

Was versteht man unter...

Wicklung

Elektromagnetisch aktives Bauteil in ruhenden oder drehenden elektrischen Maschinen, z. B. Transformatoren, Drosseln, Motoren und Generatoren, zum Zweck der Aufnahme einer Spannungsinduktion. Wicklungen (engl. windings) befinden sich auch in anderen elektrischen Betriebsmitteln, in denen die zur Energieumwandlung erforderliche elektrische Spannung induziert (Ankerwicklung) oder das zum Energieumsatz notwendige magnetische Feld erzeugt wird (Erreger- oder Feldwicklung).

Allgemeines

Wicklungen werden von Spulen gebildet. Die einzelne Leiterschleife einer Wicklung heißt **Windung** (engl. turn of the helix formed). Wicklungen bestehen mithin aus der Gesamtheit der meist konzentrisch angeordneten, in Reihe geschalteten Windungen. Alle Windungen werden wegen der Reihenschaltung vom selben Strom durchflossen.

Der Ausfall einer Windung infolge defekter Isolierung heißt **Windungsschluss**. Eine fehlerhafte Verbindung zwischen zwei oder mehreren Wicklungen ist hingegen ein **Wicklungsschluss**.

Bei Transformatoren und anderen elektrischen Maschinen werden Wicklungen hinsichtlich der Höhe ihrer Nenn- bzw. Bemessungsspannung wie folgt unterschieden:

- **Oberspannungswicklung** ist die Wicklung mit der höchsten Spannung;
- **Unterspannungswicklung** ist die Wicklung mit der niedrigsten Spannung;
- **Mittelspannungswicklung** ist diejenige Wicklung, deren Spannung zwischen der höchsten und der niedrigsten Spannung liegt.

Darüber hinaus werden Wicklungen nach der Energieflussrichtung unterschieden:

- **Eingangswicklung** (Primärwicklung) ist die elektrische Energie aufnehmende Wicklung;
- **Ausgangswicklung** (Sekundärwicklung) ist die elektrische Energie abgebende Wicklung.

Beide Wicklungen können sowohl Oberspannungs- als auch Unterspannungswicklung sein. Die Sekundärseite ist immer die „Reaktionsseite“.

Ausführung

Als Leiterwerkstoff für Wicklungen dient im Hinblick auf niedrige Verluste vorzugs-

weise Kupfer. Bei Verwendung von Aluminium nimmt wegen dessen geringerer elektrischer Leitfähigkeit die Baugröße zu. Wickeldrähte haben meist einen kreisrunden oder rechteckigen Querschnitt. Sie können isoliert – mit Isolierlack als *Lackdrähte* – oder blank sein.

Zweidrähtige Wicklungen mit ungleichem Wickelsinn heißen **bifilare Wicklungen** (engl. bifilar windings). Bei diesen Wicklungen hat der Wickeldraht eine veränderte Umlaufrichtung, um die Induktivität klein zu halten. Der Wickeldraht wird vor dem Wickeln geknickt, zusammengelegt und von der Knickstelle aus dicht nebeneinander auf den meist zylinderförmigen Wicklungsträger, z. B. ein Kunststoffrohr, aufgewickelt, s. Bild 1. Dadurch entsteht kein magnetischer Fluss in Längsrichtung des Spulenkörpers (nur geringfügig zwischen den Leitern); mithin ist auch die Induktivität verhältnismäßig klein.

Bifilare Wicklungen werden vorzugsweise zur Herstellung induktionsarmer Drahtwiderstände verwendet.

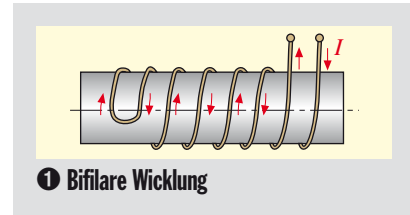
Prüfplatz

Räumlich begrenzte Prüfanlage zur bestimmungsgemäßen Durchführung wiederkehrender elektrischer Prüfungen (Routineprüfungen), vorwiegend im Fertigungsfluss einer Serienfabrikation mit gleichartigen Prüfvorgängen oder in Reparaturbetrieben (Reparaturplätze).

Berührungsschutz

Prüfplätze (engl. test places) sollen bei Spannungen über AC 25 V/DC 60 V vorzugsweise **mit zwangsläufigem Berührungsschutz** (Mindestschutzart IP3X oder IPXXC) errichtet werden. Dabei bedeutet „zwangsläufig“, dass nur bei wirksamer Schutzeinrichtung, z. B. bei geschlossener Abdeckung oder geschlossener Tür des Prüfplatzes, der Prüfstromkreis eingeschaltet und damit Spannung an die aktiven Teile der Prüfeinrichtung gegeben werden kann.

