

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.

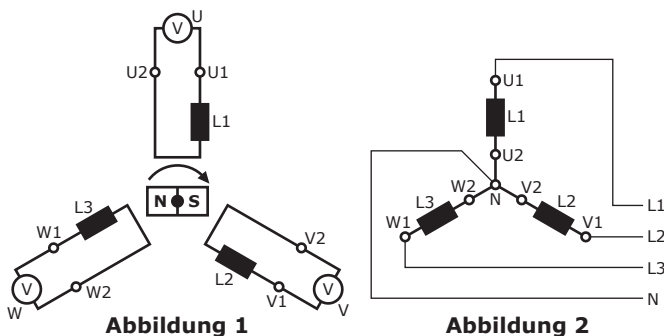


Abbildung 1

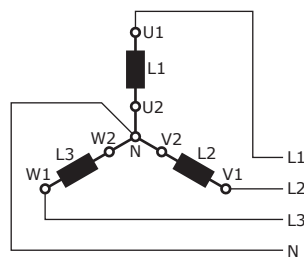
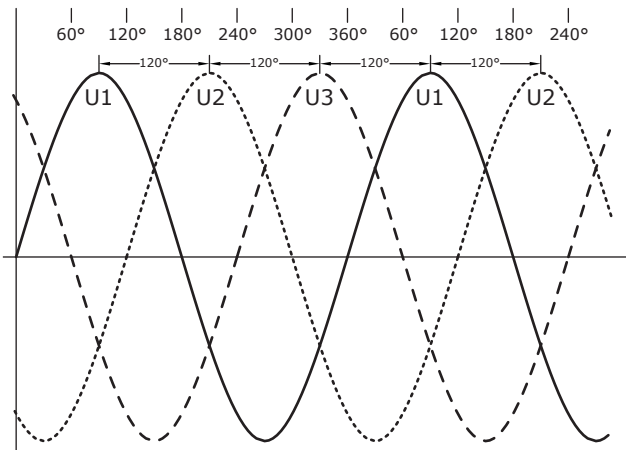



Abbildung 2

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-Dreieckumschaltung 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 umgeschaltet. 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 verringerter Leistung und geringerem Drehmoment). Kleinere Motoren haben meist keine solche Umschaltung.

Wird der Motor zusätzlich während des Hochlaufens 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 udgl. 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 „Null-Leiter“ 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 Netzversorger teilt die Lasten zwischen tausenden Verbrauchern so auf, das durch die Spulen L1, L2, L3 möglichst die selben Ströme fließen um Schräglasten 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). Schräglasten sind bei 3-phasigen Generatoren daher möglichst zu vermeiden.

Die Leistung eines 3-phasigen Generators ist immer für einen 3-phasigen Betrieb angeben. 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 Schutzleiter. 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 Schutzterde 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.

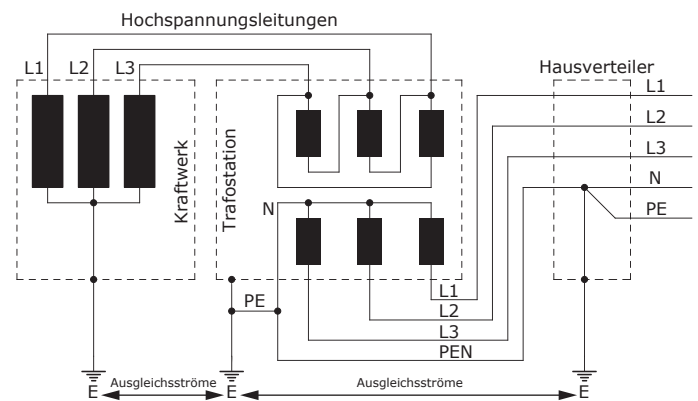


Abbildung 3

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 Leistungsschutzschalter 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 trägere 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 bestimmter Wert sein, so trennt der FI die Last vom Netz.

