

Technische Erläuterungen



Gleichstromversorgung

Schaltnetzteile

DC-USV

Transformatoren



Gleichstromversorgung

Allgemein

Heute wird in so gut wie allen Anlagen und Maschinen eine elektrische Steuerung eingesetzt. Diese Steuerung braucht eine zuverlässige Stromversorgung, um den sicheren Betrieb der Anlage oder Maschine zu gewähren.

Die Gleichstromversorgung ist ein statisches Gerät, das eine vorhandene Eingangsspannung (Gleich- oder Wechselspannung) in eine definierte und benötigte elektrische Ausgangsenergie (Gleichspannung und -strom) wandelt. Je nach Einsatz und Anwendungsgebiet gibt es unterschiedliche Gleichstromversorgungen, die im Folgenden kurz aufgeführt sind:

Ungeregelte Gleichstromversorgung

Hier wird die Netzwechselspannung durch einen Transformator in die gewünschte Spannung transformiert und anschließend mittels Gleichrichter und Kondensator gesiebt und geglättet. Die Ausgangsspannung schwankt mit der Eingangsspannung vom Netz sowie der angelegten Last, d. h. die Ausgangsspannung ist nicht auf einen festen Wert geregelt.

Auch ist die Ausgangsspannung nicht vollkommen geglättet. Der Ausgangsgleichspannung überlagert liegt noch eine kleine Schwankung, die abhängig von der Belastung und der Eingangsspannung ihren Wert ändert. Diese Schwankung wird Welligkeit genannt und ist üblicherweise in Prozent, proportional zur Höhe der Ausgangs-Gleichspannung, angegeben.

Der Aufbau der unregelmäßigen Gleichstromversorgung ist robust, einfach und auf das Wesentliche beschränkt. Diese Geräte sind zum Ansteuern von Schützen, Relais, Ventilen und Magnetschaltern ausreichend.

Geregelte Gleichstromversorgung

Hier wird die Ausgangs-Gleichspannung durch eine elektronische Regelschaltung überwacht und bei Schwankungen der Eingangsspannung oder der unterschiedlichen Belastung des Ausgangs auf einem voreingestellten Wert gehalten.

Auch bei dieser Gleichstromversorgung ist eine gewisse Restwelligkeit vorhanden, die aber im Gegensatz zu der unregelmäßigen Gleichstromversorgung sehr gering ist und weitestgehend nur von der Belastung am Ausgang abhängig ist.

Die gebräuchlichsten Schaltungsarten, durch die geregelte Gleichstromversorgungen realisiert werden können, sind:

- Längsregelte Netzteile
- Magnetische Spannungskonstanthalter
- Sekundär getaktete Schaltnetzteile
- Primär getaktete Schaltnetzteile

Die nachfolgend kurze Beschreibung der jeweiligen Schaltungsprinzipien soll helfen, eine möglichst preiswerte und gute Stromversorgung für den jeweiligen Einsatzfall zu finden.



Gleichstromversorgung

Längsregeliges Netzteil

Wie bei der unregelmäßigen Gleichstromversorgung wird auch hier die Netzwechselspannung mittels eines Transformators in die gewünschte Sekundärspannung transformiert und anschließend gleichgerichtet und gesiebt. Diese Spannung wird in einem Regelteil in eine geregelte Spannung am Ausgang umgeformt. Dabei muss die gesiebte Spannung vor dem Stellglied und Regelteil höher sein als die gewünschte Ausgangsspannung.

Die Ausgangsspannung wird überwacht und bei Abweichung sofort nachgeregelt. Das Stellglied wirkt hier wie ein schnell veränderbarer Widerstand. Am Stellglied wird auch das Produkt der Differenz zwischen der unregelmäßigen gesiebt Spannung und der geregelten Ausgangsspannung und des Ausgangsstroms in Verlustwärme umgesetzt.

Dieses System hat den Vorteil, dass ohne großen Aufwand mehrere geregelte Ausgangsspannungen realisiert werden können, indem der Transformator für jede weitere Ausgangsspannung mit einer zusätzlichen Sekundärwicklung versehen wird. Einige Anwendungen lassen sich nur durch dieses Schaltungsprinzip realisieren. Gerade wenn hohe Regelgenauigkeit, schnelle Ausregelzeit und geringe Restwelligkeit gefordert sind.

Aufgrund der Verlustleistung, die abhängig vom Ausgangsstrom ist, wird der Längsregler nur bei kleinen Leistungen eingesetzt. Auch sind das Volumen und das Gewicht relativ groß und der Wirkungsgrad schlecht. Außerdem sollte der Verbraucher geschützt werden, da bei einem Defekt des Längsregler-Transistors die höhere, unregelmäßige Spannung des Siebelkos am Ausgang anliegt.

Vorteile

- Schaltungsprinzip ist einfach und bewährt
- Sehr gute Regeleigenschaften der Ausgangsspannung
- Kurze Ausregelzeit
- Mehrere galvanisch getrennte Ausgangsspannungen durch weitere Sekundärwicklungen einfach realisierbar

Nachteile

- Geringer Wirkungsgrad und Überbrückungszeit
- Aufwendige Wärmeabfuhr
- Relativ großes Volumen und Gewicht



Gleichstromversorgung

Magnetischer Konstanthalter

Hier ist die Eingangswicklung und die Ausgangswicklung wie bei einem Transformator auf einem Kern gewickelt. Jedoch sind diese Wicklungen durch eine Streuluftspalte weitgehend entkoppelt. Die Wicklungen können aufgrund der Trennung unterschiedliche Werte annehmen. Da der Wandler selbst im ferromagnetischen Sättigungsbereich betrieben wird, liefert der magnetische Spannungskonstanthalter eine gut stabilisierte und konstante Ausgangsspannung. Um eine gleichgerichtete Spannung zu erhalten, wird am Ausgang des magnetischen Konstanthalters oftmals ein Längsregler oder ein sekundärgetakteter Schaltregler nachgeschaltet. Die zuverlässige und robuste Technik des magnetischen Konstanthalters ist wartungsfrei, allerdings sind Volumen und Gewicht sehr groß und damit relativ kostenintensiv.

