

Einleitung

Das Stromnetz ist auf Wechselstrom und Drehstrom aufgebaut und wurde in dieser Form von Tesla erfunden. Ohne Drehstrom und Wechselstrom gäbe es die heutige Selbstverständlichkeit und enorme Anwendungsbreite der Elektrizität nicht.

Der Drehstrom ist ein Wechselstrom mit drei Phasen (stromführenden Leitungen). Der Begriff Drehstrom ist aus der Erzeugung abgeleitet. Dabei werden drei Spulen im 120° Abstand rund um ein sich drehendes Magnetfeld angeordnet. Dadurch entstehen drei um 120° phasenverschobene sinusförmige Wechselspannungen.

Die Spulen L1, L2 und L3 werden als Stränge bezeichnet. Die erzeugte Spannung an jeder einzelnen Spule wird als Strangspannung bezeichnet. Die Strangspannung beträgt in unserem Stromnetz 230 Volt. Die Drehzahl des Magneten beträgt 3.000 Umdrehungen pro Minute. Daraus ergibt sich $3.000 \text{ min}^{-1} / 60 \text{ Sekunden} = 50 \text{ Umdrehungen pro Sekunde} = 50 \text{ Hz}$. Die Drehrichtung ist nach rechts. D.h. der Nordpol des Magneten passiert die Spulen in der Reihenfolge L1, L2, L3. Die Drehrichtung ist leicht durch Vertauschen von zwei beliebigen Phasen umzukehren.

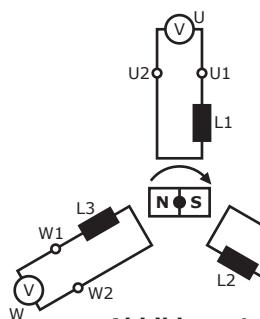


Abbildung 1

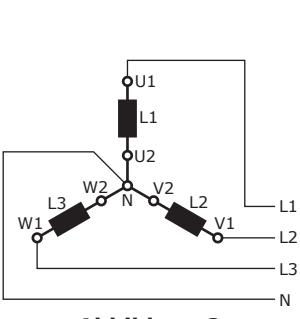
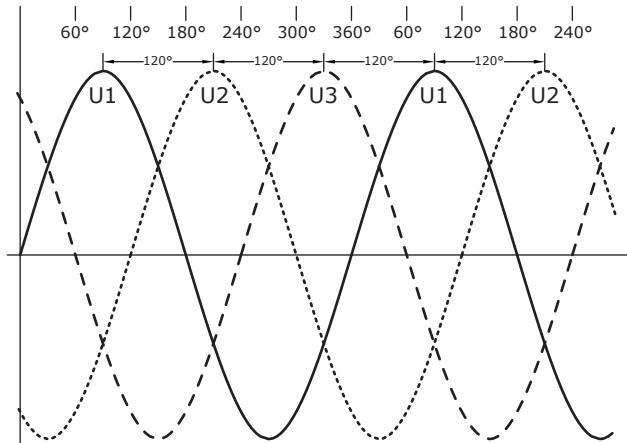


Abbildung 2

Laut Abbildung 1 würde man jedoch sechs Leitungen vom Generator zur Last benötigen. Aus diesem Grund werden die Spulen wie in Abbildung 2 zusammengeschaltet und man kommt mit nur mehr 4 Leitungen aus.



Betrachtet man das obige Diagramm, so stellt man fest das zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Summe der Spannungen U1, U2, U3 Null ergibt. Daher wird diese vierte Leitung auch Nullleiter genannt. Die Phasen werden manchmal auch als Außenleiter bezeichnet. Zwischen den Außenleitern ergibt sich aus der Addition der Sinuskurven eine Spannung von 400 Volt.

Zwischen jeder Phase und dem Nullleiter liegt 230V Wechselspannung an, zwischen zwei beliebigen Phasen liegen 400V Wechselspannung an.

