

ADAPTION UND VALIDIERUNG EINER LOW COST μ PMU ZUR NETZÜBERWACHUNG IM NIEDERSPANNUNGSNETZ

Melina GURCKE^{1*}, Kevin TIMPE^{1*}, Michael KELKER¹, Jens HAUBROCK¹

Einleitung

Im Übertragungsnetz (ÜBN) haben sich Phasor-Measurement-Units (PMUs) zur Netzüberwachung als leistungsfähige Messtechnik etabliert. Mit den Zielen der Energiewende bis 2030 den Anteil an Erneuerbaren Energien (EE) an der gesamten Energieerzeugung in der EU auf 40 % zu erhöhen sowie die durchschnittlichen jährlichen Emissionen neuer Fahrzeuge ab 2030 um 55 % und ab 2035 um 100 % im Vergleich zu 2021 zu verringern [1], besteht künftig auch die Notwendigkeit, die Verteilnetze zu überwachen. Im Verhältnis zum Übertragungsnetz ist das Niederspannungsnetz weitaus größer und besitzt eine Vielzahl an Netzknoten, gleichzeitig ist der Energiedurchsatz pro Knoten aber vergleichsweise deutlich geringer. Dies führt zu einer deutlich angespannteren Kostenstruktur im Niederspannungsnetz. Ein Niederspannungsnetz mit herkömmlichen PMUs zu überwachen wäre sehr kostenintensiv und unwirtschaftlich. Für einen Einsatz im Niederspannungsnetz müssen deshalb kostengünstige Lösungen, sogenannte Low Cost (LOCO) μ PMUs entwickelt werden. In diesem Beitrag wird eine LOCO μ PMU zur Netzüberwachung im Niederspannungsnetz vorgestellt und validiert. Durch die LOCO μ PMU wird eine kostengünstige Möglichkeit geschaffen, Netzzustandsgrößen aufzunehmen und zu verarbeiten.

Low Cost μ PMU

Eine μ PMU ist eine Messeinheit, die Phasoren von Strom und Spannung, die Netzfrequenz und den RoCoF (Rate of Change of Frequency) in einem elektrischen Netz zeitlich synchron mittels GPS misst. Die Messdaten werden in Echtzeit an ein übergeordnetes System übermittelt und verarbeitet. Herkömmliche PMUs, die im ÜBN zum Einsatz kommen, weisen einen hohen Grad an Genauigkeit auf und sind dementsprechend in der Anschaffung sehr kostenintensiv. Da die μ PMUs im Niederspannungsnetz für die Überwachung des stationären Zustands genutzt werden, können die Spezifikationen für die Aktualisierungsrate gelockert werden. [2] Es kann auf kostengünstigere Hardware zurückgegriffen werden.

Hardware

Der Hardwareaufbau der LOCO μ PMUs basiert auf der Entwicklung der Arbeitsgruppe Simulation Infrastructure and HPCam am Institute for Automation of Complex Power Systems der RWTH Aachen und besteht im Wesentlichen aus einem Analog-Digital-Wandler (ADC), einem Raspberry Pi (RPI) und einem GPS-Modul. Dieser Aufbau erlaubt Messungen auf dem Niveau des Analogeingangs des ADCs von +/-10 V. Für einen tatsächlichen Einsatz im Niederspannungsnetz muss der Aufbau um Messwandler, die die Messgrößen für Strom und Spannung auf dieses Niveau anpassen, ergänzt werden. Kommerziell erwerbliche Hardware ist kostenintensiv, daher ist eine kostengünstige Hardware zur Spannungs- und Strommessung entwickelt worden. Die Anpassung der Spannungswerte erfolgt mit einer Kombination aus Transformator und Spannungsteiler. Bei der Strommessung muss neben der Höhe des Signals zusätzlich die Signalform angepasst werden, da der ADC nur Spannungssignale verarbeiten kann. Über einen Kabelumbauwandler wird das Stromsignal transformiert, über Messshunts die Spannung ermittelt und mit Operationsverstärkern angepasst. Der ADC formt das analoge in ein digitales Messsignal um und überträgt es an den RPi, auf dem die weitere Verarbeitung der Signale erfolgt. Die Signalverläufe dürfen durch die Messwandler nicht verändert werden, da ansonsten die Genauigkeit abnimmt.

