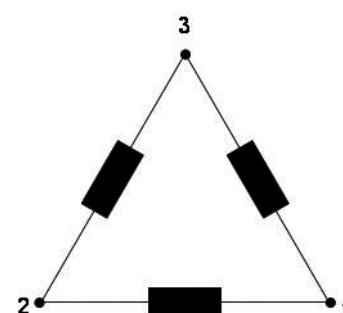


**Automatisierte Wicklungsprüfung an Drehstromaggregaten**

# Am geschlossenen Motor die Wicklung prüfen

Während bisher die Prüfung der einzelnen Wicklungen von Drehstromaggregaten auf Windungsschluss nur durch Öffnen des Aggregats und Eingriff in die Verdrahtung möglich war, erlaubt das hier beschriebene Verfahren die Einzelwiderstände in einer Stern- oder Dreieckschaltung zu bestimmen, ohne die Schaltung auftrennen zu müssen. Das Verfahren nutzt eine computergesteuerte Relaischaltung, mit deren Hilfe in geeigneter Weise Kurzschlussverbindungen gelegt werden, die zu vereinfachten Widerstandsnetzwerken führen. Deren Gesamtwiderstand wird gemessen. Mit einer Messdatenverarbeitungssoftware werden daraus die einzelnen Schaltungswiderstände ermittelt.



Dreieck- oder Deltaschaltung.

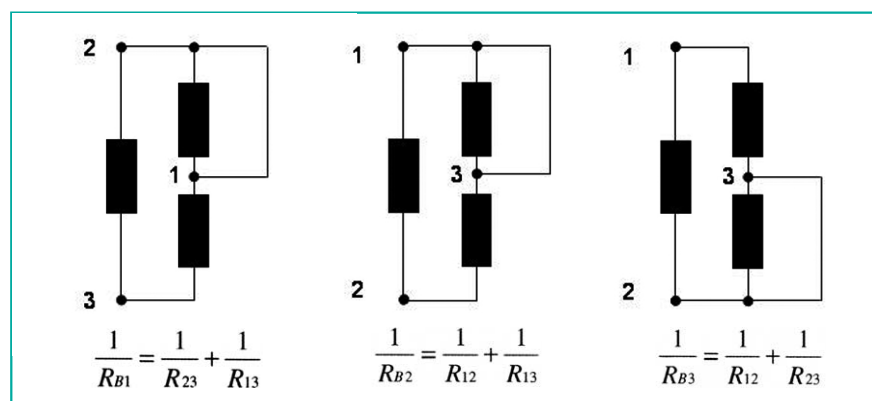
Bei einer Vielzahl von Drehstromaggregaten wie Transformatoren, Schweissgeräten, Nachtspeicheröfen, Durchlaufheizern, Elektroherden, Elektrizitätszählern und Motoren ist die Art der Beschaltung vom Hersteller festgelegt. Sie kann nicht geändert werden. Wird der Mittelpunkt der Sternschaltung nicht auf das Klemmenbrett geführt, sind die Klemmenbretter für Stern- und Dreieckschaltung identisch. Die Schaltungsart ist auf dem Typenschild und auf dem Klemmenbrett angegeben. In diesen Fällen ist eine Prüfung der einzelnen Wicklungen auf Windungsschluss bisher nur durch Öffnen des Drehstromaggregats und Eingriff in die Verdrahtung möglich. Die drei Wicklungswiderstände lassen sich jedoch auch ohne Eingriff in das Drehstromaggregat ermitteln, unabhängig davon, ob die Wicklungen im Stern oder im Dreieck liegen. Das Verfahren ist auch unabhängig davon, ob auf den Mittel-

punkt der Sternschaltung zugegriffen werden kann. Zu diesem Zweck werden in geschickter Weise Wicklungen nacheinander kurzgeschlossen. Hierdurch entstehen vereinfachte Teilnetzwerke, die eine präzise Ermittlung der Einzelwiderstände ermöglichen. Zugleich kommt die Messung mit einem einzigen Ohmmeter aus, das über einen Multiplexer nur zweimal umgeschaltet werden muss.

