Was versteht man unter …

Quecksilberdampf-stromrichter

Stromrichter – bestehend aus einem evakuierten Gefäß mit einer oder mehreren Entladungsstrecken (Ventilstrecken) – zum Umformen von ein- oder mehrphasigem Wechselstrom in Gleichstrom, Beispiel s. Bild ❶.

Der Quecksilberdampfstromrichter – kurz: *Hg-Stromrichter*[1)] genannt – ist ein elektrisches Ventil, das Strom nur in einer Richtung durchlässt. In der anderen Richtung sperrt es den Stromfluss durch einen sehr hohen elektrischen Widerstand. Der Strom tritt an der (den) Anode(n) aus festem Material (Grafit oder Eisen) in das Vakuumgefäß ein und an der Quecksilberkatode wieder aus dem Gefäß aus. Der externe Stromfluss erfolgt mithin von der Katode zur Anode. Elektronen fließen jedoch nur, wenn die Anode gegenüber der Katode positiv ist.

Als elektrisches Ventil dient ein Quecksilberdampflichtbogen (Gasentladungsventil), welcher zwischen Katode und Anode(n) brennt. Dieser Lichtbogen muss bei Betriebsbeginn mithilfe einer besonderen (Zünd-)Elektrode jedes Mal neu gezündet werden.

Charakteristisch für Hg-Stromrichter ist der auf der Katode (Quecksilberteich) herumirrende Lichtbogenfleck. Dieser Brennfleck dient der Elektronenerzeugung an der Katode und deren Aussendung. Der Katodenbrennfleck erzeugt jedoch nicht nur Elektronen, sondern auch neutrale Quecksilberdämpfe. Diese Dämpfe verdrängen die ankommenden positiven Ionen, die sich zum Zwecke der Entladung immer wieder neue Auftreffpunkte auf der Katode suchen müssen. Das ist der Grund, weshalb der leuchtende Brennfleck regellos auf dem Quecksilberteich umherirrt.

Die Elektronenerzeugung an der Katode wird durch die mit großer Geschwindigkeit auftreffenden positiven Ionen im Normalfall selbstständig aufrechterhalten. Erst bei Unterschreitung einer Mindeststromstärke hört die Elektronenerzeugung und -aussendung an der Katode auf; der Stromrichter „erlischt".

Quecksilberdampfstromrichter haben wie alle Gasentladungsventile mit Bogenentladung – demnach auch die Glühkatodengleichrichter (Thyratrons) – schon seit vielen Jahren ihre Bedeutung in der Leistungselektronik verloren. Sie wurden ab Mitte der 1960er Jahre durch steuerbare und wartungsfreie Halbleiterventile, z. B. Thyristoren, mit besserem Wirkungsgrad und sehr viel kleineren Abmessungen ersetzt.

Spannungswandler

Transformatoren (Wandler, engl. transformers), die

- elektrische Spannungen gefahrlos der indirekten Messung erschließen (Messwandler) oder die
- dem Anschluss von Schutzeinrichtungen dienen.

Allgemeines

Spannungswandler (engl. voltage transformers) zur Umwandlung einer hohen Primärspannung in eine bequem messbare, im Wesentlichen proportionale und phasengleiche Sekundärspannung heißen **Messwandler** (engl. instrument transformers). Diese Wandler werden in Hochspannungsanlagen vorzugsweise als *induktive Wandler* [1], bei sehr hohen Spannungen auch als *kapazitive Wandler* [2] verwendet.

Ein Spannungswandler, dessen Primärwicklung an die Sekundärwicklung eines vorgeschalteten Spannungswandlers angeschlossen ist, wird als *Zwischenspannungswandler* bezeichnet.

Ausführung

Induktive Spannungswandler gibt es in einpolig und zweipolig isolierter Ausführung. Bei den **einpolig** isolierten Wandlern ist jeweils ein Ende der Primär- sowie der Sekundärwicklung betriebsmäßig geerdet, s. Bild ❷a. Das Messgerät zeigt die Spannung zwischen dem Außenleiter L und der Erde an.