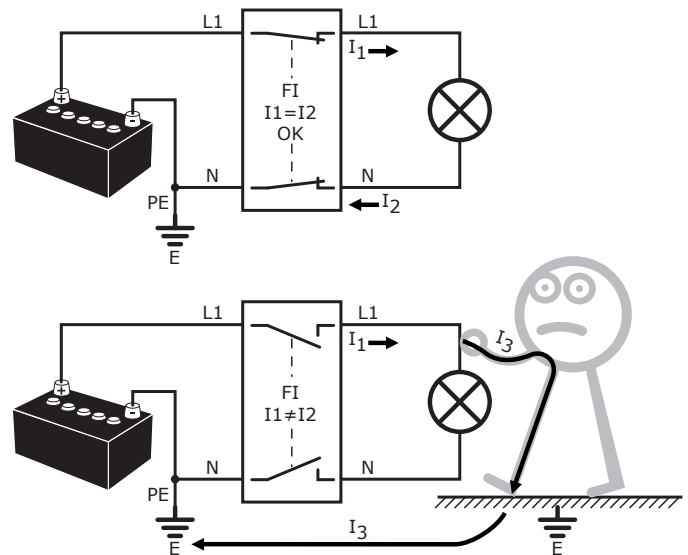


Abbildung 4

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.

Schräglast bei 3-phasigen Generatoren

Bei dreiphasigen Generatoren weicht die Spannung der einzelnen Phasen gegen Null bei ungleicher Belastung Systembedingt ab. Die drei um 120° räumlich versetzten Spulen sind in Stern geschaltet, damit stehen am Klemmbrett die 3 Phasen und der Nullleiter zur Verfügung.

Die Spannung welche nun zwischen Null und einer Phase auftritt ist 230V, die Spannung zwischen den Außenleitern ist 400V. Die Drehzahl nehmen wir vorerst als konstant an. Es steht nur eine Stellgröße (nämlich der Erregerstrom) zur Verfügung um die Ausgangsspannung zu regeln.

Dies heisst, es können nur alle drei Spannungen gleichzeitig geregelt werden, nicht jede Spannung einzeln (die Spannungen sind verkettet).

Solange die einzelnen Phasen gleich belastet sind, stellt der Umstand auch kein Problem dar.

Wird nun aber eine einzelne Phase stark belastet, so geht die Spannung dieser Phase nach unten. Die Spannung der beiden anderen Phasen geht dadurch aber nach oben = Schräglast.

Stellen Sie sich ein gleichseitiges Dreieck vor, welches am Mittelpunkt an der Decke aufgehängt ist. An jeder Ecke des Dreiecks hängt ein Gewicht mit 1kg.

Was passiert, wenn sie einen Eckpunkt des Dreiecks nach unten ziehen (= an einer Phase mehr Strom entnehmen)?

Die beiden anderen Eckpunkte gehen in die Höhe (= die Spannung an den beiden anderen Phasen steigt).

Der Spannungsregler zieht am Seil der Deckenaufhängung und kann nun folgendes Ausregeln: Entweder die Höhe des einen Eckpunktes (230V Meßspannung) oder die mittlere Höhe von zwei Eckpunkten (400V Meßspannung). Er kann aber die drei Spannungen NICHT unabhängig voneinander ausregeln.

Wie groß ist dieser Effekt? - Das ist schwer zu beantworten.

Je größer der Generator im Vergleich zur Last, desto geringer ist der Einfluß der Schräglast. Je größer die Last im Vergleich zur Generatormennleistung, desto größer wird auch der Effekt.

Daher sollte man bei einphasigen Lasten auch besser einen einphasigen Generator verwenden, da eine einzelne Phase bezüglich der Ausgangsspannung besser ausgeregelt werden kann. Jedenfalls ist beim Betrieb von einphasigen Geräten an dreiphasigen Generatoren mit Spannungsabweichungen zu rechnen.