Vorteile

- Spannungsschwankungen, Störspannungsspitzen, Spannungseinbrüche am Eingang werden schnell ausgeglichen bzw. überbrückt
- Sehr gute Regeleigenschaften der Ausgangsspannung in Verbindung mit nachgeschaltetem Längsregler
- Wesentlich besserer Wirkungsgrad gegenüber Längsregler

Nachteile

- Großvolumiges und schweres Netzteil ist aufgrund von magnetischem Bauteil
- Sehr teures Netzteil

Sekundär getaktetes Schaltnetzteil

Hier ist eingangsseitig ein Transformator vorgeschaltet, der die Netzspannung in die gewünschte Sekundärspannung transformiert, die dann gleichgerichtet und gesiebt wird. Ein Schalttransistor übergibt dann impulsweise die Energie in einen weiteren Sieb- und Speicherkreis am Ausgang. Durch das Tastverhältnis wird die Ausgangsspannung geregelt. Die Netzurückwirkungen sind aufgrund des eingangsseitig vorgeschalteten Transformators sehr gering. Diese Schaltung hat einen sehr guten Wirkungsgrad und bietet besonders bei Netzteilen mit mehreren Ausgangsspannungen große Vorteile. Allerdings muss, wie beim längsgeregelten Netzteil, der Verbraucher ausgangsseitig geschützt werden, damit bei einem Defekt des Schalttransistors nicht die volle unregelmäßige Gleichspannung des Siebelkos anliegen kann.

Vorteile

- Einfacher Aufbau
- Mehrere galvanisch getrennte Ausgangsspannungen durch weitere Sekundärwicklungen einfach realisierbar
- Entstörprobleme (EMV) geringer als bei primär getaktetem Schaltnetzteil
- Geringere Verlustleistung als bei längsgeregeltem Netzgerät

Nachteile

- Großvolumiges und schweres Netzteil aufgrund des Transformators
- Ausgangswelligkeit (Ripple, Spikes) entspricht der eines primär getakteten Schaltnetzteils



Gleichstromversorgung

Primär getaktetes Schaltnetzteil

Dieses Schaltnetzteil wird auch SMPS (Switch Mode Power Supply) oder Primärschaltregler genannt. Für dieses Netzteil gibt es viele Schaltungsvarianten, wie z. B. Eintakt-Durchflusswandler, Sperrwandler, Halbbrückenwandler, Vollbrückenwandler, Gegentaktwandler, Resonanzwandler.

Grundsätzlich wird beim primär getakteten Schaltnetzteil die unregelmäßige Netzspannung zuerst einmal gleichgerichtet und gesiebt. Die Kapazität der Sieb-Elkos bestimmt zu einem wesentlichen Teil die Pufferzeit des Netzteils bei eingangsseitigem Spannungsausfall. Die gesiebte Gleichspannung wird mit einem Zeitgeberschaltkreis periodisch unterbrochen und die Primärenergie wird bei hoher Schaltfrequenz übertragen. Die Verlustleistung am Schalttransistor ist gering, und es ergibt sich dadurch je nach Ausgangsspannung und -strom ein Wirkungsgrad $> 70\%$ bis über 90% . Aufgrund der hohen Schaltfrequenz sind die Transformatoren im Primärschaltregler relativ klein, was zu kleineren und leichteren Baugrößen des gesamten Netzteils führt. Die Taktfrequenzen liegen je nach Ausgangsleistung zwischen 20 kHz und 250 kHz . Bei den höheren Taktfrequenzen läuft man aber Gefahr, dass die Schaltverluste zu hoch werden. In diesem Fall muss man einen günstigen Kompromiss zwischen hohem Wirkungsgrad und größtmöglicher Taktfrequenz schließen.

Auf der Sekundärseite wird die Spannung wieder gleichgerichtet, gefiltert und gesiebt. Die Regelabweichung der Ausgangsspannung wird galvanisch getrennt auf den Primärkreis zurückgemeldet. Die Energie überträgt sich über die Impulsbreite auf die Sekundärseite, und die Höhe der Ausgangsspannung wird durch das Verhältnis zwischen Ein- und Ausschaltzeit der Pulsspannung geregelt. Dabei überträgt sich nur die am Ausgang entnommene Energie.

Vorteile

- Kleine magnetische Bauteile (Transformator, Speicherdrossel, Filter) aufgrund hoher Betriebsfrequenz
- Hoher Wirkungsgrad durch die Impulsweitenregelung
- Kompakte, leichte Bauform
- Keine gezwungene Kühlung notwendig
- Netzausfall-Überbrückungszeit durch die Kapazität im Zwischenkreis einstellbar
- Weitbereichseingang der Spannung möglich

Nachteile

- Schaltungsaufwand hoch, viele aktive Bauteile
- Entstöraufwand sehr hoch (EMV)
- Hohe Schaltfrequenz, dadurch mechanischer Aufbau nach HF-Kriterien



Wichtige Fachbegriffe zu Schaltnetzteilen

Ausgangs-Kennlinie

Charakteristik des Verhaltens eines Netzgerätes beim Überschreiten der spezifizierten Ausgangswerte.