Prüfplätze **ohne zwangsläufigen Berührungsschutz** dürfen nur in Ausnahmefällen errichtet werden. Als Ausnahmefälle gelten z. B. Prüfplätze mit häufig wechselnden Prüfaufgaben oder mit unterschiedlichen Prüfobjekten. In diesen Fällen ist zum Schutz gegen elektrischen Schlag mindestens eine der folgenden Maßnahmen – in Niederspannungsan-



lagen zweckmäßig in Verbindung mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD), $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ – anzuwenden:

- Schutz durch isolierende **Abdeckung** (bei Spannungen bis 1000 V);
- Schutz durch ausreichend großen **Sicherheitsabstand** zum Prüfobjekt unter Beachtung der prüfspannungsabhängigen Gefahrenzone;
- **Zweihandschaltung** nach DIN EN 574 (für jeden Prüfenden);
- Verwendung von **zwei Sicherheitsprüfspitzen** zum Anlegen der elektrischen Spannung an das Prüfobjekt. Die Prüfspitzen müssen Einrichtungen haben, mit denen der Bedienende durch Handbetätigung die unter Spannung stehenden Tastspitzen zum Prüfen freigibt (Verschwindungsspitzen) oder die Tastspitzen unter Spannung setzen kann. Feststellvorrichtungen sind hierfür unzulässig.

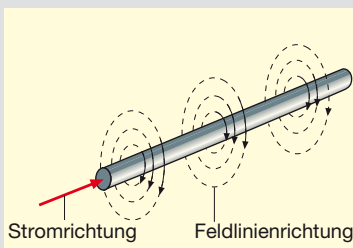
Not-Ausschaltung

Prüfplätze ohne zwangsläufigen Berührungsschutz müssen eine genügend große Anzahl von schnell erreichbaren Betätigungseinrichtungen für Not-Ausschaltung haben.¹⁾ Mindestens eine Betätigungseinrichtung ist außerhalb des Gefahrenbereichs vorzusehen.

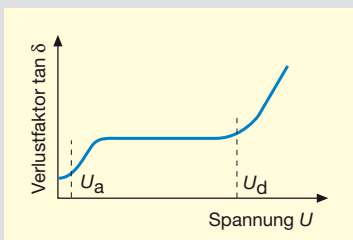
Betätigungseinrichtungen für Not-Ausschaltung müssen grundsätzlich nach dem Ruhestromprinzip arbeiten und alle Stromkreise ausschalten, die elektrische Gefährdungen hervorrufen können. Nicht in die Not-Ausschaltung einzubeziehen sind Stromkreise, z. B. für die Beleuchtung oder Kühlung, durch deren Außerbetriebsetzung womöglich neue Gefahren entstehen können.

Kennzeichnung

Prüfplätze ohne zwangsläufigen Berührungsschutz sind als solche zu kennzeichnen (Warnschilder, rote Signalleuchten). Sofern eine elektrische Gefährdung Außenstehender nicht auf andere Weise verhindert werden kann, z. B. durch eine entsprechende Anordnung oder den zweckmäßigen Aufbau des Prüfplatzes, sind die Prüfplätze mit Gittern, Seilen o. dgl. abzusperren. Außerdem muss der Prüfende ständig sichtbar sein, insbesondere während der Betriebszustände „Einschaltbereit“ und „In Betrieb“, um bei drohender Gefahr sofort handeln und notfalls schnell Erste Hilfe leisten zu können [1].



② Magnetische Feldlinien um einen geraden, Strom führenden Leiter



③ Verlustfaktor $\tan \delta$ einer Feststoffisolierung

U_a Anfangsspannung
 U_d Wärmedurchschlagsspannung

Prüffeld

Elektrische Prüfanlage in einem fest umschlossenen Raum oder innerhalb eines abgegrenzten Bereichs, in dem meist mehrere Personen Prüfungen an vergleichsweise großen Prüfobjekten durchführen.

Ein Prüffeld (engl. test field) kann in einzelne Bereiche aufgeteilt sein, in denen voneinander unabhängige elektrische Prüfungen durchgeführt werden.

Berührungsschutz

Niederspannungs-Prüffelder sind gegenüber der Umgebung abzugrenzen und zwar so, dass wenigstens das zufällige Berühren betriebsmäßig unter Spannung stehender (aktiver) Teile der Prüfeinrichtung und des Prüfobjekts verhindert ist. Der Mindestschutzabstand zwischen der Abgrenzung und den aktiven Teilen sowie die Mindesthöhe der Schutteinrichtung sind in DIN EN 50191 (VDE 0104) [1] festgelegt.

Zugänglichkeit

Hochspannungs-Prüffelder haben besondere Türschlösser, die den Zutritt Unbefugter von außen verhindern. Von innen müssen sich die Türen jederzeit, auch wenn von außen abgeschlossen ist, mit einer einfachen Einrichtung, z. B. einer Klinke, öffnen lassen.

Zugänge zu elektrischen Prüffeldern sind mit dem Schild „Zutritt für Unbefugte verboten“ zu kennzeichnen.