Je größer der Generator im Vergleich zur Last ist, desto kleiner werden diese Abweichungen. Je größer die Last im Vergleich zum Generator ist, desto größer werden auch die Spannungsabweichungen. In der Praxis kann man daher keine Aussage treffen ob bestimmte Geräte im Generatorbetrieb funktionieren oder nicht.

Problemlos sind im Allgemeinen Handwerkzeug, Beleuchtung und elektrische Heizgeräte. Elektronische Geräte mit Weitbereichsnetzteilen (z.Bsp. 110-260V) sind üblicherweise ebenfalls unempfindlich, der störungsfreie Betrieb kann aber nicht garantiert werden.

Bei hoher Asymmetrie können hohe Phasenspannungen auftreten, welche knapp ausgelegte Überspannungsableitetelemente (Varistoren) in elektronischen Netzteilen, Verteilersteckdosen mit Überspannungsschutz usw. zerstören können. Weiters können knapp dimensionierte bzw. vorgealterte Kondensatoren in elektronischen Netzteilen beschädigt werden.

Für Hauseinspeisung können wir daher kleine dreiphasige Generatoren (im Bereich von 6kW) nicht empfehlen. Dafür kommen Generatoren in der Größenordnung von mindestens 12kW - 30kW zum Einsatz.

Die Lasten im Haus sollten über ein Überwachungsrelais vor Schäden geschützt werden. Wir empfehlen dafür beispielsweise das Überwachungsrelais UFR1000 von Ziehl.

Zusätzlich zu den Spannungsverschiebungen treten aber im Notstrombetrieb höhere Störungen (Klirrfaktor) verursacht durch elektronische Lasten auf.

Störungen im Notstrombetrieb

Grundsätzlich ist zu beachten, dass sich ein Generator anders verhält als ein Netz. Er ist gegenüber dem Netz in der Regel ein leistungsschwächerer Stromerzeuger.

Für die Wirkleistung ist die Antriebsmaschine (und der Generator), für die Blindleistung der Generator zuständig. Für die Frequenzgenauigkeit ist der Drehzahlregler und für die Spannungsgenauigkeit der Spannungsregler zuständig. Für das Verhalten bei Belastung durch Oberschwingungsströme ist die Dämpferwicklung entscheidend.

Für die Auslegung des Generators ist zunächst die installierte Leistung und der Gleichzeitigkeitsfaktor zu ermitteln, damit die Bemessungsleistung für den Generator festgelegt werden kann. Durch die Zuschaltung von Netzteilen oder Asynchronmotoren entsteht ein dynamischer Spannungseinbruch, hervorgerufen durch den überwiegend induktiven Innenwiderstand des Generators.

Der Spannungseinbruch ist abhängig vom relativen Laststoß, dem Leistungsfaktor und beim Generator von dessen transienter Reaktanz.

Bei einer Laständerung wird der Erregerstrom nachgeregelt. Bei Laststößen treten auch infolge des Drehzahleinbruchs dynamische Frequenzänderungen auf. Bei nichtlinearer Belastung wird die annähernd sinusförmige Generatorspannung durch verbraucherseitige Oberschwingungen überlagert.

Es entsteht in der Spannungskurve ein erhöhter Spannungsklirrfaktor. Dieser ist abhängig von der elektrischen Steifigkeit des Generators, das heißt von dessen Kurzschlussleistung. Generatorseitig gilt hier die subtransiente Reaktanz x_d'' , diese beträgt etwa 10 bis 14 % der Nennimpedanz. Die Kurzschlussleistung ergibt sich aus $SK'' = SN / x_d''$.

Der Vergleich mit der Einspeisestelle des Netzes zeigt, dass die Kurzschlussleistung des Netzes viel höher ist als die des Generators. Damit ergibt sich bei Generatorbetrieb eine höhere Rückwirkung auf den Spannungsklirrfaktor als bei Netzbetrieb.