Die wichtigsten Charakteristika sind

- **Konstantstrom-Kennlinie**
Beim Überschreiten des Nennstromes liefert das Gerät unabhängig von der Spannung einen konstanten Strom.
- **Fold-Back-Kennlinie**
Beim Überschreiten des Nennstromes geht die Ausgangsspannung gegen Null, der Strom sinkt dadurch ab.
- **Hicc-up-Mode**
Das Gerät schaltet beim Überschreiten des Nennstroms ab, schaltet aber periodisch wieder ein. Liegt die Überlastung nicht mehr vor, schaltet das Gerät automatisch wieder ein und überprüft damit quasi, ob die Überlast noch anliegt.
- **Überstromabschaltung**
Bei Überschreitung des Nennstroms schaltet das Gerät ab und muss nach Beseitigung der Überlast wieder eingeschaltet werden.

Ausgangs-Regelzeit

Die Zeit, die nach einem definierten Lastwechsel benötigt wird, bis die Ausgangsspannung wieder innerhalb der Toleranz liegt.

Betriebstemperatur

Der Temperaturbereich, der bei einem in Betrieb befindlichen Gerät nicht überschritten werden darf
—> Leistungsminderung.

Drift

Änderung der Ausgangsspannung über die Zeit / Temperatur.

DC/DC-Wandler

Gerät, das eine gegebene Gleichspannung mit Hilfe eines Schaltreglers in eine andere Gleichspannung umwandelt.

Einschalt-Stromstoß

Der durch den Ladestrom der Ladekondensatoren verursachte Netz-Spitzenstrom beim Einschalten eines Netzgerätes. Wird ohne weitere Maßnahmen durch die Eingangsimpedanz begrenzt und kann auch durch spezielle Bauelemente weiter begrenzt werden.

Funktstörung, elektromagnetische Störung

Durch Schaltvorgänge innerhalb eines Netzgerätes verursachte unerwünschte hochfrequente Störgrößen. Man unterscheidet zwischen leitungsgebundener und gestrahlter Funkstörung. Leitungsgebundene Störung wird durch Filter in den Leitungen auf zulässige Werte reduziert, während gestrahlte Störung durch optimierte Leiterplattenentflechtung sowie Abschirmung in den zulässigen Grenzen gehalten werden kann.



Wichtige Fachbegriffe zu Schaltnetzteilen

Isolationsspannung

Unter Isolationsspannung versteht man die maximale Spannung, die zwischen voneinander isolierten Stromkreisen anliegen darf.

Kühlung

Wärmeabfuhr von Bauteilen, die Verlustleistung produzieren. Man unterscheidet Wärmestrahlung, Konvektion (natürliche und Zwangskonvektion mit Lüfter) und Wärmeleitung zu einem externen Wärmetauscher.

Kurzschlussgeschützt

Schutz eines Netzgerätes gegen Überlastung und Kurzschluss. Verschiedene Möglichkeiten → Ausgangskennlinie.

Lagertemperatur

Temperaturbereich, in dem ein Gerät gelagert (nicht betrieben) werden darf, ohne dass dabei eine Schädigung erfolgt.

Lastregelung

Änderung der Ausgangsspannung bei einer definierten Änderung der Belastung an diesem Ausgang.

Leistungsrücknahme, Derating

Erforderliche Reduzierung der Ausgangsleistung unter bestimmten Bedingungen, z.B. beim Überschreiten einer definierten Temperatur.

Leistungsfaktor $\cos \varphi$

Quotient aus Wirkleistung und Scheinleistung. Bei einem Schaltnetzteil wird der Leistungsfaktor – bedingt durch eine nicht sinusförmige Stromaufnahme – in der Regel kleiner als 1.

Netzausfallüberbrückung

Die Zeit, in der die Ausgangsspannung noch geregelt wird, nachdem die Netzspannung vollständig ausgefallen ist.

Netzregelung

Änderung der Ausgangsspannung bei definierter Änderung der Netzspannung, während alle anderen Parameter (Last) konstant gehalten werden.

Nominale Ausgangsspannung

Ausgangsspannung, die für das Gerät spezifiziert ist. Sie kann unter Umständen in Grenzen nach oben und unten verändert werden.

Temperaturkoeffizient

Änderung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Temperatur.



Wichtige Fachbegriffe zu Schaltnetzteilen

Umgebungstemperatur

Raumtemperatur bzw. Temperatur der ruhenden Luft, die das eingeschaltete Netzgerät umgibt. Wird üblicherweise ca. 10 mm neben dem in Betrieb befindlichen Gerät gemessen.

Überschwingen

Anstieg der Ausgangsspannung über den spezifizierten Wert nach einem schnellen Lastwechsel.

Überstrom-Begrenzung

Schutzmechanismus gegen Überlastung eines Netzgerätes durch zu hohen Ausgangsstrom —> Kurzschlusschutz.

Wirkungsgrad

Verhältnis der Ausgangsleistung zur Eingangsleistung, normalerweise angegeben bei Volllast und Nenneingangsspannung.

Der Wirkungsgrad ist eines der wichtigsten Merkmale bei der Beurteilung eines Netzgerätes. Die Differenz zwischen Eingangsleistung und Ausgangsleistung wird in Wärme umgesetzt. Jede Erhöhung des Wirkungsgrades bedeutet damit weniger Wärmebelastung für die Bauelemente und somit eine Erhöhung der Lebensdauer des Gerätes. Bereits eine geringe Verbesserung des Prozentwertes des Wirkungsgrades bedeutet eine drastische Verminderung der Verlustleistung.



