

NEUE ANSÄTZE FÜR DAS UMFASSENDE PRÜFEN VON PHASENSCHIEBER-TRANSFORMATOREN



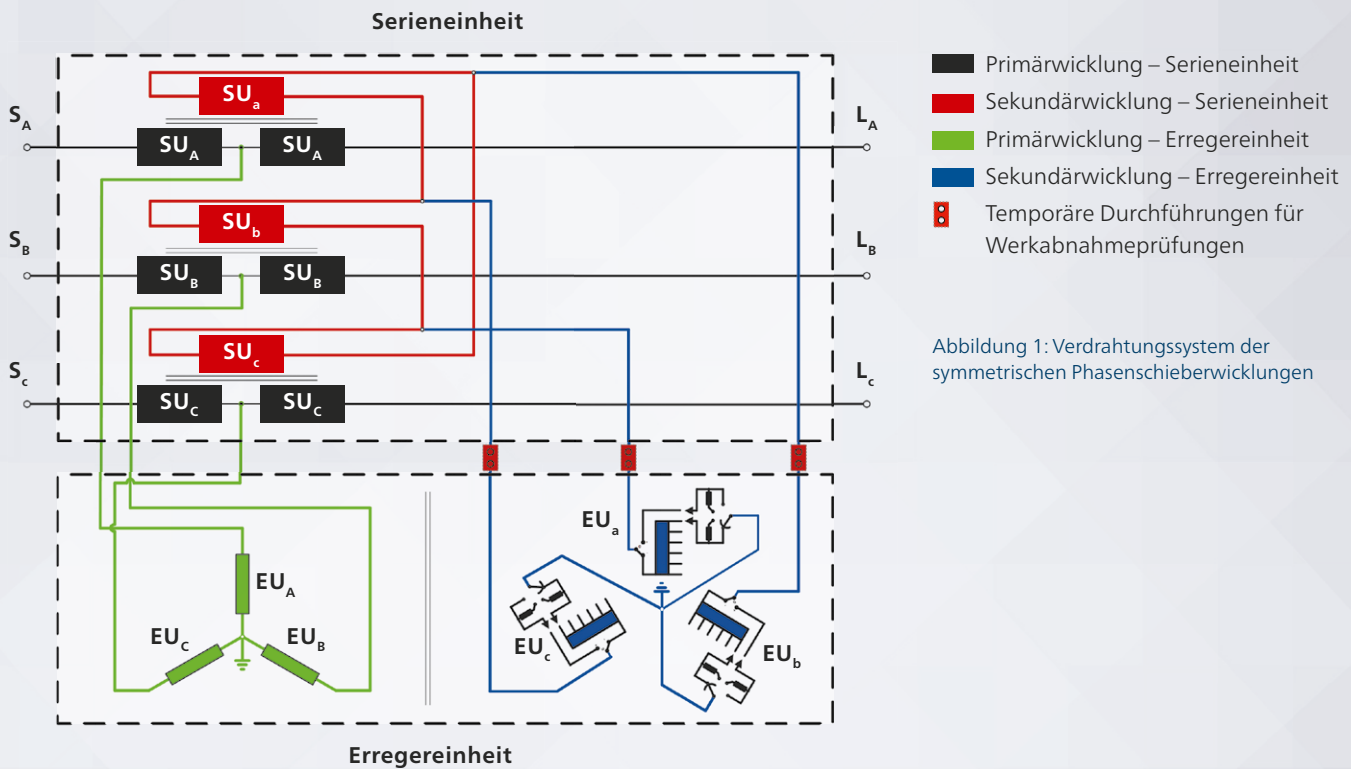
Moderne Stromversorgungssysteme beschränken sich in der Regel nicht auf ein Land oder eine Region, sondern bestehen häufig aus mehreren miteinander verbundenen Netzen über Landesgrenzen hinweg. Diese grenzüberschreitenden Systeme können entweder synchron betrieben werden oder über eine nicht-synchrone Verbindung verfügen. Dies hat den Vorteil, dass sie gegenseitig auf Stromreserven zurückgreifen können, was im Zeitalter der dezentralen Energieerzeugung (Distributes Energy Resources – DER) immer wichtiger wird.