Software

Die Berechnung des Effektivwertes, des Phasors, der Frequenz und des RoCoF erfolgt mit der Open-Source-Software LOCO-Villas der RWTH Aachen [2]. Die Übermittlung und Verarbeitung der Daten wird

¹ Fachhochschule Bielefeld Institut für Technische Energie-System (ITES) Interaktion 1 33619 Bielefeld, +49.521.106-70981, melina.gurcke@fh-bielefeld.de, fh-bielefeld.de/iium/forschung/agnes

über das GPS-Signal getriggert und ermöglicht eine zeitlich synchrone Messung verschiedener μ PMUs. Anschließend werden die Messgrößen softwaretechnisch auf die ursprünglichen Werte skaliert und über Long Term Evolution (LTE) an einen zentralen Rechner (Broker) verschickt.

Ergebnisse

Die μ PMUs werden am Oszilloskop KEYSIGHT DSOX1204G validiert. Dabei wird zum einen die fehlerfreie Anpassung der Messgrößen über die Messplatinen und zum anderen die Genauigkeit der ausgegebenen Messwerte untersucht.

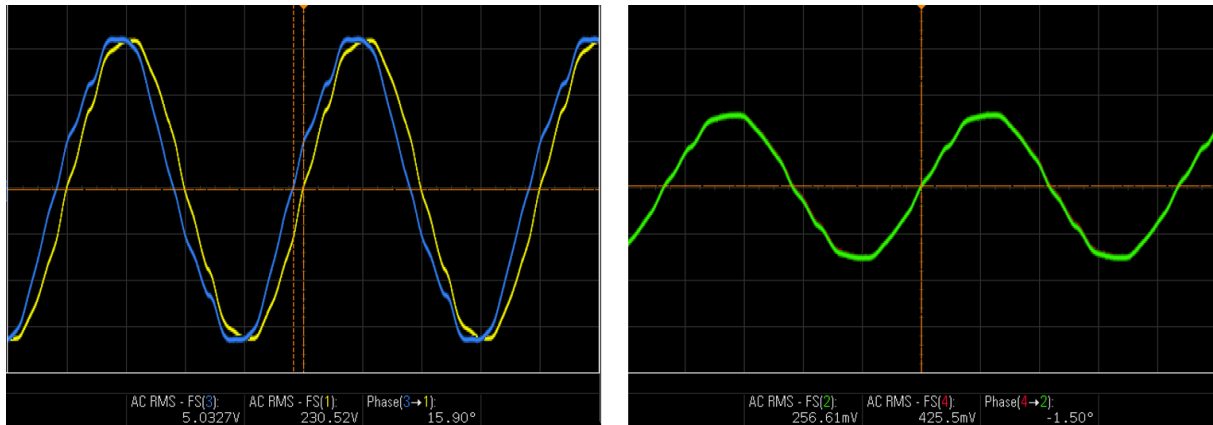


Abbildung 1: links: Netzspannung (gelb) und Spannungsmesskarte (blau)
rechts: Stromzangen Oszilloskop (rot) und Strommessplatine (grün)

Die Wandlermodule verändern die Kurven der Signale nicht wesentlich. Das Stromsignal wird durch das Modul nicht verändert, lediglich in der Phase um $-1,50^\circ$ verschoben. Das Spannungssignal ist durch das Modul um $15,90^\circ$ phasenverschoben. Beim Signalverlauf ist eine leichte Abweichung zu erkennen. Aufgrund des Aufbaus und der Funktionsweise des μ PMU ist die Phasenverschiebung für die Genauigkeit des μ PMU unerheblich.

Abweichung	Spannung	Frequenz	Phasenwinkel
Maximum	0,73 %	0,06 %	4,00 %
Durchschnitt	0,52 %	0,02 %	1,83 %

Die Abweichungen der μ PMU-Messungen liegen im Vergleich zu dem Oszilloskop für den Effektivwert und für die Frequenz in Bereichen von unter einem Prozent. Die Genauigkeitsanalyse der Phasenmessung hat eine durchschnittliche Abweichung von 1,83 % ergeben. Die erfassten Größen weisen im Mittel keine signifikanten Abweichungen auf.

Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wird eine LOCO μ PMU zur Netzüberwachung im Niederspannungsnetz getestet und validiert. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Wandler die Signalverläufe nicht beeinträchtigt werden und mit den μ PMUs im Vergleich zu einem Oszilloskop im Mittel keine signifikanten Abweichungen bei den Messungen auftreten. Mit diesem Konzept und mehreren LOCO- μ PMUs können Netzzustände kostengünstig abgeschätzt werden, und an Steuerungseinheiten gesendet werden, um die Netzsicherheit dauerhaft zu gewährleisten.

Referenzen

- [1] Europäische Kommission, "Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen", Brüssel, Juli 2021
- [2] Angioni, G. Lipari, M. Pau, F. Ponci und A. Monti, „A Low Cost PMU to Monitor Distribution Grids,“ IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 2017.