DC-USV

USV - Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Allgemein

EDV-Anlagen, rechnergestützte Steuerungen, Messsysteme oder auch andere elektronische Geräte sind sehr empfindlich, was die Stromversorgung angeht. Die öffentlichen Versorgungsnetze können, aufgrund der immer stärker steigenden Nutzung der elektrischen Energie in Industrie, Gewerbe, Verkehr und Haushalt, nicht die hundertprozentige Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit liefern, die diese Geräte fordern. Schon kleinste Störungen in der Stromversorgung, z. B. durch Verzerrung, Störimpulse, Netzschwankungen durch kurzzeitig hohen Strombedarf oder Netzausfall, etc. führen zu kostspieligen Datenneueingaben, Datenverlusten, Produktionsausfällen, Reparaturen und Serviceeinsätzen.

Die Qualität der Versorgungsspannung ist zum entscheidenden Faktor für die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit von Geräten und Anlagen geworden. Zur Netzspannungsentstörung können je nach Störungsursache verschiedene "Problemlöser" eingesetzt werden.

In einigen Fällen sind die Netzausfallüberbrückungszeiten der Primärschaltregler ausreichend. Für den längeren totalen oder zeitweiligen Netzausfall bieten die DC-USV-Anlagen eine Abhilfe. DC-USV-Systeme und DC-USV-Module (im Systemverbund mit Netzgeräten) garantieren auch bei totalem Netzausfall einen sicheren DC-Ausgang.

USV-Arten

Offline

Bei dieser USV-Art wird die vorhandene Versorgungsspannung direkt zum Ausgang durchgeschaltet. Fällt nun die Versorgungsspannung aus oder sinkt auf einen unteren Grenzwert, wird die Ausgangsspannung aus einem Akkumulator bezogen. Dies erfolgt durch Umschalten von der direkten Versorgungsspannung auf den Akkumulator. Bei der Umschaltung kann kurzzeitig eine Unterbrechung stattfinden, je nach Schaltschwelle des Umschalters.

Online

Bei dieser USV-Art wird der Verbraucher im Prinzip durch den Akkumulator versorgt, da dieser direkt in die Versorgungsleitung des Verbrauchers eingebunden ist. Der Akkumulator wird vom vorgestellten Netzteil geladen bzw. die Ladung wird erhalten, solange die Versorgungsspannung vorhanden ist. Fällt nun die Versorgungsspannung aus, erfolgt die Versorgung des Verbrauchers automatisch durch den Akkumulator. Dabei entsteht keine Unterbrechung der Versorgungsspannung, da der Akkumulator direkt mit der Versorgungsleitung verbunden ist.



DC-USV

Energie-Puffermedien

Je nach Anforderung an Pufferzeiten und Ströme kann auf Lösungen mit Akkus (integriert oder extern), aber auch auf Pufferung auf Basis von Kapazitäten (Kondensatoren) zurückgegriffen werden.

Bei geringen Strömen oder kurzen Pufferzeiten (kontrolliertes Abschalten einer Steuerung) eignet sich dieses wartungsfreie Puffermedium auch und gerade bei vibrations- oder wärmebelasteten Umgebungen. Mit hoher eingehender Umgebungstemperatur und über die Anzahl der Lade-/Entladezyklen sinkt die Lebenszeit der Akkus. Bei hoher Vibration kann es zu inneren Kontaktierungen kommen. Es handelt sich dabei um konstruktionsbedingte, physikalisch-chemische Gegebenheiten des Akkus, die aber wiederum zwanghaft zu vorbeugender Instandhaltung (Wartungsintervalle, Austausch) führen. Nicht so bei einem Elko-basierten Puffermodul. Dies ist wartungsfrei, vibrationsbeständig und lange nicht so temperaturkritisch zu betrachten und insofern unkritisch bei der Installation.

Die Länge der Pufferzeit und/oder die zu entnehmende Stromstärke während der Pufferung führt jedoch technisch oder wirtschaftlich zwangsweise zur Verwendung von Akkumulatoren.

Bei zeitlich konstanter Stromstärke gilt $Q = I \times t$. So kann beispielsweise bei notwendiger Pufferzeit von 15 min bei 1 A eine Ladungskapazität von 0,25 Ah errechnet werden.

Hinweis: Achten Sie bei der Errechnung notwendiger Akkukapazitäten stets darauf, den Akku durch den Energiebedarf nicht zu mehr als 40 % zu entladen. Einschlägigen Fachberichten ist zu entnehmen, dass bei mehrfacher Entnahme von mehr als 60 % der Kapazität eine Schädigung des Akkus erfolgt. Bedenken Sie auch: Idealerweise ist der Akkusatz zwar stets mit voller Ladung verfügbar, dennoch sind Fälle denkbar, bei denen der Akku just dann gebraucht wird, wenn sein Energieinhalt eben nicht vollständig verfügbar ist (Ladezyklus, vorherige Last etc.).



Transformatoren

Allgemein

Der Transformator ist ein wichtiges Bindeglied in der Energieversorgung und ermöglicht, nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion, elektrische Energie aus einem System mit gegebenen Eigenschaften (Primär) in ein System mit gewünschten Eigenschaften (Sekundär) zu übertragen.

Unser Fertigungsprogramm umfasst

- Einphasen-Trockentransformatoren von 0,5 VA – 400 kVA
- Drehstrom-Trockentransformatoren von 25 VA – 630 kVA
- Ein- und Dreiphasen-Drosseln von 80 VA – 400 kVA

Bei Transformatoren mit Sparwicklungen ergeben sich je nach Übersetzungsverhältnis höhere Durchgangsleistungen. (Siehe Erläuterungen zur Wicklungsart.)