Ist die Last absolut symmetrisch (d.h. es fließt also an jeder Phase exakt der gleiche Strom) so fließt über den Nullleiter kein Strom. Man kann daher bei absolut symmetrischen Systemen den Nullleiter einfach weglassen. Bei Drehstrommotoren wird dies auch gemacht - diese haben üblicherweise nur drei Anschlüsse (U, V, W bzw. L1, L2, L3). Auch bei Hochspannungsleitungen werden nur die drei Phasen vom Kraftwerk bis zu Ihrer Trafostation geführt.

Im Prinzip besteht kein Unterschied im Aufbau zwischen Motor und Generator:

Beim Generator ist der rotierende Magnet als Elektromagnet ausgeführt. Die Wellendrehzahl der Antriebsmaschine wird je nach Polzahl des Generators fix auf 3.000 / 1.500 oder 1.000 Umdrehungen pro Minute eingestellt damit sich eine Ausgangsfrequenz von 50 Hz ergibt (50 Umdrehungen pro Sekunde). Über eine elektronische Steuerung (AVR = Automatic Voltage Regulation) wird der Gleichstrom durch den Elektromagnet und damit die Ausgangsspannung geregelt. Diese Regelung ist nicht dazu geeignet Strom in das öffentliche Netz zu liefern (Netzparallelbetrieb). Im Netzparallelbetrieb sind andere Steuerungen notwendig um den Generator mit dem Netz synchronisieren zu können und Strom in das Netz zu liefern.

Die Steuerung kontrolliert die Ausgangsspannung der drei Phasen und regelt entsprechend die Erregung des Rotors. Bei ungleichmäßiger Belastung des Generators (z.B. höhere Last auf L1) sinkt die Spannung der entsprechenden Phase ab. Man spricht in diesem Fall von „Schräglast“. Da die Elektronik die Ausgangsspannungen der Phasen nicht unabhängig voneinander Regeln kann, hat die höher belastete Phase eine niedrigere Spannung als 230V, die geringer belasteten Phasen eine höhere Spannung als 230V. Sollte die Last sehr ungleichmäßig auf die Phasen aufgeteilt sein, so kann die Steuerung den Generator abschalten, um gefährliche Unterspannungen bzw. Überspannungen auf den Phasen zu vermeiden.

Beim Motor gibt es verschiedene Ausführungen, am gebräuchlichsten ist der DAM (Drehstrom Asynchronmotor). Die Spulen sind beim Motor räumlich ebenfalls um 120° versetzt, damit bildet sich im Inneren des Motors ein Magnetfeld welches mit 3.000 Umdrehungen pro Minute rotiert. Die Drehrichtung dieses Feldes kann wieder durch den Austausch zweier beliebiger Phasen umgekehrt werden. Der Rotor ist als Elektromagnet mit einigen wenigen Windungen (dem „Käfig“) ausgelegt. Wenn der Rotor steht, so wird in dieser Spule ein sehr hoher Strom induziert, der Rotor wird dadurch zum Elektromagnet. Damit beginnt sich der Rotor mit dem Magnetfeld zu drehen. Nun wirkt der Motor gleichzeitig als Generator und induziert in den Statorwicklungen eine Gegenspannung. Dadurch reduziert sich der Strom im Stator. Die Drehzahl des Rotors erreicht ohne Belastung fast 3.000 min^{-1} - lediglich die Verluste bewirken eine leichte Drehzahldifferenz zum Drehfeld. Der dabei benötigte Strom entspricht den Verlusten. Wird nun der Motor belastet, so steigt die Drehzahldifferenz zwischen Rotor und Drehfeld, es wird weniger Gegenspannung induziert und der Motor verbraucht mehr Strom. Ein Drehstrommotor benötigt also beim Motorstart einen sehr hohen Anlaufstrom, der etwa beim drei- bis fünffachen des Nennstromes liegt.