Diesem Vorteil stehen aber auch Nachteile gegenüber wie z. B. ungeplante Ringflüsse, die Einfluss auf die Übertragungskapazität in einem bestimmten Gebiet haben können. Eine Möglichkeit, dieses Phänomen in den Griff zu bekommen, besteht in der Installation von Phasenschiebertransformatoren (PSTs), mit denen der aktive bzw. reaktive Leistungsfluss in synchronen Verbindungen gesteuert werden kann.

Dieser Artikel fokussiert sich auf symmetrische Phasenschiebertransformatoren und erläutert die allgemeine Funktionsweise sowie die zur Verfügung stehenden Prüfmöglichkeiten.

Funktionsweise symmetrischer PSTs

Phasenschiebertransformatoren werden zur Regulierung des Wirkleistungsflusses eingesetzt, indem sie die Phasenverschie-



zung zwischen Last und Quelle positiv oder negativ beeinflussen. Abbildung 1 zeigt dieses Prinzip in Form eines Vektordiagramms, das die Spannung auf Quell- und auf Lastseite darstellt. Die Phasenverschiebung zwischen beiden wird durch Vektoraddition einer zur Außenleiterspannung um 90°-phasenverschobenen Spannung (ΔU) erreicht. Der Betrag von ΔU definiert die Phasenverschiebung zwischen der Quell- und Lastseite. Um dies zu ermöglichen, bestehen PSTs in der Regel aus zwei Transformatoren: einer Serieneinheit und einer Erregereinheit.

Die Serieneinheit (Series Unit – SU) ist das Hauptelement des PST. Deren Primärseite ist in Reihe mit der elektrischen Leitung verbunden, und besteht aus zwei symmetrische Wicklungen zwischen der Quelle (Source – „S“) und der Last (Load – „L“). Die Sekundärwicklung der SU ist in einem Dreieck verbunden, wodurch eine Phasenverschiebung von 90° zur Außenleiterspannung erzielt wird. Die Erregereinheit (Exciting Unit – EU) greift die Spannung zwischen den beiden Primärwicklungen der Serieneinheit ab, um sie mit veränderter Amplitude und Phase an die Sekundärseite der SU zurückzuliefern. Die EU ist dafür sekundärseitig mit einem Laststufenschalter (On-Load Tap Changer – OLTC) ausgestattet, mit dessen Hilfe der Betrag von ΔU und damit der Phasenwinkel zwischen der Quell- und Lastseite geregelt werden kann.

Prüfen von Phasenschiebertransformatoren

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl elektrischer Prüfungen, die typischerweise zu den Standardprüfungen der Serien- und Erregereinheit gehören. Tabelle 1 zeigt nicht alle Prüfungen, die gemacht werden können, sondern enthält nur die Prüfungen, die im Kontext dieses Artikels dazu geeignet sind, das charakteristische Verhalten der PSTs zu verdeutlichen. Diese sind üblicherweise Teil der Werkabnahme- und Vor-Ort-Prüfungen. Bei vor Ort installierten PSTs sind die Anschlusspunkte der Erregereinheit in den meisten Fällen nicht zugänglich. Daher können in der Mehrzahl der Fälle bestimmte Prüfungen an der EU nur im Werk durchgeführt werden. ▶

Prüfung	Serieneinheit	Erregereinheit
Spannungsverhältnis	Werkabnahme- / Vor-Ort-Prüfungen	Werkabnahmeprüfungen
Erregerstrom	Werkabnahme- / Vor-Ort-Prüfungen	Werkabnahmeprüfungen
Phasenverschiebung	Werkabnahme- / Vor-Ort-Prüfungen	Werkabnahmeprüfungen
Wicklungswiderstand	Werkabnahme- / Vor-Ort-Prüfungen	Werkabnahmeprüfungen
Dynamischer Wicklungswiderstand (OLTC Scan)	Werkabnahme- / Vor-Ort-Prüfungen	Werkabnahmeprüfungen

Tabelle 1: Elektrische PST-Prüfungen für werkseitige Abnahme- und Vor-Ort-Prüfungen