Die außerordentliche Bedeutung, die Transformatoren für die Sicherheit von Menschenleben und die Betriebssicherheit elektrischer Anlagen haben, verlangt ein Höchstmaß an Qualität. Durch den Einsatz hochwertiger Materialien und sorgfältige Verarbeitung gewährleisten unsere Produkte ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Die Transformatoren-Kerne bestehen ausschließlich aus hochlegierten, verlustarmen Dynamoblechen, deren physikalische Eigenschaften der DIN-Norm 46400 entsprechen. Alle innerhalb der Wicklungen verwendeten Isolationsmaterialien entsprechen in ihrer Wärmebeständigkeit mindestens der Isolationsklasse B und sind in ihrer Stärke und Isolationsfähigkeit so bemessen, dass sie den in den VDE-Vorschriften geforderten Hochspannungsprüfungen standhalten.

Laufende Kontrollen der Fertigung und eine Endprüfung aller Geräte garantieren einen gleichbleibend hohen Qualitätsstandard.



Transformatoren

Begriffsdefinitionen

Netztransformatoren

Transformatoren, bei denen die Eingangswicklung von der Ausgangswicklung mindestens durch eine Basisisolierung getrennt ist (EN 61558-2-1).

Steuertransformatoren

Transformatoren mit elektrisch getrennten Wicklungen zur Speisung von elektrischen und elektronischen Steuer- und Meldestromkreisen. Die Steuertransformatoren sind eingangsseitig mit Anzapfungen (vorzugsweise $\pm 5\%$) ausgestattet.

Der Aufbau dieser Transformatoren ist gemäß VDE 0570 Teil 2 – 2 (EN 61558-2-2). Die Kurzzeitleistung eines Steuertransformators ist die Ausgangsleistung bei $\cos \varphi = 0,5$, bei der die Ausgangsspannung höchstens 5 % gegenüber dem Nennwert abfallen darf.

Trenntransformatoren

sind Transformatoren mit elektrisch getrennten Wicklungen (verstärkte Isolation) zur Erfüllung der Anforderungen der Schutzmaßnahme „Schutztrennung“ für den Anschluss eines einzelnen Stromverbrauchers (EN 61558-2-4).

Sicherheitstransformatoren

sind Transformatoren, deren Eingangs- und Ausgangswicklungen durch doppelte oder verstärkte Isolierung elektrisch getrennt sind. Die Transformatoren sind dazu bestimmt, einen Verteilerstromkreis, ein Gerät oder andere Einrichtungen mit Schutzkleinspannung bis 50 Volt AC (Leerlaufspannung) und/oder 120 Volt geglättete Gleichspannung zu versorgen. Die Summe aller Sekundärspannungen darf diese Werte nicht überschreiten (EN 61558-2-6).

Spartransformatoren

sind Transformatoren mit gemeinsamer Eingangs- und Ausgangswicklung. Die Niederspannungswicklung ist ein Teil der Oberspannungswicklung. Durch diesen Aufbau verringern sich die Baugröße, das Gewicht, die Kosten und die Übertragungsverluste gegenüber Transformatoren mit getrennten Wicklungen (EN 61558-2-13).

Drosseln

sind elektrische Betriebsmittel, die nach dem Prinzip der elektromagnetischen Selbstinduktion einen induktiven Widerstand für Wechselstrom darstellen (EN 61558-2-20).



Transformatoren

Bestellangaben

Zur schnellen Abwicklung von Aufträgen und Anfragen sind folgende Angaben erforderlich

Transformatorart mit Typenangabe

Grundsätzliche Unterscheidung in Einphasen- und Drehstrom-Transformatoren. Je nach Anwendungsfall ergibt sich eine weitere Unterscheidung in Hauptgruppen wie Steuertransformatoren (Typenreihe SETN/SETL, FST/SETB) oder Sicherheitstransformatoren (Typenreihe FEST).

Nennleistung in VA oder kVA

Bei mehreren Sekundärwicklungen ist die Leistung für jede Wicklung getrennt anzugeben. Die Nennleistung ergibt sich aus der Summe der Einzelleistungen. Anzapfungen der Sekundärwicklungen sind nur mit dem aus Sekundärleistung und höchster Sekundärspannung errechneten Strom belastbar. Abweichende Stromstärken sind extra anzugeben.

Nennfrequenz oder Frequenzbereich

Im Normalfall 50/60 Hz.

Nennprimärspannung

Netzspannung oder Netzspannungsbereich (V). Bei Drehstromtransformatoren die verkettete Spannung der 3 Außenleiter gegeneinander.

Nennsekundär-Lastspannung

oder Nennsekundär-Lastspannungsbereich (V). Bei Drehstromtransformatoren die verkettete Spannung der 3 Außenleiter gegeneinander.

Wicklungsart

Getrennt- oder Sparwicklung.

Betriebsart

Die Betriebsart DB braucht nicht angegeben zu werden. Für andere Belastungsarten mit bestimmter Einschaltdauer ist die Angabe des Arbeitsspiels nötig.

Schaltgruppe

Gewünschte Verschaltung der Primär- und Sekundärwicklung (nur bei Drehstromtransformatoren).

Schutzart

Berührungs-, Fremdkörper- und Wasserschutz.

Besondere Betriebsbedingungen

Erhöhte Umgebungstemperaturen, Verwendung in tropischen Gebieten (Tropenisolation), usw.

Besondere elektrische Bedingungen

Besonders niedrige Verluste, besondere Spannungsabfälle bei bestimmten Belastungen, Schutzklasse II, Kurzschlussfestigkeit, usw.