Bei großen Elektromotoren wird deshalb der Startstrom durch die sogenannte Stern-Dreieckschaltung reduziert. Dazu müssen aus dem Motor alle sechs Leitungen der drei Spulen herausgeführt sein (siehe Abbildung 1). Diese Leitungen werden zum Anlauf in Stern-Schaltung verbunden. Dabei liegt an den Spulen L1, L2, L3 nur jeweils 230V an. Nach dem Hochlaufen des Motors werden die Spulen auf Dreieckschaltung umgeschalten. Nun liegt an jeder Spule 400V Wechselspannung an. Durch die geringere Spannung an den Spulen in der Sternschaltung reduziert sich so der Anlaufstrom des Motors (allerdings bei verringriger Leistung und geringerem Drehmoment). Kleinere Motoren haben meist keine solche Umschaltung.

Wird der Motor zusätzlich während des Hochlaufs bereits belastet (z.B. Kompressoren, Hobelmaschinen mit großen Übersetzungen) so können Sie einen sehr hohen Anlaufstrom erwarten. Ist der Anlaufstrom zu hoch, kann ein Generator eventuell nicht genügend Strom liefern und der Motor lässt sich nicht starten bzw. der Generator schaltet sich ab. In solchen Fällen können Sie einen 3-phasigen Anlaufstrombegrenzer vor Ihre Arbeitsmaschine schalten. Ob Ihre Arbeitsmaschine mit Anlaufstrombegrenzern funktioniert müssen Sie zuerst mit dem Hersteller abklären. Es können an der Versorgung des Motors zusätzliche Verbraucher wie Steuerungen, Sicherheitseinrichtungen usw. angeschlossen sein die nicht mit einem Anlaufstrombegrenzer betrieben werden dürfen.

Lichtstrom, Drehstrom und Lastaufteilung

In Haushalten wird meist „Lichtstrom“ also 230V verwendet. D.h. an der Steckdose wird eine beliebige Phase sowie der „Nullleiter“ angeschlossen. Damit stehen 230V an der Steckdose zur Verfügung. Für Arbeitsmaschinen werden meist Drehstrommotoren verwendet (wegen des einfachen Aufbaues dieser Motoren).

Üblicherweise werden die Lasten in einem Haushalt auf die drei Phasen in mehreren Stromkreisen aufgeteilt. Die Kraftwerke zur Netzversorgung haben Generatoren mit Leistungen von einigen Mega-Watt und der Netzbetreiber teilt die Lasten zwischen tausenden Verbrauchern so auf, dass durch die Spulen L1, L2, L3 möglichst die selben Ströme fließen um Schräglägen zu vermeiden.

Bei 3-phasigen Generatoren muss man selbst darauf achten die Ströme gleichmäßig aufzuteilen. Wenn zu viel Strom durch eine der Spulen fließt, so würde sich diese Spule unzulässig erwärmen und in Folge zerstört werden. Weiters verschieben sich die Spannungen zwischen den Phasen (wie zuvor bereits beschrieben). Schräglägen sind bei 3-phasigen Generatoren daher möglichst zu vermeiden.

Die Leistung eines 3-phasigen Generators ist immer für einen 3-phasigen Betrieb angegeben. Das bedeutet das Sie lediglich ein Drittel der Nennleistung pro Phase abnehmen können. Bei Anschluss von 3-phasigen Maschinen ist dies meist kein Problem, da die Last in diesem Fall zumeist symmetrisch ist, die Phasen also gleichmäßig belastet werden. Sollten Sie 1-phasige Lasten an einem 3-phasigen Generator betreiben, so müssen Sie selbst dafür sorgen die Lasten entsprechend auf die Phasen aufzuteilen.

Sollten Sie Drehstromverbraucher und Lichtstromverbraucher gleichzeitig an einem 3-phasigen Generator betreiben, so stellen Sie sicher das die gesamte Leistung der einzelnen Phasenstränge nicht überschritten wird.