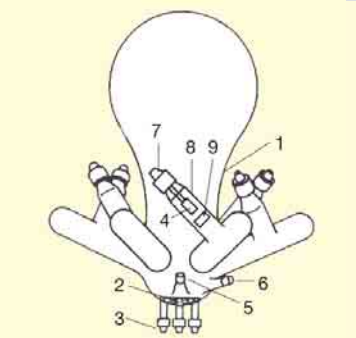
Im Bild ❸ sind drei einpolig isolierte Spannungswandler in Sternschaltung dargestellt. Diese Schaltung ist in Hochspannungsanlagen mit Nennspannungen ab 60 kV üblich. Die sekundäre Nennspannung (Sternspannung) beträgt hierbei $(100/\sqrt{3})$ V. Erhalten die drei einpolig isolierten Spannungswandler neben ihrer eigentlichen Messwicklung zusätzlich noch eine Hilfswicklung e – n zum Zwecke der Erdschlusserfassung und -meldung, so ist diese ebenfalls für eine Spannung von $(100/\sqrt{3})$ V ausgelegt.

Bei den **zweipolig** isolierten Spannungswandlern ist die gesamte Primärwicklung und sind alle primären Anschlüsse entsprechend dem Isolationspegel der höchsten, dauernd zulässigen Betriebsspannung isoliert, s. Bild ❷b. Die sekundäre Nennspannung beträgt 100 V.

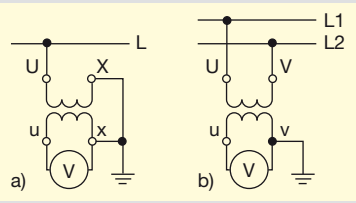
Zweipolig isolierte Spannungswandler werden z. B. für Synchronisierungszwecke verwendet, damit nicht gegen Erde synchronisiert werden muss (Fehlanzeige bei Erdschluss). Für Leistungsmessungen in Drehstromsystemen werden üblicherweise zwei zweipolig isolierte Spannungswandler in V-Schaltung verwendet, s. Bild ❹.

Betrieb

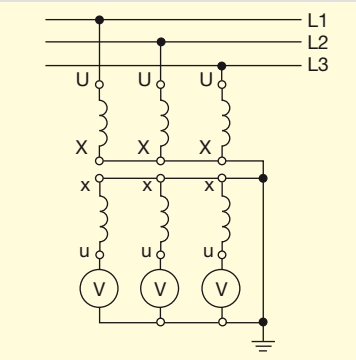
Spannungswandler sind Transformatoren mit einer geringen Ausgangsleistung. Während Stromwandler nahezu im Kurz-



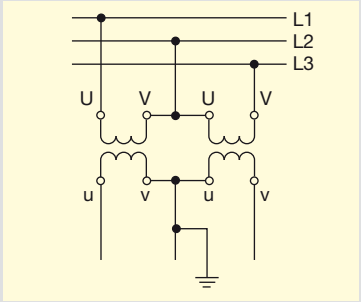
❶ **Quecksilberdampfstromrichter**
1 Stromrichtergefäß (Glaskolben); **2** Quecksilberteich; **3** Katodenanschluss; **4** Hauptanode; **5** Zündelektrode zur Erzeugung des Brennflecks; **6** Erregeranode zur Aufrechterhaltung des Brennflecks; **7** Anodenanschluss; **8** Anodenarm; **9** Steuergitter



❷ **Spannungswandler**
a) einpolig isolierte Ausführung
b) zweipolig isolierte Ausführung



❸ **Drei einpolig isolierte Spannungswandler in Sternschaltung**



❹ Zwei zweipolig isolierte Spannungswandler in V-Schaltung

schlussbetrieb arbeiten, sind Spannungswandler praktisch für den Betrieb im Leerlauf bzw. für eine vergleichsweise kleine, hochohmige Belastung bestimmt. Mithin charakterisiert die Bürde bei Spannungswandlern nicht den elektrischen Scheinwiderstand *Z* des Sekundärkreises, sondern – im Gegensatz zu Stromwandlern – dessen Kehrwert, den Scheinleitwert *Y* (Admittanz) der an den Wandler angeschlossenen Geräte, Kabel und Leitungen. Die Bürde wird bei Spannungswandlern folglich in S (Siemens) und nicht in Ω (Ohm) angegeben.