Besondere Verwendungszwecke

Zur Motorenprüfung, zum Betrieb von Heizungen, als Anlass-Transformatoren, usw.



Transformatoren

Nennleistung (Bemessungsleistung S)

Die im Katalog angegebenen Nennleistungen sind die ausgangsseitig entnehmbaren Leistungen in VA oder kVA.

Sie gelten für

- Getrenntwicklung mit einer Übersetzung
- Nenn-Primärspannung
- Dauerbetrieb (DB)
- Nennfrequenz 50 / 60 Hz
- Umgebungstemperatur 40°C

Die Nennleistung errechnet sich

- bei Einphasen-Transformatoren als Produkt aus Nennsekundärspannung und Nennsekundärstrom:

$$S \text{ [VA]} = U \text{ [V]} \times I \text{ [A]}$$

- bei Drehstromtransformatoren als Produkt aus Nennsekundärspannung, Nennsekundärstrom und Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$:

$$S \text{ [VA]} = U \text{ [V]} \times I \text{ [A]} \times \sqrt{3}$$

- bei mehreren Ausgangswicklungen ist die Nennleistung gleich der Summe aller Einzelleistungen:

$$S \text{ [VA]} = S_1 \text{ [VA]} + S_2 \text{ [VA]} + \dots + S_n \text{ [VA]}$$

Anzapfungen der Sekundärwicklungen sind nur mit dem errechneten Strom aus Sekundärleistung und höchster Sekundärspannung belastbar. Wird eine konstante Ausgangsleistung über den gesamten Spannungsbereich oder die Verwendbarkeit für mehrere Primärspannungen verlangt, so kann sich die erforderliche Baugröße erhöhen.

Bitte beachten Sie in diesem Zusammenhang die Rubriken Nennprimärspannung und Nennsekundärspannung.



Transformatoren

Nennfrequenz (Bemessungsfrequenz f)

Alle dargestellten Transformatoren sind zur Verwendung in Versorgungsnetzen mit Frequenzen von 50/60 Hz geeignet. Die genannten Verluste, Spannungsabfälle und Wirkungsgrade beziehen sich auf die Nennfrequenz von 50 Hz.

Bei Auslegung der Transformatoren für abweichende Frequenzen ändert sich die Nennleistung nach folgender Tabelle:

Frequenz in Hz	16 ² / ₃	40	42	50	60	75	100	200	300
Leistung in [%] der Typenleistung	35	80	84	100	110	115	130	135	140

Bei Verwendung eines Standardtransformators mit der Frequenz-Angabe 50/60 Hz in einem 60 Hz Versorgungsnetz darf die angegebene Nennleistung nicht überschritten werden. Abweichende Frequenzen müssen bereits bei der Dimensionierung berücksichtigt werden.

Nennprimärspannung

Die Nennprimärspannung ist die Netzspannung, für die der Transformator bezeichnet ist. Bei Mehrphasennetzen (z.B. Dreiphasennetz) ist die angegebene Spannung die Außenleiterspannung. Die Primärspannung ist die Eingangsspannung, an die der Transformator angeschlossen wird.

Zur Verwendung an verschiedenen Versorgungsnetzen können Transformatoren mit Anzapfungen der Primärwicklung versehen werden. Dies führt jedoch oftmals zur Wahl der nächst größeren Baugröße bzw. Type, da im unteren Spannungsbereich größere Drahtquerschnitte erforderlich sind als im oberen Spannungsbereich.

$$S_t = S + S \times \frac{(U_2 - U_1)}{2 U_2}$$

S_t = Typenleistung S = Nennleistung U_1 = untere Spannung U_2 = obere Spannung

Eine Ausnahme bilden 2 Primärspannungen, die im Verhältnis von 1 : 2 zueinander stehen. Durch wahlweise Serien- oder Parallelschaltung von zwei gleichen Wicklungsteilen (z. B. 2 x 115 V) ist das Gerät für beide Spannungen verwendbar, ohne dass ein zusätzlicher Wickelraumbedarf entsteht.

In Abwandlung dieses Prinzips ist es möglich, durch Kombination verschiedener Eingangswicklungen einen breiten Primärspannungsbereich mit einem vertretbaren Aufwand an Wickelraum abzudecken. (Siehe unsere Typenreihe USTB/USTN/USTLB).



Transformatoren

Nennsekundärspannung

Als Nennsekundärspannung oder Sekundär-Lastspannung wird die Spannung bezeichnet, die sich unter Belastung mit Nennleistung bei Nennfrequenz und Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$ nach Erreichen der Betriebstemperatur an den Ausgangsklemmen des Transformators einstellt. Sie ist immer um den Spannungsabfall kleiner als die Sekundär-Leerlaufspannung, die sich in unbelastetem Zustand ergibt. Den unter den oben genannten Bedingungen für die einzelnen Typen spezifischen Spannungsabfall, ausgedrückt in % der Sekundär-Lastspannung, finden Sie in den Tabellen der entsprechenden Katalogseite. Um verschiedene Sekundärspannungen zu erhalten, können Sekundärwicklungen mit Anzapfungen versehen werden. Diese Anzapfungen sind jedoch nur mit dem aus Sekundärleistung und der höchsten Sekundärspannung errechneten Strom belastbar. Wird eine konstante Leistung über den gesamten Spannungsbereich verlangt, kann sich die erforderliche Baugröße erhöhen. Eine übersichtliche Ermittlung der erforderlichen Typenleistung ermöglicht die folgende Formel:

$$S_t = S + S \times \frac{(U_2 - U_1)}{2 U_2}$$

S_t = Typenleistung S = Nennleistung U_1 = untere Spannung U_2 = obere Spannung

Wicklungsarten

Getrenntwicklung

Zwischen der Primär- und der Sekundärwicklung besteht keine elektrisch leitende Verbindung. Die Energieübertragung geschieht mit Hilfe eines geschlossenen Eisenkreises, der die Wicklung magnetisch miteinander koppelt. Die Sekundärwicklung ist erdfrei, d. h. gegenüber Erdpotenzial tritt keine Berührungsspannung auf.

