

Resonanzen in Teilen des Netzes verursachen. So sind in der Praxis mehrfach Schäden an Kompensationsanlagen oder Unverträglichkeiten in der Netzspannung entstanden. Häufiger kommt es vor, dass in solchen Fällen die Überstromsicherungen in der Kompensationsanlage ansprechen. Der Sicherungsausfall in der Blindstromkompensation wird dann oft erst bei speziellen Prüfungen entdeckt. Er hatte dann bis zur Feststellung des Sachverhalts einen Teil der Kompensation unwirksam gemacht.

Resonanzen im Zusammenhang mit Kompensationsanlagen werden durch sachgerechte Planung vermieden. Als Grundlage für die Planung werden die frequenzabhängige Netzimpedanz sowie die Störgrößen im Laststrom und in der Netzspannung gemessen. Auf der Grundlage der Messergebnisse werden dann verdrosselte Kompensationsanlagen errichtet, wobei der Verdrosselungsgrad der Netzsituation angepasst werden muss. Im Normalfall werden 7 % der Kapazität verdrosselt, indem Induktivitäten mit der entsprechenden Größe in Reihe zu den Kondensatoren geschaltet werden. Die Resonanzfrequenz  $f_r$  einer zu 7 % verdrosselten Kompensation liegt bei 189 Hz

$$f_r = \frac{50}{\sqrt{p}}, \text{ mit } f_r \text{ Resonanzfrequenz der verdrosselten Kompensation.}$$

Mit einer Verdrosselung von  $p = 7\%$  sollen insbesondere Resonanzen mit der 5. Oberschwingung (250 Hz) vermieden werden. Der Verdrosselungsgrad einer Kompensationsanlage wird auf dem Leistungsschild der Kompensation mit dem Buchstaben  $p$  gekennzeichnet.

In speziellen Fällen kann für die Blindstromkompensation auch eine Kompensation von kapazitiven Wirkungen im Netz erforderlich sein. In diesem Fall wird die Kompensation mit Drosselspulen aufgebaut.

### 6.3.2 Verfahren für die Messung der Netzimpedanz

Für die Messung der Netzimpedanz  $Z_i$  werden in der Praxis drei unterschiedliche Verfahren angewendet:

1. die Messung der Netzimpedanz in Endstromkreisen,
2. die Messung der Netzimpedanz in Hauptstromkreisen von Verteilungsnetzen,
3. die Messung der frequenzabhängigen Netzimpedanz in Stromversorgungsnetzen.

Die Messung der **Netzimpedanz in Endstromkreisen** ist vergleichbar mit der Schleifenimpedanzmessung  $Z_S$  für den Fehlerschutz (siehe Abschnitt 6.4). Im Unterschied zur Schleifenimpedanzmessung wird jedoch die Netzimpedanz zwischen

den aktiven Leitern (L1 bis L3 und N) und nicht wie bei Schleifenimpedanzmessung zwischen Außen- und Schutzleiter gemessen. Ziel dieser Messung ist es, die aktiven Stromkreise auf Korrektheit (Niederohmigkeit) der Klemmstellen und die Bedingungen für den Spannungsfall im Endstromkreis zu überprüfen. Die Messung wird mit kombinierten VDE-Prüfgeräten durchgeführt. Beispiele für geeignete Messgeräte zeigt das Bild 6.12. Für die Netzimpedanzmessung muss am Messgerät die entsprechende Messfunktion verfügbar sein, meist als „ $Z_i$ “ wählbar. Bei der Wahl dieser Messoption wird z. B. an einer Steckdose die Impedanz zwischen L und N gemessen. Im Ergebnis der Messung wird die Größe der Netzimpedanz und zumeist auch der Kurzschlussstrom an diesem Netzpunkt gesucht.

Die **Netzimpedanz in den Hauptstromkreisen** einer elektrischen Anlage wird weniger häufig gemessen. Die Größe der Netzimpedanz in den Hauptstromkreisen wird im Rahmen der Planung für die Kurzschlussstromberechnung und für die Wahl der Überstromschutzeinrichtungen benötigt. Die Netzimpedanz wird auch zur Abschätzung der Spannungsfälle verwendet. Die Kurzschlussstromberechnung erfolgt in der Praxis nach den Vorgaben und Rechenverfahren der DIN VDE 0102 [3.16].