Prüfen der Serieneinheit

Ähnlich wie beim Messen des Spannungsverhältnisses bei verschiedenen Stufenschalterstellungen eines üblichen Netztransformators ist es ebenso bei einem PST wichtig, die spezifizierten Phasenverschiebungen zwischen der Quell- und Lastseite zu prüfen. Wir haben unser tragbares, dreiphasiges Prüfsystem für Leistungstransformatoren TESTRANO 600 verwendet, um gleichzeitig die Phasenverschiebung, das Übersetzungsverhältnis und den Erregerstrom für alle drei Phasen zu messen. Die Ergebnisse bestätigen, dass der Betriebsbereich im Leerlauf von $+10^\circ$ bis -10° mit einer Auflösung von $0,87^\circ$ liegt.

Insbesondere bei Inbetriebnahmeprüfungen vor Ort besteht eine große Herausforderung für Prüftechniker darin, die Richtung der gewählten Phasenverschiebung zu bestimmen. Die Prüftechniker müssen wissen, ob der PST den Leistungs-

fluss im entsprechenden Netzabschnitt verstärkt oder hemmt. Dieses Wissen ist Voraussetzung für die Definition der Anschlusspunkte an der Quell- und Lastseite. Durch die dreiphasige Messung lässt sich das Phasenverhältnis der Spannungen und Ströme auf der Quell- und Lastseite bequem in einem Vektordiagramm darstellen. Dies dient dann als Grundlage für die Bestimmung des Zustands der Regelrichtung. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die Ergebnisse an unterschiedlichen Messpunkten.

Die vektorielle Darstellung gibt eindeutig Aufschluss darüber, bei welchen Stufenschalterstellungen die Spannungsvektoren der Quell- und Lastseite voraus- bzw. hinterherlaufen. Dank dieser Visualisierung der Messergebnisse kann auf den zusätzlichen Einsatz eines Oszilloskops verzichtet werden, das die benötigte Messzeit zusätzlich erhöhen würde.

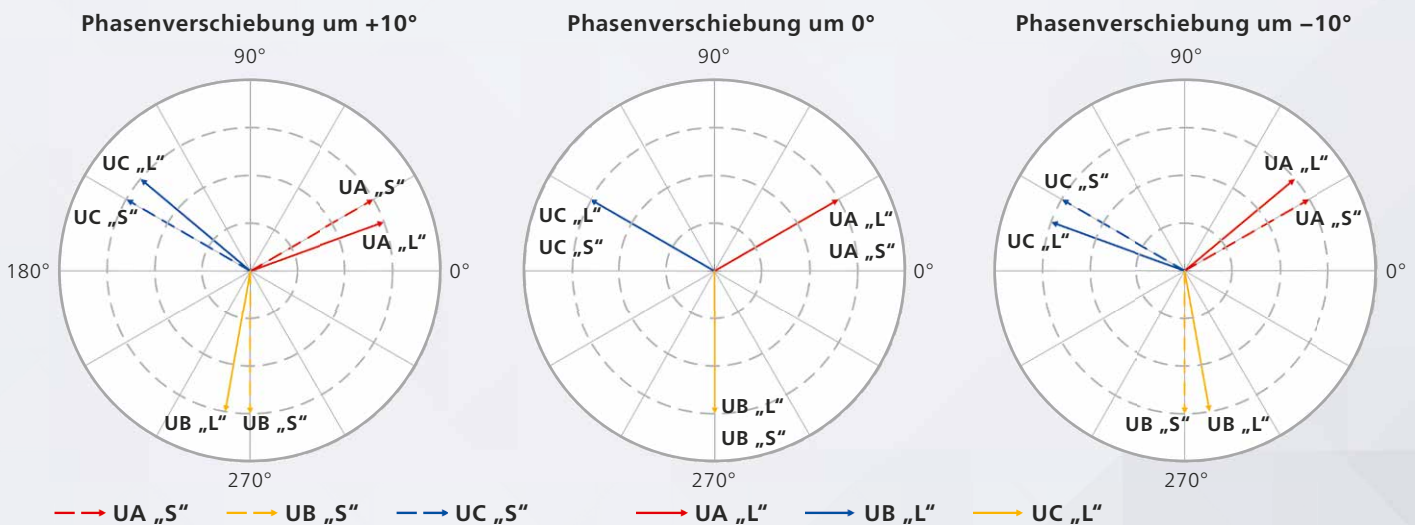


Abbildung 2: Die Ergebnisse der Phasenverschiebungsmessungen zwischen Quelle „S“ und Last „L“ für drei charakteristische Positionen