Bei Transformatoren mit getrennten Wicklungen sind die Typenleistungen und die im Katalog angegebenen Nennleistungen identisch.

Sparwicklung

Primär- und Sekundärwicklung sind elektrisch leitend miteinander verbunden. Die Unterspannungswicklung ist ein Teil der Oberspannungswicklung des Transformators. Die Durchgangsleistung wird zum Teil induktiv und zum Teil durch Stromleitung übertragen. Je kleiner die Differenz zwischen Ober- und Unterspannung ist, um so kleiner wird der induktiv übertragene Leistungsanteil und damit die erforderliche Baugröße.

Die Baugröße oder Typenleistung eines Spartransformators ist immer kleiner als die Nennleistung (Durchgangsleistung) und errechnet sich nach folgender Formel:

$$S_t = S \times (1 - U_1 / U_2)$$

S_t = Typenleistung S = Nennleistung U_1 = untere Spannung U_2 = obere Spannung

Spartransformatoren dürfen nicht als Schutztransformatoren verwendet werden. Ausgang besitzt Spannungspotenzial gegenüber Erde.



Transformatoren

Betriebsarten

Dauerbetrieb (DB)

Die Betriebszeit ist mindestens so lang, dass die Betriebstemperatur erreicht wird.

Aussetzbetrieb (AB), Kurzzeitbetrieb (KB)

Die als zulässig angegebene Betriebszeit ist so kurz, dass die Betriebstemperatur nicht erreicht wird. Die nachfolgende Betriebspause, in der der Transformator eingangsseitig vom Netz getrennt ist, ist zu kurz, um die Abkühlung auf Umgebungstemperatur zu erreichen.

Die Nennleistungsangaben im Katalog beziehen sich auf die Betriebsart DB. Bei genauer Kenntnis der tatsächlichen Belastungszeit (AB) kann deshalb oftmals ein Transformator mit kleinerer Typenleistung eingesetzt werden.

Vorgehensweise bei der Ermittlung der erforderlichen Typenleistung

a) Bestimmung der prozentualen Einschaltdauer nach folgender Formel:

$$ED (\%) = 100 \times \text{Belastungszeit in Minuten} / \text{Spieldauer in Minuten}$$

Die Spieldauer (Betriebszeit + Betriebspause) darf 10 Minuten nicht überschreiten.

b) Ermittlung der erforderlichen Typenleistung in % der Nennleistung nach folgender Tabelle:

ED (%)	1,5	5	10	15	20	40	60
N _T (%)	12	20	30	40	45	60	70

Hierbei jedoch zu beachten, dass sich der Spannungsabfall im Verhältnis von Nennleistung zur Typenleistung erhöht.

$$\text{Spannungsabfall in \% der Sekundärnennspannung} = (S/S_T) \times \text{spezifischer Spannungsabfall.}$$

Diese Tatsache ist vor allem dann von Bedeutung, wenn der Transformator mit relativ kleiner Grundlast in Dauerbetrieb, verbunden mit kurzzeitigen Belastungsspitzen, betrieben werden soll. Hier ist im Allgemeinen die höchstzulässige Spannungsdifferenz, die sich zwischen kleinster und größter Ausgangsbelastung ergibt, das Hauptkriterium für die Wahl der Typengröße.



Transformatoren

Betriebsarten

Zulässige Überlastung

Ohne die zulässige Übertemperatur zu überschreiten, kann ein Transformator entsprechend nachstehender Tabelle mit einer höheren Leistung als der Nennleistung belastet werden, wenn die vorausgegangene Dauerbelastung kleiner als die Transformatoren-Nennleistung war.

Vorausgegangene Dauerlast in % der Nennleistung	Zulässige Überlastungsdauer für eine Überlastung in % der Nennleistung					
	10	20	30	40	50	%
50	60	30	20	15	12	Minuten
75	55	23	15	11	9	Minuten
90	45	16	10	7	5	Minuten

Schaltgruppen

Die Schaltgruppe kennzeichnet bei Drehstrom-Transformatoren die Schaltung der Wicklungen und ihre Phasenlage zueinander.

Die Bezeichnung der Schaltgruppe erfolgt durch Großbuchstaben für die Oberspannungswicklungen, Kleinbuchstaben für die Unterspannungswicklungen und einer Kennzahl für die Phasenlage. Die Kennzahl gibt die Nacheilung der Unterspannung gegenüber der Oberspannung als Vielfaches von 30° an.

Beispiel: Dyn5

Oberspannungswicklung in Dreieck

Unterspannungswicklung in Stern mit herausgeführtem Nullpunkt

Nacheilung der Unterspannung gegenüber der Oberspannung

$$5 \times 30^\circ = 150^\circ$$

Drehstrom-Transformatoren werden, wenn keine besondere Schaltgruppe angegeben ist, in Stern-Stern-Schaltung mit sekundärseitig herausgeführtem Nullpunkt aufgebaut. Die Schaltgruppen sind Yyn0 bei Getrenntwicklungs- und YNa0 bei Sparwicklungs-Transformatoren. Der Sternpunkt kann ohne besondere Maßnahmen mit ca. 10 % des Außenleiterstroms belastet werden.

