

EINFLUSS DER BLOCKIERUNG VON STUFENSTELLERN IM RAHMEN DER AUTOMATISCHEN LETZTMAßNAHMEN

Sebastian PALM¹, Steve MIELERT², Mathias DUMKE³, Ronald HALBAUER³,
Uwe ZICKLER⁴, Robert KNOLL⁴, Nayeemuddin AHMED⁵

Einführung

Im Rahmen der aktuellen Herausforderungen der Netzstabilität müssen Netzbetreiber auf potenziell netzgefährdende Ereignisse vorbereitet sein, unter anderem auf große Abweichungen der Spannung vom Normalbereich. Die VDE-AR-N 4142 (Ausgabe 2020) gibt dafür im Kapitel 7 „Automatische Letztmaßnahmen zur Vermeidung eines Spannungskollaps“ unter anderem als eine Maßnahme das „Automatische Blockieren der Regler von HS/MS-Transformatoren und deren unterlagerte Transformatoren“ [1] vor. Die Blockierung wird dabei vom Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) an den Verteilnetzbetreiber (VNB) übermittelt, sobald sich ein Spannungskollaps abzeichnet.

Im Rahmen einer Studie, welche für die VNB der ARGE FNB OST durchgeführt wird, wird der Einfluss dieser Maßnahme auf die Leistungsaufnahme von Mittelspannungs-Verteilnetzen untersucht. Dabei sollen aktuelle sowie zukünftige Entwicklungen des Versorgungssystems, wie bspw. das spannungsabhängige Verhalten elektrischer Lasten (EL), Zubau und Verhalten dezentraler Erzeugungsanlagen (DEA) und der Einsatz spannungsregelnder Komponenten berücksichtigt werden. Parallel zur simulativen Untersuchung erfolgen Messungen in den MS-Netzen, um die aktuelle Spannungsabhängigkeit der Leistungsaufnahme von EL zu quantifizieren. Die Studie untersucht sowohl den Spannungsrückgang als auch den Spannungsanstieg, in diesem Beitrag wird jedoch nur der Spannungsrückgang betrachtet.

Durchführung der Studie

Untersuchung der spannungsabhängigen Leistungsaufnahme der Last im Verteilnetz

Durch Messungen an den HS/MS-Transformatoren repräsentativer Verteilnetze unterschiedlicher Struktur und gezielt durchgeführter Stufenstellungen wird die Spannungsabhängigkeit der Leistungsaufnahme der EL ermittelt. Dafür werden die Leistungen vor und nach jedem Spannungssprung ausgewertet und die Modellparameter der Lastmodelle in den Gl. (1) und (2) mit dem least-squares-Algorithmus ermittelt. Das Lastmodell wurde in [2] entwickelt, wobei in dieser Studie dessen Frequenzabhängigkeit vernachlässigt wird. Das Modell nimmt eine exponentielle Spannungsabhängigkeit für P und eine lineare Spannungsabhängigkeit für Q an. Da sich Q häufig um den Nullpunkt bewegt oder sogar das Vorzeichen wechselt, wird in diesem Modell die Anfangs-Blindleistung Q_0 lediglich als Offset verwendet. Die lineare Abhängigkeit wird stattdessen an der Anfangs-Wirkleistung P_0 als Referenz festgemacht.

$$P_{LM}(U) = P_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^{k_{pu}} \quad (1)$$

$$Q_{LM}(U) = Q_0 + P_0 \cdot k_{qu} \cdot \frac{U - U_0}{U_0} \quad (2)$$

Erstellung der Simulationsmodelle

Mit der Software *PowerFactory* werden die gemessenen Netze der VNB modelliert und das zeit- und spannungsabhängige Verhalten der Transformator-Stufenregler sowie der Abschaltung der DEA bei Unter- und Überspannung abgebildet. Außerdem wird die Spannungsabhängigkeit der EL aus den Messungen berücksichtigt. Mehrere Einflussgrößen werden untersucht, unter anderem:

- Last- und Erzeugerszenario
- Verhalten der Prognose-Lasten: $\cos(\varphi) = 1$ oder $Q(U)$
- Verhalten der DEA: IST-Kennlinien oder $Q(U)$
- Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren (rONT)

¹ DIgSILENT GmbH, Gomaringen, Deutschland, s.palm@digsilent.de, www.digsilent.de

² Hamburger Energienetze GmbH, Hamburg, Deutschland, www.hamburger-energienetze.de

³ Mitteldeutsche Netzesellschaft Strom mbH, Kabelsketal, Deutschland, www.mitnetz-strom.de

⁴ TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG, Erfurt, Deutschland, www.thueringer-energienetze.com

⁵ WEMAG Netz GmbH, Schwerin, Deutschland, www.wemag-netz.de

Zusammenfassung bisheriger Ergebnisse

Lastmodellparameter

In Tabelle 1 sind einige der ermittelten Lastmodellparameter eingetragen. Zusätzlich werden diese mit den in [2] und [3] ermittelten Parametern verglichen. Es zeigt sich insbesondere im Vergleich zu den Messungen in [2], welche einige Jahre zurückliegen, dass die Spannungsabhängigkeit abgenommen hat. Nach wie vor ist allerdings festzustellen, dass sowohl Wirk- als auch Blindleistung eine positive Spannungsabhängigkeit aufweisen. Dies bedeutet, dass eine sinkende Spannung eine geringere Wirkleistungsaufnahme und ein tendenziell kapazitiveres Verhalten des Verteilnetzes zur Folge hat. Im städtischen Verteilnetz ist die Abhängigkeit der Blindleistung markant geringer, was durch den erheblich höheren Kabelanteil zu erklären ist, der das induktive Verhalten der Lasten stärker kompensiert.