Die Messung der Netzimpedanz in den Hauptstromkreisen erfordert den Einsatz spezieller, hochauflösender Messtechnik mit entsprechend hohen Messströmen. Die im Bild 6.12 dargestellten Messgeräte sind für die Netzimpedanzmessung in Hauptstromkreisen nicht geeignet. Für ein gesichertes Messergebnis reichen bei diesen Messgeräten weder die Größe der Messströme noch die Auflösung der Messwerte aus. Für die Messung der Netzimpedanzen in Hauptstromkreisen von Verteilungsnetzen gibt es auf dem Markt nur sehr wenig Messgeräte. Ein verfügbares Gerät zeigt das **Bild 6.5**. Das Messgerät der polnischen Fa. Sonel arbeitet bei einer Messung zwischen L und N mit der Netzspannung 230 V und bei einer Messung zwischen Außenleitern mit der Spannung 400 V. Dabei wird mit Messströmen bis 280 A gearbeitet. Mit Anwendung der Vierpoltechnik werden die Widerstände der Messleitungen kompensiert und eine vertretbare Messgenauigkeit erzielt. Das Messgerät verfügt aber auch über ein Messprogramm mit Kleinspannung. Dabei arbeitet das Messgerät mit Prüfströmen bis 42 A.

Das Schleifenimpedanzmessgerät MZC-310S misst die Kurzschluss Schleifenimpedanz  $Z_S$  mit deren Wirk- und Blindanteilen als  $R_K$  und  $X_K$ , den Phasenwinkel, die Berührungsspannung, die Netzspannung  $U_{LN}$  und die Frequenz der Netzspannung. Die Schleifenimpedanz wird bis auf 0,1 m $\Omega$  aufgelöst. Das Gerät errechnet aus der Impedanzmessung den zu erwartenden Kurzschlussstrom und kann diesen als errechneten Wert anzeigen.

Die vom Schleifenimpedanzmessgerät erzeugten Messwerte sind für die Verifizierung von Ergebnissen einer Kurzschlussstromberechnung geeignet. Die Messwerte stellen aber nur eine Momentaufnahme (max. 280 A) der Netzimpedanz zum Zeitpunkt der Messung dar. Die Impedanzen bei anderen Schaltzuständen im Netz werden bei dieser Momentaufnahme nicht berücksichtigt.



**Bild 6.5** Schleifenimpedanzmessgerät MZC-310S, Fa. Sonel, für die genauere Messung von Netzimpedanzen

Die **Messung der frequenzabhängigen Netzimpedanz** ist eine hocheffektive Methode für die Untersuchung von Problemen mit Netzzrückwirkungen. Wie bereits in den Abschnitten 6.1 und 6.3.1 beschrieben, können beim Zusammentreffen von speziellen Frequenzanteilen im Laststrom oder in der Netzspannung mit der Resonanzfrequenz  $f_r$  durch die Impedanz des Versorgungsnetzes oder Teilen davon erhebliche Netzzrückwirkungen entstehen. Zu starke Netzzrückwirkungen beeinträchtigen die Verträglichkeit der Versorgungsspannung und können zu deren Unverträglichkeit führen.

In der Praxis wird meistens nicht bedacht, dass die Frequenzabhängigkeit der Netzimpedanz unter anderem auch vom Schaltzustand der elektrischen Anlage abhängig ist. Bei auftretenden Problemen wundert sich dann der Betreiber, dass bestimmte Probleme nur zeitweise oder zu bestimmten Tageszeiten auftreten. Hilfe in solchen Fällen kann eine Langzeitmessung sein, bei der die Netzimpedanz in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen und aufgezeichnet wird. Dem Verfasser ist derzeit nur ein Messgerät bekannt, mit der eine solche Messaufgabe gelöst werden kann. Das ist das Netzimpedanzmessgerät vom Typ EWS 120 der Fa. Haag, Elektronische Messgeräte GmbH. Im **Bild 6.6** ist ein Messplatz an einer elektrischen Anlage zur Messung der frequenzabhängigen Netzimpedanz mit einem Netzimpedanzmessgerät