Beispiel:

Die Nennleistung des 3-phasigen Generators beträgt 4,5kW bei 400V. Daher ist die maximale Phasenleistung $4,5\text{kW}/3=1,5\text{kW}$. Die Belastung sei als ein Drehstrommotor mit 3kW Nennlast angenommen. Damit liegt die aktuelle Last pro Phase bei $3\text{kW}/3=1\text{kW}$. Damit würden noch 0,5 kW (=500 Watt) pro Phase zur Verfügung stehen.

Erdung und Nullung

Die letzte noch nicht erklärte Leitung ist „PE“ - Protective Earth oder der Schutzeleiter. Diese Leitung wird an einer bestimmten Stelle mit der Erde verbunden. Dies geschieht mittels eines Erdungsbandes oder eines Staberders. In Österreich ist das sogenannte TN-Netz gesetzlich vorgeschrieben. (T für Terra und N für Null - die Erde ist mit dem Nulleiter verbunden). In diesem Netz wird die Schutzerde und der Nulleiter meist beim Hausstromverteiler mit Erde verbunden und ab diesem Punkt getrennt geführt. Die Leitung vom Hochspannungstrafo zum Hausanschluss ist ebenfalls geerdet und heißt „PEN“. Der Strom durch den Nulleiter sucht sich nun den „leichtesten“ Weg, entweder über die PEN Leitung oder direkt über Erde zurück zum Trafo oder zum Kraftwerk. Dadurch entstehen in dicht besiedelten Gebieten nicht unerhebliche vagabundierende Wechselströme durch die Erde.

Die PE Leitung wird an allen elektrischen Anschlüssen mitgeführt und mit den Metallgehäusen der elektrischen Verbraucher verbunden. Somit sind alle Metallgehäuse von elektrischen Geräten mit Erde verbunden. Sollte nun eine spannungsführende Leitung mit dem geerdeten Metallgehäuse des Elektrogerätes in Berührung kommen, so entsteht ein Kurzschluss und eine der später erklärten Schutzeinrichtungen trennt den Verbraucher vom Netz.

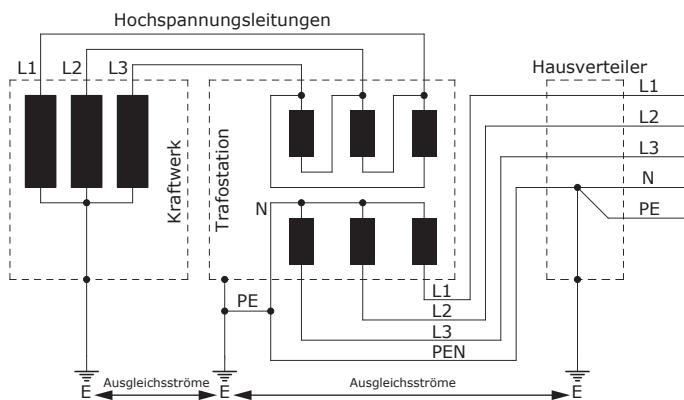


Abbildung 3

In Abbildung 3 können Sie erkennen das nur drei Leitungen (L1, L2, L3) vom Kraftwerk zum Trafo notwendig sind. Die durch Asymmetrien bedingten Ausgleichsströme durch den Nulleiter fließen durch die Erde. Die Darstellung ist stark vereinfacht, in der Realität werden noch vielfältige Verteilungs- und Schutzmechanismen eingesetzt.

Schutzeinrichtungen

Elektrischer Strom ist gefährlich für Leib und Leben. In Westeuropa dürfen elektrische Anlagen daher auch nur von fachlich befähigten Personen in Betrieb genommen und überprüft werden. Überdies sieht der Gesetzgeber eine regelmäßige Überprüfung von elektrischen Anlagen durch besonders qualifizierte Personen (konzessioniertes Gewerbe) vor. Lassen Sie daher solche Anlagen nur durch den Elektriker Ihres Vertrauens warten, instandsetzen oder modifizieren.