Grundsätzlich gilt nach EN 61000-2-2, dass bei einem Netzbetrieb gewisse Spannungsklirrfaktoren einzuhalten sind. Dies gilt bei Messung zwischen zwei Phasen sowie zwischen Phase und Nullleiter. Die Grenzwerte des Gesamtspannungsklirrfaktors liegen unter 8 %. Bei Einhaltung dieser Werte bei Generatorbetrieb ist eine starke Reduzierung der Leistung erforderlich. Die relativ niedrigen Werte ergeben sich durch den lastabhängig aufkommenden Oberschwingungsgehalt in der Spannungskurve.

Eine Überdimensionierung des Generators aus diesen Gründen sollte nur nach genauer Betrachtung der tatsächlichen Notwendigkeit vorgenommen werden. Steuert man zum Beispiel eine Last über einen Phasenanschnitt an, ist diese Belastung nur kurzzeitig vorhanden. Außerdem ist zu überprüfen, ob bei Generatorspeisung nicht ein erhöhter Spannungsklirrfaktor zugelassen werden kann. Weiterhin ist zu bedenken, dass ohmsche Widerstände gegenüber Oberschwingungen unempfindlich sind.

Dies bedeutet in der Praxis:

Bei Umschaltung von Netzbetrieb auf Generatorspeisung ist üblicherweise mit einem Anstieg der Oberschwingungsbelastung in diesem Netz zu rechnen.

Der Anstieg der Oberschwingungsbelastung sollte berechnet oder gemessen werden, um eine vorschriftsmäßige Spannung zu garantieren und damit Störungen und Ausfällen vorbeugen zu können.

Bei Betrieb von Oberschwingungserzeugern sollten folgende Grenzen beachtet werden: Mit B2- und B6-Gleichrichtern ist eine Belastung von 20 % des Generators möglich.

Mit verdrosselten B6-Gleichrichtern kann dies auf fast 40 % gesteigert werden. Werden geschaltete B6-Brücken verwendet, muss auf 10 % reduziert werden.

Eine unsymmetrische Belastung des Generators ist zu vermeiden, weil erhöhte Verluste auftreten und der Oberschwingungsgehalt ansteigen kann. Anlagen zur Blindstromkompensation sollten nach Möglichkeit abgeschaltet werden, weil Resonanzen im Netz auftreten können.

Oberschwingungen können mit Drosseln oder mit elektrischen Filtern bedämpft werden. Werden ohmsche Verbraucher parallel betrieben, wirken diese ebenfalls dämpfend. Werden hingegen Kondensatoren parallel betrieben, so entsteht eine zusätzliche Belastung durch unkalkulierbare Resonanzeffekte.

Angeschlossene (auch leerlaufende) Asynchronmotoren wirken Netzstützend. Aufgrund der in ihrem Magnetfeld vorhandenen Energie liefern die Motoren einen großen Stoßkurzschlussstrom ins Netz und unterstützen die Sinusform der Spannung bzw. reduzieren Störungen im Netz.

Ob gewisse Lasten mit den höheren zu erwartenden Störungen betrieben werden können muss von Fall zu Fall gemessen und getestet werden.

Wechselwirkungen zwischen angeschlossenen Geräten können auftreten.

Ein zugesicherter Betrieb von Geräten unterschiedlichster Bauart kann somit nur bei deutlicher Überdimensionierung des Generators gewährleistet werden.

Schutzisolation vs. Nullung

Transportable Generatoren sind schutzisoliert ausgeführt. Dies bedeutet das keine der Anschlüsse ein definiertes Potential zu Erde (=Null) hat.

Der Schutzleiteranschluss dient in diesem Fall nur als Potentialausgleich.

Manche Geräte benötigen jedoch ein definiertes Potential zur Erde - darunter fallen manche Schaltnetzteile, Frequenzumrichter, Heizungen mit Ionisationsflammwächter usw.

Bei Einspeisung in ein Hausnetz muss daher bei solchen Generatoren nachträglich eine Nullung und Erdung durchgeführt werden,

da ansonsten die nachgelagerten Fehlerstromschutzschalter wirkungslos wären, bzw. manche Geräte zum störungsfreien Betrieb einen Nullbezug benötigen.