### Widerstandsbestimmung in einer Dreieckschaltung

In einem Drehstromaggregat befinden sich drei Wicklungen, deren

Anfänge U<sub>1</sub>, V<sub>1</sub> und W<sub>1</sub> nach außen auf ein Klemmenbrett geführt werden. An die Anfänge werden die Phasenleiter L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> und L<sub>3</sub> angeschlossen. Je nachdem, wie die Enden der Wicklungen verbunden werden, erhält man zwei unterschiedliche Wicklungsschaltungen. Verbindet man das Ende U<sub>2</sub> der ersten Wicklung mit dem Anfang V<sub>1</sub> der zweiten, das Ende V<sub>2</sub> der zweiten mit dem Anfang W<sub>1</sub> der dritten und das Ende W<sub>2</sub> der dritten mit dem Anfang U<sub>1</sub> der ersten Wicklung, so entsteht eine als Dreieck oder Delta bezeichnete Schaltung. Durch das Anlegen von Kurz-



Tab. 1: Dreieckschaltung mit Kurzschlussbrücke über eine Wicklung eines Drehstromaggregats mit der entsprechenden Formel zur Ermittlung des Gesamtleitwerts.

#### Autoren

Dipl.-Ing. Frauke Bähnck und Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich Ernst Wagner, Institut für Mechatronik der FH Kiel, Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik

$R_{13} = \frac{2}{\left(\frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{R_{B1}} - \frac{1}{R_{B3}}\right)}$	$R_{23} = \frac{R_{13}R_{B1}}{R_{13} - R_{B1}}$	$R_{12} = \frac{R_{13}R_{B2}}{R_{13} - R_{B2}}$
--	---	---

Tab. 2: Gleichungen zur Ermittlung der Widerstände der in einem Dreieck geschalteten Wicklungen eines Drehstromaggregats.

schlussbrücken lassen sich die Widerstände der Teilnetzwerke ermitteln. Die Wirkung von Kurzschlussbrücken, für deren Zu- und Abschaltung insgesamt drei Relais erforderlich sind, wird in *Tabelle 1* gezeigt. Legt man beispielsweise eine Kurzschlussbrücke über die von 1 nach 2 führende Wicklung, dann misst das an die beiden Stellen 2 und 3 angeschlossene Ohmmeter den Gesamtwiderstand RB1 der aus den Widerständen R13 und R23 gebildeten Parallelschaltung. Der Gesamtleitwert dieser Parallelschaltung lautet

$$\frac{1}{R_{B1}} = \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{13}}$$

woraus sich der Gesamtwiderstand RB1 als vom Ohmmeter angezeigter Messwert ergibt, der mit den noch zu bestimmenden Widerständen der Wicklungen in folgendem Zusammenhang steht

$$R_{B1} = \frac{R_{23}R_{13}}{R_{23} + R_{13}}$$

Durch entsprechendes Legen von Kurzschlussbrücken gemäss *Tabelle 1* und Anschliessen des Ohmmeters werden die Gesamtwiderstände RB2 und RB3 gemessen.

Damit sind drei Widerstandswerte der Dreieckschaltung durch Messung bekannt. Diese drei Messwerte stehen in direktem Zusammenhang mit den Widerstandswerten der drei Wicklungen des Drehstromaggregats. Eine geschickte Verknüpfung der in *Tabelle 1* aufgeführten drei Gleichungen führt zu den Bestim-

mungsgleichungen für die Einzelwiderstände. Diese sind in *Tabelle 2* zusammengestellt.

### Widerstandsbestimmung in einer Sternschaltung

Verbindet man die Enden U2, V2 und W2 der drei Wicklungen miteinander, so entsteht eine als Stern oder Y bezeichnete Schaltung mit einem sogenannten Stern-, Null- oder Mittelpunkt. Dieser kann wie die Wicklungsanfänge nach aussen auf das Klemmenbrett zum Anschluss eines Nullleiters geführt werden.

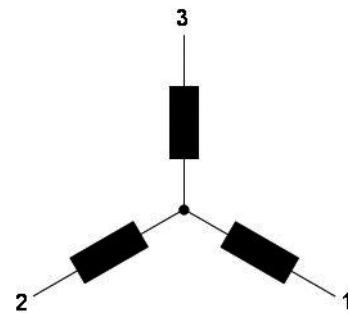
Wie bei der Dreieckschaltung ermöglicht das Kurzschliessen einer Wicklung auch bei der Sternschaltung die Ermittlung der drei Wicklungswiderstände ohne Eingriff in das Drehstromaggregat. Dies gelingt, ohne auf den Sternpunkt der Schaltung zugreifen zu müssen. Drei Messungen gemäss *Tabelle 3* sind vorzunehmen. Misst man den Widerstand zwischen den Anschlüssen 1 und 2, so erhält man den Gesamtwiderstand RM12 aus der Reihenschaltung der Wicklungen R10 und R20.

$$R_{M12} = R_{10} + R_{20}$$

Misst man den Widerstand zwischen den Anschlüssen 2 und 3, so erhält man den Gesamtwiderstand RM23 aus der Reihenschaltung der Wicklungen R20 und R30.

$$R_{M23} = R_{20} + R_{30}$$

Verbindet man die Anschlüsse 2 und 3 miteinander (Kurzschlussbrü-



Stern- oder Y-Schaltung.