Tabelle 1: Vergleich der Lastmodellparameter

Quelle	[2], NS-Netze	[3], HS/MS-Trafos	Messung Netz A (städtisch)	Messung Netz B (ländlich)
k_{pu}	1,46	0,759	0,734	0,480
k_{qu}	0,91	0,808	0,386	0,972

Simulationsergebnisse

In Abbildung 1 sind Ergebnisse eines untersuchten Verteilnetzes dargestellt. Es wird die Blindleistung auf HS- und MS-Seite des Transformators „vor“ und „nach“ einem hochspannungsseitigem Spannungs-rückgang auf 0,75 p.u. sowie die Blindleistungsänderung („diff“), die im Rahmen des Rückgangs auftritt, abgebildet. Die Blindleistung ist im Verbraucher-Zählpfeilsystem dargestellt.

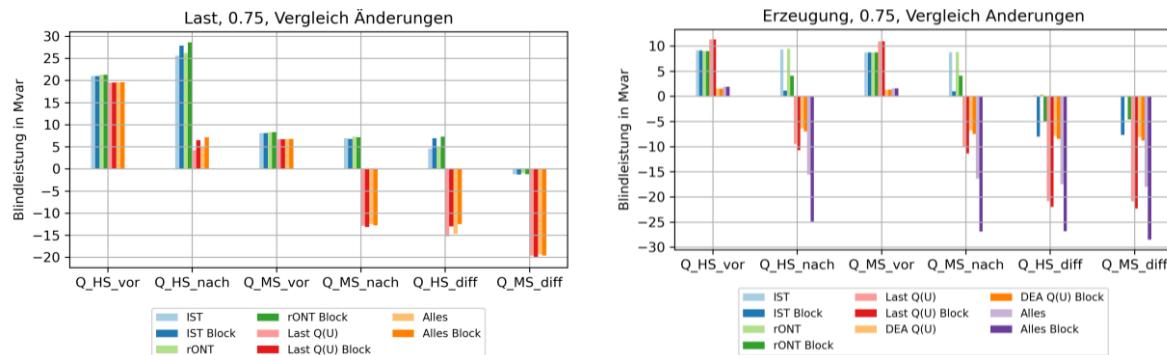


Abbildung 1: Versch. Einflussgrößen auf Q-Aufnahme des Verteilnetzes für Last- (links) und Erzeugerfall (rechts)

Folgende grundlegende Erkenntnisse können daraus bereits gewonnen werden:

- Mit der Blockierung der HS/MS-Transformatoren verhält sich das Netz in jedem Szenario nach dem Spannungs-rückgang etwas kapazitiver, da die Spannung MS-seitig weiter fällt.
- *Lastfall:* Die Q-Aufnahme des Netzes wird geringfügig kapazitiver infolge des Verhaltens der EL, welche etwas größeren Einfluss als die Leitungskapazitäten aufweisen.
- *Erzeugerfall:* Bei Blockierung des Stufenstellers kommt es zur Abschaltung der DEA infolge von Unterspannung, wodurch die Q-Aufnahme des Netzes erheblich kapazitiver wird.
- Ein potenzielles Q(U)-Verhalten in EL und DEA stützt die Spannung im Verteilnetz so stark, dass es trotz Spannungs-rückgang zu keinen DEA-Abschaltungen kommt.

Eine Blockade der Stufenregler hat nur bei langsamem Spannungsereignissen (in diesem Beispiel 10-Minuten-Rampen) überhaupt eine Auswirkung. Ist der Rückgang schneller, führt die Verzögerung durch die erforderliche Kommunikation vom ÜNB zum VNB und die Umsetzung der Blockade dazu, dass der Transformator-Stufenregler seine Endstufe erreicht hat, bevor die Blockade überhaupt wirksam wird.

Referenzen

- [1] VDE, "Automatische Letztmaßnahmen," VDE-AR-N 4142, 1. April, 2020.
- [2] S. Palm, P. Schegner und T. Schnelle, "Measurement and modeling of voltage and frequency dependences of low-voltage loads," 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Chicago, IL, USA, 2017, doi: 10.1109/PESGM.2017.8273781.
- [3] R. Helmschrott, S. Seifried, T. Weinmann et al. „Untersuchung des spannungsabhängigen Verhaltens einer Netzgruppe auf Hoch-, Mittel-, und Niederspannungsebene anhand von Messdaten während des Betriebs,“ 14. Internationale Energiewirtschaftstagung, Wien, 2025.