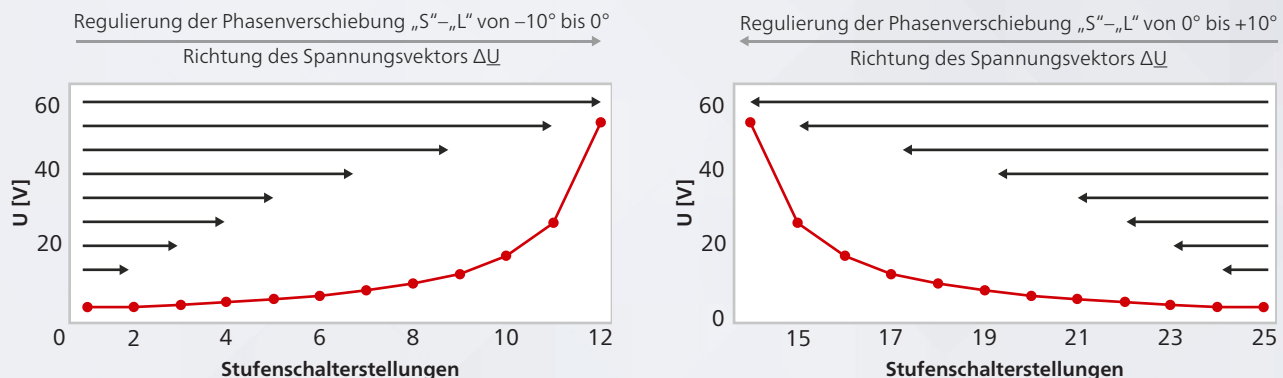


Abbildung 3: Messergebnisse des Spannungswandlers der Erregereinheit als Funktion der OLTC-Position

Prüfen der Erregereinheit

Die zentrale Aufgabe der Erregereinheit ist es, den Betrag von ΔU einzustellen. Um diese Funktionsweise zu demonstrieren, haben wir das Spannungsverhältnis an allen Stufenschalterstellungen der Erregereinheit gemessen. Abbildung 3 zeigt, dass sich die Übersetzung im Bereich von 4,5 bis 54 bewegt. Die Positionen 13A bis 13B dienen dem PST dazu die Polarität der Regelwicklung und damit der Richtung der Phasenverschiebung zwischen der Quell- und Lastseite umzuschalten.

Fazit

Phasenschiebertransformatoren (PSTs) sind ein wichtiger Bestandteil moderner Stromversorgungssysteme. Angesichts der sich verändernden Erzeugungsstruktur werden sie wohl auch künftig eine Schlüsselrolle für die Gewähr-

leistung der Zuverlässigkeit von Stromnetzen spielen. Da PSTs in der Regel an kritischen Knotenpunkten im Netz installiert werden, ist es wichtig, die geplanten Wartungsmaßnahmen in möglichst kurzer Zeit zu erledigen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der Einsatz eines dreiphasigen Prüfsystems eine sehr schnelle und effiziente Möglichkeit darstellt, die Betriebsparameter eines PST bei der Inbetriebnahme und bei der Wartung vor Ort in Augenschein zu nehmen.

Anhand des Beispiels eines symmetrischen PST konnte man sehen, dass die vorgestellten Verfahren geeignet sind, um das Funktionsprinzip von Serien- und Erregereinheit im Rahmen der Werksabnahmeprüfung zu verifizieren. Dieselbe Vorgehensweise kann analog für asymmetrischen PST angewandt werden. ■

»Da PSTs in der Regel an kritischen Knotenpunkten im Netz installiert werden, ist es wichtig, die geplanten Wartungsmaßnahmen in möglichst kurzer Zeit zu erledigen.«