Es wurden vielfältige Schutzmechanismen erfunden um den elektrischen Strom möglichst gefahrlos einzusetzen. Solche Schutzeinrichtungen dürfen niemals außer Betrieb genommen werden.

Sicherungen:

Elektrische Leitungen haben einen elektrischen Widerstand. Dieser Widerstand bewirkt Verluste in der Leitung, die in Wärme umgesetzt werden. Der elektrische Widerstand einer Leitung ist von verschiedenen Faktoren wie Material, Temperatur und hauptsächlich vom Querschnitt und Länge der Leitung abhängig. Als Faustregel sollten Kabel nicht dauerhaft über 6A/mm² belastet werden um eine unzulässige Erwärmung zu vermeiden. Nach der Norm VDE 0100 beträgt der maximale Strom von Leitungen 13A bei 0,75mm², 16A bei 1,0mm² sowie 27A bei 2,5mm².

Diese elektrischen Verluste werden in Schmelzsicherungen gezielt ausgenutzt um einen dünnen Draht kontrolliert abschmelzen zu lassen wenn der zulässige maximale Strom überschritten wird. Schmelzsicherungen werden in Hausinstallationen heute nicht mehr eingesetzt und wurden durch Sicherungsautomaten ersetzt. Die Funktion bleibt die gleiche: die elektrischen Leitungen werden vor zu hohen Strömen und der damit verbundenen Erwärmung geschützt.

Ersetzen Sie daher niemals Sicherungen durch höhere Werte - Sie riskieren damit einen Kabelbrand! Sollte ein Stromkreis für den Dauerbetrieb einer Last zu schwach dimensioniert sein, so muss auch die Leitung einen entsprechend großen Querschnitt aufweisen.

Leitungsschutzschalter sind mit verschiedenem Auslöseverhalten erhältlich (A, B, C, D). Das Auslöseverhalten legt fest, wie schnell der Leitungsschutzschalter auf eine Überlastung reagiert. (A= sehr schnell, D= sehr langsam). Sollte eine Sicherung nur beim Einschalten eines bestimmten Gerätes (meist Motoren die einen hohen Anlaufstrom benötigen, wie z.B. Kompressoren, Kreissägen) auslösen, so kann es helfen die Sicherung gegen eine trágere Variante auszutauschen. Für besonders große Motoren gibt es sogenannte Motorschutzschalter. Diese Motorschutzschalter sind besonders träge und lassen kurzfristig etwa bis zum zehnfachen des Nennstromes zu.

Zusammen mit dem Schutzleiter bietet der Leitungsschutzschalter schon einen gewissen Schutz. Sollte eine spannungsführende Leitung in Kontakt mit dem Metallgehäuse kommen, so entsteht ein Kurzschluss und der Leitungsschutzschalter löst aus, bevor die Leitung in Flammen aufgeht.

Leitungsschutzschalter schützen also nur die Leitung - nicht den Menschen! Der tödliche Strom für einen Menschen liegt schon bei 0,05A also 50mA !

Fehlerstromschutzschalter:

Der Fehlerstromschutzschalter kontrolliert die Ein- und Ausgehenden Ströme über L1, L2, L3 und N. Strom kann nicht vernichtet werden, sondern in einem Stromkreis ist die Summe der zufließenden und abfließenden Ströme immer Null. Dies wird in Abbildung 4 vereinfacht an einer Batterie und einer Lampe dargestellt.

Der Strom I1 der aus der Batterie kommt, fließt über die Leitung L1 durch die Lampe. Der gleiche Strom I2 fließt über die Leitung N zurück zur Batterie. Der Fehlerstromschutzschalter kontrolliert nun ob der Strom I1 den gleichen Wert wie I2 hat. Sollte nun das Männchen auf die stromführende Leitung L1 greifen, so fließt der Strom I3 am Fehlerstromschutzschalter vorbei. Der FI stellt nun fest das I2 geringer als I1 ist. Sollte diese Differenz größer als ein bestimmt Wert sein, so trennt der FI die Last vom Netz.