Spannungswandler sind nicht kurzschlussfest und deshalb gegen Kurzschluss zu schützen. Sie dürfen mithin – im Gegensatz zu Stromwandlern – sekundärseitig niemals kurzgeschlossen werden. Bei Verzicht auf Kurzschluss-Schutzeinrichtungen, z. B. Sicherungen, sind die angeschlossenen Kabel bzw. Leitungen kurzschluss- und erdschlusssicher zu verlegen.

Zum Schutz der elektrischen Betriebsmittel und zur Vermeidung gefährlicher Spannungen im Messkreis, z. B. bei Übertritt der Hochspannung auf die Sekundärseite, ist die Sekundärwicklung möglichst direkt oder nahe am Wandler zu erden.

Prüfung

Feststellung, ob ein Prüfgegenstand (Prüfling), z. B. ein elektrisches Betriebsmittel oder eine Anlage, die vorgeschriebenen oder vereinbarten Bedingungen erfüllt.

Allgemeines

Prüfungen (engl. tests, inspections, verifications) können subjektiv durch Sinneswahrnehmungen (prüfende Besichtigung[2]) oder objektiv mithilfe von speziellen Prüf- oder Messeinrichtungen erfolgen. Subjektive Prüfungen führen meist nur zu einer qualitativen Aussage, z. B. das Kabel ist zu warm. Objektive Prüfungen, z. B. des elektrischen Widerstands, führen hingegen zu einer quantitativen Aussage, ob der Prüfgegenstand die geforderten Bedingungen erfüllt oder nicht. Diese Prüfungen umfassen die Ermittlung von Werten, die durch Besichtigen nicht feststellbar sind.

Arten

Es werden hauptsächlich unterschieden:

- **Konformitätsprüfung** (engl. conformity test) ist eine Prüfung zur Konformitätsbewertung. Sie beinhaltet die systematische Untersuchung, inwieweit z. B. ein Produkt, ein Prozess oder eine Dienstleistung bestimmte (festgelegte) Anforderungen erfüllt.
- **Stückprüfung** (engl. routine test) ist eine Konformitätsprüfung an jeder Betrachtungseinheit (Prüfling) während oder nach der Fertigung. Sie dient hauptsächlich dem Auffinden von Werkstoff- und Herstellungsfehlern. Die Verwendbarkeit des Prüflings wird durch die Stückprüfung nicht beeinträchtigt; sie ist demnach eine zerstörungsfreie Prüfung.
- **Typprüfung** (engl. type test) ist eine Konformitätsprüfung an einem oder mehreren für die Produktion repräsentativen Prüfmustern (Bauartprüfung). Diese Prüfung ist so festgelegt, dass sie nach einmaliger Durchführung i. Allg. nicht wiederholt zu werden braucht, solange Änderungen, z. B. der Werkstoffe oder des Aufbaus, die nachgewiesenen Eigenschaften nicht beeinflussen.
  Die Typprüfung erfolgt meist an Erzeugnissen, bei denen wegen eines großen Produktionsumfangs eine Stückprüfung nicht möglich oder zu aufwendig ist. Die Typprüfung kann die spätere Verwendbarkeit des Prüflings beeinträchtigen.
- **zerstörungsfreie Prüfung** (engl. nondestructive test) ist eine Prüfung, die das zukünftige Betriebsverhalten des Prüfobjekts nicht beeinträchtigt.
- **Zerstörungsprüfung** (engl. destructive test) ist eine Prüfung, die zwecks Erzielung eines gesicherten Prüfergebnisses zu einer teilweisen oder vollständigen Zerstörung des Prüfobjekts führt.
- **Sichtprüfung** (engl. visual test) ist eine Prüfung, bei der üblicherweise ohne Verwendung von Werkzeugen offenkundige Fehler festgestellt werden.
  Sichtprüfungen, bei denen zur Feststellung von Unzulänglichkeiten, z. B. defekte Schutzabdeckungen, auch Werkzeuge oder Zugangseinrichtungen (Treppenleitern u. dgl.) verwendet werden, heißen **Nahprüfungen** (engl. close tests). Bei Nahprüfungen brauchen Gehäuse üblicherweise nicht geöffnet sowie elektrische Betriebsmittel grundsätzlich nicht spannungsfrei geschaltet zu werden.
- **Stichprobenprüfung** (engl. sampling test) ist die Prüfung von einem oder wenigen, beliebig (zufällig) ausgewählten Prüflingen (Prüfmuster) einer einheitlichen Menge zur Überwachung der laufenden Fertigung und zum Nachweis bestimmter Eigenschaften. Die Stichprobenprüfung kann die Verwendbarkeit des Prüflings beeinträchtigen.
- **Lebensdauerprüfung** (engl. life test) ist die Prüfung zum Nachweis der wahrscheinlichen Lebensdauer einer Betrachtungseinheit unter festgelegten Bedingungen.
- **Erwärmungsprüfung** (engl. temperature-rise test) ist die Prüfung zur Bestimmung der Temperaturerhöhung eines oder mehrerer Teile einer Betrachtungseinheit unter festgelegten Betriebsbedingungen.
- **Abnahmeprüfung** (engl. acceptance test) ist die vertraglich festgelegte Prüfung bei Abnahme durch den Kunden. Sie dient dem Nachweis, dass die Betrachtungseinheit die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.
- **Inbetriebnahmeprüfung** (engl. commissioning test) ist die Prüfung einer Betrachtungseinheit am Aufstellungsort vor ihrer erstmaligen Inbetriebnahme zum Nachweis einer sachgemäßen, vorschriftenkonformen Errichtung und einwandfreien Funktion (Funktionsprüfung, engl. functional test). Dabei sind die im späteren Betrieb tatsächlich vorkommenden variierenden Umgebungs- und Einsatzbedingungen zu berücksichtigen.
  Die Inbetriebnahmeprüfung wird auch **Erstprüfung** (engl. initial test) genannt [3].
- **Instandhaltungsprüfung** (engl. maintenance test) ist die periodisch durchgeführte Prüfung an einer nicht ständig überwachten Betrachtungseinheit. Sie dient dem Nachweis, dass das Betriebsverhalten – ggf. nach Durchführung bestimmter Maßnahmen – innerhalb festgelegter Grenzen bleibt.
  Die Instandhaltungsprüfung wird auch **wiederkehrende Prüfung** (engl. periodic test) genannt [4].

R. Müller

Literatur

[1] DIN EN 60044-2 (VDE 0414-44-2):2003-12 Messwandler; Teil 2: Induktive Spannungswandler.
[2] DIN EN 60044-5 (VDE 0414-44-5):2005-03 –: Teil 5: Kapazitive Spannungswandler.
[3] DIN VDE 0100-600:2008-06 Errichten von Niederspannungsanlagen; Prüfungen.
[4] DIN VDE 0105-100/A1:2008-06 Betrieb von elektrischen Anlagen; Allgemeine Festlegungen; Wiederkehrende Prüfungen.

[1] „Hg“ ist die Abkürzung für das chemische Element *Hydrargyrum* (Quecksilber).
[2] **Besichtigen** (Sichtprüfung) – die Untersuchung mit allen Sinnen [3] – schließt neben dem Sehen auch andere Wahrnehmungen ein, z. B. Hören, Fühlen und Riechen.