Schrauben-Regel

Regel zur Bestimmung der Richtung der magnetischen Feldlinien um einen geraden, Strom führenden Leiter.

Jeder Strom führende Leiter, auch ein flüssiger oder gasförmiger Leiter, ist von einem Magnetfeld umgeben. Die magnetischen Feldlinien verlaufen bei geradlinigen Leitern immer konzentrisch um den Leiter, s. Bild ②. Die Feldlinienrichtung ist von der jeweiligen Stromrichtung abhängig.

Merkregel: Denkt man sich eine Rechtsschraube in Stromrichtung eines geradlinigen Leiters bewegt, so gibt der (Rechts-)Drehsinn dieser Bewegung die Richtung der konzentrisch um den Leiter verlaufenden magnetischen Feldlinien an.

Das durch den elektrischen Leiter in einem bestimmten Punkt hervorgerufene Magnetfeld ist umso kleiner, je größer der Abstand des betreffenden Punktes zu dem elektrischen Leiter ist. Es gilt die Gesetzmäßigkeit:

Die Stärke des Magnetfelds verhält sich proportional zum elektrischen Strom und umgekehrt proportional zum jeweiligen Leiterradius.

Mitunter wird die Schrauben-Regel auch **Korkenzieher-Regel** genannt, denn Korkenzieher werden zum Öffnen von Flaschen ebenfalls im Uhrzeigersinn in den Korken hineingedreht.

Wärmedurchschlagsspannung

Effektivwert einer sinusförmigen Wechselspannung, bei dem eine Feststoffisolierung infolge örtlicher, starker Erhitzung des Isolierstoffs nach sehr langer Wirkdauer gerade noch durchschlägt.

Ermittlung

Die Höhe der Wärmedurchschlagsspannung U_d ist wesentlich von der Dicke und dem Zustand der betreffenden Isolierung (Dielektrikum) abhängig. Mit dem elektrischen Durchschlag bricht augenblicklich die Spannung zusammen und der feste Isolierstoff verliert auf Dauer seine dielektrische Festigkeit.

Der genaue Wert der Wärmedurchschlagsspannung kann wegen der im Zuge seiner Ermittlung erfolgten Zerstörung des Prüflings nicht direkt gemessen werden. Zur zerstörungsfreien Ermittlung der Wärmedurchschlagsspannung wird deshalb teilweise der Verlustfaktor $\tan \delta$ in Abhängigkeit von der angelegten Spannung gemessen.

sen. Die jeweilige Wärmedurchschlagsspannung U_d ist praktisch dann erreicht, wenn der Verlustfaktor über seinen ursprünglich konstanten Grenzwert hinaus steil ansteigt, s. Bild ③.

Dielektrische Festigkeit

Die (Wärme-)Durchschlagfestigkeit E_d einer Feststoffisolierung – mitunter auch *Isolations- oder Wechselspannungsfestigkeit* genannt – ist der Quotient aus der Durchschlagsspannung U_d und dem lichten Abstand der Elektroden, zwischen denen die elektrische Spannung unter festgelegten Bedingungen (s. Normenreihe DIN VDE 0303) angelegt wird. Dabei soll das elektrische Feld zwischen den Prüfelektroden homogen (gleichförmig) sein.

Widerstandserhöhungsfaktor

(infolge Stromverdrängung)

Der Widerstandserhöhungsfaktor ζ (grich. Zeta) ist der Quotient aus dem

- einerseits mit Wechselstrom (AC) und
- andererseits mit Gleichstrom (DC) gemessenen ohmschen Widerstand eines elektrischen Leiters. Als Formel:

$$\zeta = \frac{R_{AC}}{R_{DC}} = \frac{\text{Wechselstromwiderstand}}{\text{Gleichstromwiderstand}}$$

Umhüllung

Hülle (Verkleidung, Gehäuse) zum Schutz

- elektrischer Betriebsmittel oder Bauelemente gegen mechanische, thermische und andere schädliche Einflüsse sowie
- von Personen oder Nutztieren gegen das Berühren betriebsmäßig unter Spannung stehender (aktiver) Teile von allen Seiten.²⁾

Dienen Umhüllungen (engl. enclosures) ausschließlich dem Schutz gegen elektrischen Schlag, werden sie auch „elektrische (Schutz-)Umhüllungen“ genannt.

R. Müller

Literatur

[1] DIN EN 50191 (VDE 0104):2001-01 Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen.

¹⁾ **Betätigungseinrichtungen** für **Not-Ausschaltung** müssen **rot**, die Flächen hinter oder unter Betätigungseinrichtungen **gelb** sein. Damit sind diese Betätigungseinrichtungen deutlich von anderen Schalteinrichtungen unterscheidbar.

²⁾ **Abdeckungen** (engl. barriers), z. B. Türen, schützen per definitionem – im Gegensatz zu Umhüllungen – nur in den jeweiligen Zugangs- oder Zugriffsrichtungen.