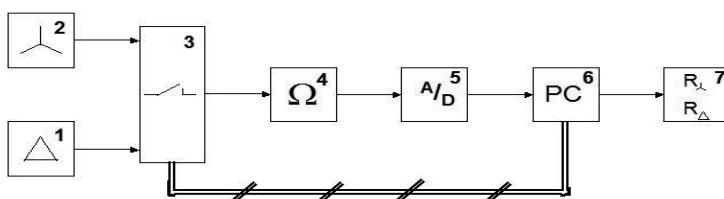
cke), so entsteht eine Parallelschaltung der Wicklungen 2-0 und 3-0, die in Reihe zur Wicklung 1-0 liegt. Misst man in dieser Anordnung den Widerstand zwischen den Anschlüssen 1 und 2, so erhält man als Messwert den Gesamtwiderstand

$$R_B = R_{10} + \frac{R_{20}R_{30}}{R_{20} + R_{30}}$$

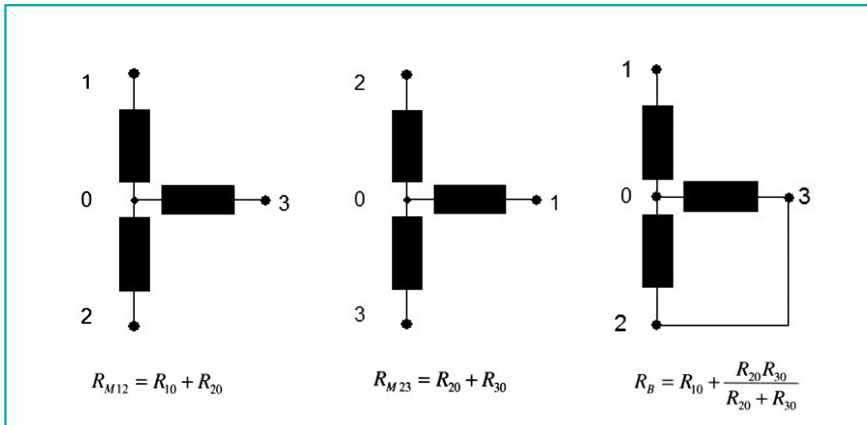
Damit sind drei Widerstandswerte der Sternschaltung durch Messung bekannt. Diese drei Messwerte stehen in direktem Zusammenhang mit den Widerstandswerten der drei Wicklungen des Drehstromaggregats. Eine geschickte Verknüpfung der in *Tabelle 3* aufgeführten drei Gleichungen führt zu den Bestimmungsgleichungen für die Einzelwiderstände. Diese sind in *Tabelle 4* zusammengestellt.

### Durchführung der Messung

Die Bestimmung der Wicklungswiderstände des in Stern oder Dreieck geschalteten Drehstromaggregates soll selbsttätig unter Nutzung der Messwertaufzeichnungs- und Messwertverarbeitungssoftware DIAdem® von National Instruments erfolgen. Mittels dieses Softwaretools wurde ein Programm für die Steuerung des Messablaufs sowie für die Messauswertung geschrieben. Für die Durchführung der Messungen wurde eine Relaischaltung entwickelt, die zwei Aufgaben hat. Als Kurzschlusschalter erzeugt sie, wie aus den *Tabellen 1* und *3* zu sehen ist, verschiedene Kurzschlussverbindungen. Als Messstellenumschalter verbindet sie die entsprechenden Wicklungen mit dem Ohmmeter. Die Taktung der Relais wird von ei-



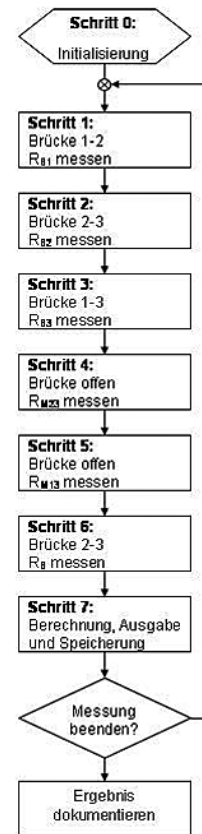
Struktur der Messschaltung: 1 = Dreieckschaltung; 2 = Sternschaltung; 3 = Relais-Schaltung; 4 = Ohmmeter; 5 = Analog-/Digitalwandler; 6 = Messdatenverarbeitungs-PC; 7 = Display.