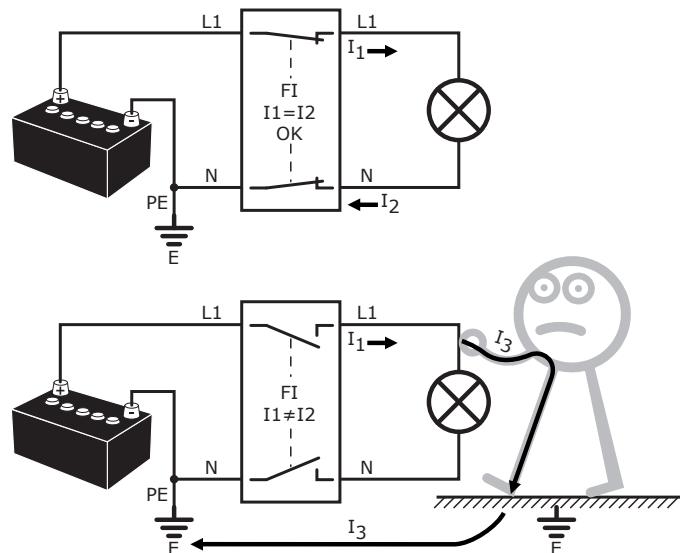


Abbildung 4

Gängige FI haben einen Auslösestrom von 30mA, d.h. wenn eine Stromdifferenz von 30mA auftritt, so wird die Last vom Netz getrennt.

Solche Fehlerströme treten aber nicht nur durch Berührung, sondern in geringem Ausmaß auch durch Kriechströme durch die Kabelisolationen und andere elektrische Bauelemente in den Verbrauchern auf. Diese Fehlströme steigen mit der Alterung von Elektrogeräten an. So kann es passieren das FI nach einiger Zeit auslösen, ohne das ein wirklicher Fehler in der Verkabelung zu finden ist. Die Fehlerströme aller angeschlossenen Geräte summieren sich, so kann es geschehen das bestimmte Geräte den FI auslösen wenn diese gleichzeitig betrieben werden. Da FI nicht ganz billig sind, wird versucht in normalen Hausinstallationen mit nur einem FI das Auslangen zu finden. Um ein ständiges Auslösen des FI zu vermeiden ist der Strom auf 30mA (also bereits einen potentiell tödlichen Wert) eingestellt. In alten Installationen sieht man auch 50mA FI - in Baustromverteilern gar 500mA.

Empfehlenswert ist der Einsatz von mehreren Stromkreisen mit je einem niedrig auslösenden FI, z.B. 10mA um einerseits ein ständiges Auslösen zu vermeiden, andererseits einen möglichst geringen (=sicheren) Auslösestrom zu realisieren. Durch die Trennung der Stromkreise und Aufteilung auf mehrere FI werden diese unabhängig voneinander geschützt. Damit wird bei einem Fehlerstrom nur der betreffende Stromkreis abgeschaltet und nicht die gesamte Hausstromversorgung. Denn es ist es ärgerlich wenn während Ihres Urlaubes ein fehlerhaftes Gerät die gesamte Stromversorgung lahmlegt und Ihre Tiefkühltruhe zum Feuchtbiotop wird.

Die Vorschriften und auch die Möglichkeiten moderner Niederspannungsverteiler sowie deren Schutzeinrichtungen haben sich in den letzten Jahrzehnten drastisch verändert. Sollten Sie eine alte Hausinstallation besitzen, so kontaktieren Sie bitte den Elektriker Ihres Vertrauens um die Schutzeinrichtungen auf den letzten Stand zu bringen.