennspannung.....	86
4.2	Variabler Sollwert in Abhängigkeit des Leistungsflusses.....	88
4.3	Variabler Sollwert in Abhängigkeit der Solarstrahlung .....	91



4.4	Vergleich der Monosensor-Betriebsarten .....	94
5	Multisensorbetrieb des regelbaren Ortsnetztransformators bei Berücksichtigung zusätzlicher Knotenspannungen.....	97
5.1	Entwicklung eines Regelalgorithmus für den Multisensorbetrieb.....	97
5.2	Untersuchungen zum Multisensorbetrieb .....	105
6	Monosensorbetrieb des regelbaren Ortsnetztransformators bei Berücksichtigung einer vereinfachten Zustandsschätzung zur Spannungsiswertgenerierung .....	115
6.1	Entwicklung eines vereinfachten Zustandsschätzers .....	115
6.2	Ergebnisse zum Monosensorbetrieb mit vereinfachter Zustandsschätzung zur Spannungsiswertgenerierung.....	118
6.3	Vergleich der Ergebnisse des regelbaren Ortsnetztransformators bei Berücksichtigung einer vereinfachten Zustandsschätzung zur Spannungsiswertgenerierung.....	119
7	Monosensorbetrieb bei Berücksichtigung eines Beobachters zur dynamischen Sollwertgenerierung.....	123
7.1	Exkurs zu Beobachtern und Zustandsschätzern für elektrische Verteilnetze .	123
7.2	Entwicklung eines Beobachters für Niederspannungsverteilstellen zur Sollwertgenerierung für regelbare Ortsnetztransformatoren.....	124
7.3	Stabilitätsbetrachtung des erweiterten Monosensorbetriebs durch einen Beobachter zur dynamischen Sollwertgenerierung .....	130
7.4	Ergebnisse zum Monosensorbetrieb bei Berücksichtigung eines Beobachters zur dynamischen Sollwertvorgabe .....	131
7.5	Vergleich der Ergebnisse zum Monosensorbetrieb bei Berücksichtigung eines Beobachters zur dynamischen Sollwertgenerierung.....	134
8	Vergleich und abschließende Diskussion der vorgestellten Regelungsverfahren anhand der Szenarien .....	137
8.1	Vergleich der untersuchten Regelungskonzepte bei einem Reglerband von zwei Prozent als Referenz .....	137
8.2	Auszug der Ergebnisse mit der geringsten globalen Spannungspreizung ..	138
8.3	Vergleich der genutzten Stufenpositionen (Regelbereich) .....	139
8.4	Interpretation der Regelqualität.....	141
8.5	Interpretation der Schaltzyklenzahl (Anzahl der Stufen) .....	143
8.6	Ableitung netzplanerischer Kennzahlen und Einsatzkriterien für die Regelungsverfahren .....	145
8.7	Zubaupotential für regenerative Energiewandlungsanlagen .....	147



9	Verifizierung der Ergebnisse anhand einer realen Niederspannungsnetzstruktur	151
9.1	Abgeleitete Kennzahlen für die Netzplanung anhand der vorangegangenen Untersuchungen	151
9.2	Netzstruktur	159
9.3	Ergebnisse der Leistungsflussrechnung	161
9.4	Überprüfung der Beobachterfunktion anhand einer realen Netzstruktur	165
9.5	Fazit der Ergebnisverifikation an einer realen Netzstruktur	166
9.6	Praxisempfehlungen	167
10	Kritische Würdigung	171
11	Zusammenfassung	175
12	Verzeichnisse	179
12.1	Tabellenverzeichnis	179
12.2	Abbildungsverzeichnis	180
12.3	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	189
13	Literaturverzeichnis	193
Anhang 1	Übersicht Netzregler	i
Anhang 2	Übersicht Regelbare Ortsnetztransformatoren	i
Anhang 3	Spannungsänderungen an einer Leitung bei unterschiedlicher Last- und Erzeugungsverteilung	ii
Anhang 4	Ergänzung zur möglichen Spannungsspreizung im Niederspannungsnetz	iii
Anhang 5	Fallbeispiel zur Berücksichtigung einer Statik zur variablen Sollwertvorgabe	iii
Anhang 6	Berechnung der Parameter des einphasigen Transformatoren Ersatzschaltbildes	vi
Anhang 7	Auswertung der Stufenpositionen	viii
Anhang 8	Wertebereich der Kennzahl für die Regelqualität	ix
Anhang 9	Exemplarische Spannungsänderung einer Leitung	ix
Anhang 10	Grafische Darstellung des Beobachterfehlers	x