**Tab. 3: Sternschaltung mit Kurzschlussbrücke über zwei Windungen des Drehstromaggregats und die Formeln zur Ermittlung des Gesamtwiderstands.**

nem PC vorgenommen. Bei Vorliegen einer Dreieckschaltung werden mit dem Ohmmeter die in *Tabelle 1* aufgeführten Gesamtwiderstände  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  und  $R_{B3}$  gemessen. Die Messwerte werden über einen A/D-Wandler einem PC zugeführt, der gemäss *Tabelle 2* mit Hilfe dieser Messwerte die Wicklungswiderstände der Dreieckschaltung berechnet und auf dem Display anzeigt. In gleicher Weise werden bei Vorliegen einer Sternschaltung mit dem Ohmmeter die in *Tabelle 3* aufgeführten Gesamtwiderstände  $R_B$ ,  $R_{M12}$  und  $R_{M23}$  gemessen. Die Messwerte werden über einen A/D-Wandler einem PC zugeführt, der gemäss *Tabelle 4* mit Hilfe dieser Messwerte

die Wicklungswiderstände der Sternschaltung berechnet und auf dem Display anzeigt. Der Signalverarbeitung liegt ein entsprechender Programmablauf zugrunde, der mehrere aufeinander folgende Schritte enthält. Diese führen von der Initialisierung der Schnittstellen und der Eingabemaske über drei Brückenbildungen bei Vorliegen einer Dreieckschaltung beziehungsweise eine Brückenbildung bei Vorliegen einer Sternschaltung zur Ermittlung und Ausgabe der Widerstandswerte. Das Messergebnis wird auf dem Display angezeigt. In der rechten Spalte des Displays werden der jeweilige Schritt im Programmablauf,

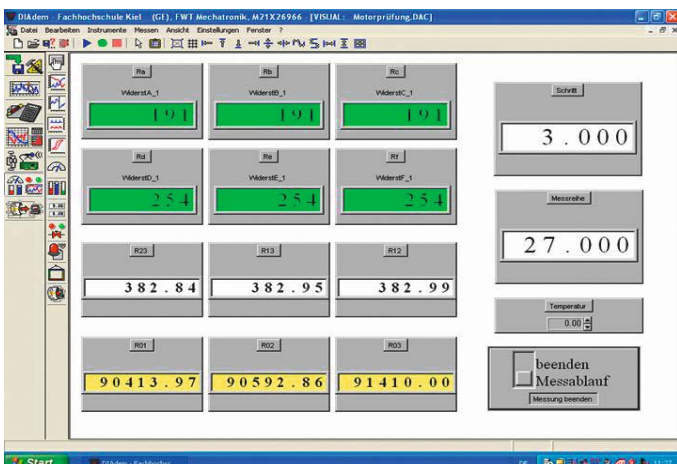


**Programmablauf zur Ermittlung der Wicklungswiderstände eines Drehstromaggregats in Stern- und Dreieckschaltungen.**

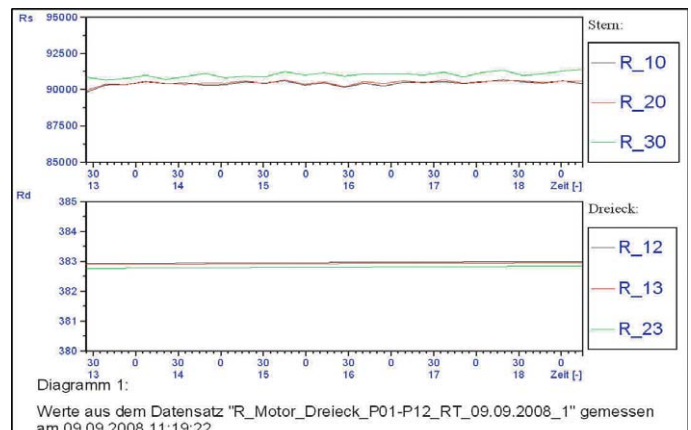
hier Schritt 3, sowie die Anzahl der Messwiederholungen, hier 27, angezeigt. Um die Präzision der Messung zu erhöhen, wird der Messablauf mehrfach wiederholt und der Mittelwert aus den Messungen gebildet, der auf dem Display zur Anzeige gebracht wird.

$$R_{10} = R_{M12} - \sqrt{R_{M23}(R_{M12} - R_B)} \quad R_{20} = \sqrt{R_{M23}(R_{M12} - R_B)} \quad R_{30} = R_{M23} - \sqrt{R_{M23}(R_{M12} - R_B)}$$

**Tab. 4: Gleichungen zur Ermittlung der Widerstände der in einem Stern geschalteten Wicklungen.**

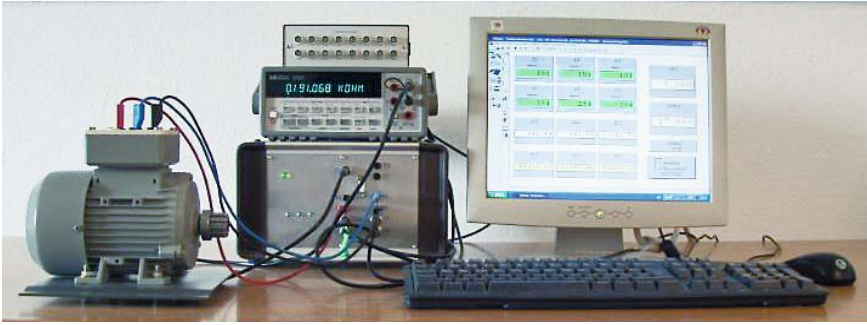


**Display mit den Auswertungen der Widerstandsmessungen.**



**Diagramm 1: Werte aus dem Datensatz "R\_Motor\_Dreieck\_P01-P12\_RT\_09.09.2008\_1" gemessen am 09.09.2008 11:19:22**

**Grafische Darstellung der Ergebnisse der Messwiederholungen bei einem Drehstrommotor mit Dreieckschaltung.**



Messanordnung zur Messung der Wicklungswiderstände eines Drehstrommotors.

In den beiden oberen Reihen der drei links auf dem Display befindlichen Blockdarstellungen werden die Messwerte angezeigt, aus denen die Wicklungswiderstände unter Nutzung der Bestimmungsgleichungen der *Tabellen 2* und *4* berechnet werden. Bei Vorliegen einer Dreieckschaltung erscheinen die berechneten Widerstandswerte der Wicklungen in der dritten Reihe des Displays. Im hier beschriebenen Beispiel betragen die Wicklungswiderstände  $382\Omega$ .

Bei Vorliegen einer Stern-Schaltung erscheinen die berechneten Wider-

standswerte der Wicklungen in der vierten Reihe des Displays. Im hier beschriebenen Beispiel ergeben sich sehr hohe Widerstandswerte, da keine Sternschaltung vorliegt. Die dennoch angezeigten Werte entsprechen dem Isolationswiderstand. Anstelle einer numerischen Ausgabe der Widerstandswerte können diese auch als Grafik ausgegeben werden. Um sowohl die Ergebnisse einer Stern-, als auch einer Dreieckschaltung in einem Diagramm darstellen zu können, sind im oberen Teil die Widerstandswerte  $R_S$  bei Vorliegen einer Sternschaltung in

Abhängigkeit von der Zeit dargestellt, in der die Messungen wiederholt wurden. Im unteren Teil von sind die Widerstandswerte  $R_D$  bei Vorliegen einer Dreieckschaltung dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Ergebnisse der Messwiederholungen für die Sternwiderstände etwas schwanken, weil keine im Stern liegenden Wicklungswiderstände vorhanden sind. Die Ergebnisse für die Messwiederholungen der im Dreieck liegenden Widerstände des Drehstrommotors sind erwartungsgemäss konstant. (mg)

## Infos

National Instruments Switzerland Corp.  
5408 Ennetbaden  
056 200 51 51  
ni.switzerland@ni.com  
www.ni.com/switzerland

Fachhochschule Kiel  
D-24149 Kiel  
+49 431 210-0  
info fh-kiel.de  
www.fh-kiel.de