Weitere bevorzugte Schaltgruppen sind

Dreieck-Stern-Schaltung mit sekundärseitig herausgeführtem Nullpunkt	Dyn5
Stern-Dreieck-Schaltung	Yd5
Stern-Zick-Zack-Schaltung mit sekundärseitig herausgeführtem Nullpunkt	Yzn5
Zick-Zack-Spar-Schaltung mit herausgeführtem Nullpunkt	ZNa

Bei Transformatoren der Schaltgruppen Dzn0, Dyn5, Dyn11, Yzn5, Yzn11 und ZNa kann der Sternpunkt ohne besondere Maßnahmen 100 % belastet werden.



Transformatoren

Schutzarten

Die IP-Schutzart bezeichnet den Berührungs-, Fremdkörper- und Wasserschutz der elektrischen Betriebsmittel. Die meist verwendeten Schutzarten sind IP 00, IP 20, IP 23, IP 44, IP 54. Wird nur eine Kennziffer für den Schutzgrad gebraucht, so wird die andere Ziffer durch ein X ersetzt.

Nach DIN 40 050 sind die einzelnen Schutzarten wie folgt definiert

- | 1. Ziffer | Schutzgrad für Berührungs- und Fremdkörperschutz |
|------------------|---|
| 0 | Kein besonderer Schutz |
| 1 | Schutz gegen Berühren aktiver Teile mit dem Handrücken
(feste Fremdkörper mit $\varnothing \geq 50$ mm) |
| 2 | Schutz gegen Berühren aktiver Teile mit dem Finger
(feste Fremdkörper mit $\varnothing \geq 12,5$ mm) |
| 3 | Schutz gegen Berühren aktiver Teile mit einem Werkzeug
(feste Fremdkörper mit $\varnothing \geq 2,5$ mm) |
| 4 | Schutz gegen Berühren aktiver Teile mit einem Draht
(feste Fremdkörper mit $\varnothing \geq 1$ mm) |
| 5 | Vollständiger Berührungsschutz aktiver Teile
(Schutz gegen Staubablagerungen im Inneren) |
| 6 | Vollständiger Berührungsschutz aktiver Teile
(Schutz gegen Eindringen von Staub) |
-
- | 2. Ziffer | Schutzgrad für Wasserschutz |
|------------------|---|
| 0 | Kein besonderer Schutz |
| 1 | Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser
(darf keine schädliche Wirkung haben) |
| 2 | wie 1; zusätzlich ... wenn die Maschine um bis zu 15°
gegenüber der normalen Lage gekippt ist |
| 3 | Schutz gegen Sprühwasser. Wasser, das in einem beliebigen Winkel bis 60°
zur Senkrechten fällt, darf keine schädliche Wirkung haben. |
| 4 | Schutz gegen Spritzwasser. Wasser, das aus allen Richtungen spritzt,
darf keine schädliche Wirkung haben. |
| 5 | Schutz gegen Strahlwasser. Wasserstrahl, der aus allen Richtungen gegen
das Gehäuse gerichtet wird, darf keine schädliche Wirkung haben. |
| 6 | Schutz gegen Überflutung. Wasser, das bei vorübergehender Überflutung
nicht in schädlichen Mengen in das Betriebsmittel eindringt. |
| 7 | Schutz beim Eintauchen. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen eindringen,
wenn das Betriebsmittel unter festgelegten Druck- und Zeitbedingungen in
Wasser getaucht wird. |
| 8 | Schutz beim Untertauchen. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen ein-
dringen, wenn das Betriebsmittel unter Wasser getaucht wird und die
Bedingungen schwieriger sind als für die Kennziffer 7. |



Transformatoren

Besondere Betriebsbedingungen

Umgebungstemperatur

Wenn ein ungehinderter Durchlauf der Kühlluft gewährleistet ist, werden bei max. 40°C Umgebungstemperatur durch die betriebsmäßige Erwärmung der Transformatoren die nach VDE 0570 zulässigen Übertemperaturen nicht überschritten.

In der VDE 0570 Transformatorenvorschrift sind die Temperaturwerte bei bestimmungsgemäßem Gebrauch und Dauerbelastung in einzelne Isolierstoffklassen unterteilt, die im Folgenden aufgeführt sind:

Isoliersystem-Klasse	Temperatur in °C
A	100
E	115
B	120
F	140
H	165

Die im Katalog aufgeführten Transformatoren sind mit Isolierstoffen der Klasse B aufgebaut. Bei höheren Umgebungstemperaturen vermindert sich die Nennleistung entsprechend nachstehender Tabelle:

Umgebungstemperatur [°C]	45	50	55	60	65	70
Nennleistung in % der Typenleistung	95	85	80	75	70	60

Isolation

Der Isolationsaufbau gestattet die Verwendung der Transformatoren in trockenen oder feuchten Räumen, da die Transformatoren einer Lacktränkung unter Vakuum unterzogen werden. Feuchtigkeitseinflüsse sind dadurch weitgehend ausgeschaltet.

Zur Erzielung einer Tropenfestigkeit dienen wiederholte derartige Tränkungen mit Nachbehandlung in einem Schutzlack, der einen Spezialwirkstoff gegen Schimmel und Schwammbefall (Funginbefall) enthält.



Transformatoren

Besondere elektrische Bedingungen

Kurzschlussfestigkeit

Transformatoren müssen unter bestimmten Bedingungen Überlastungen, die im normalen Gebrauch vorkommen können, und Kurzschlüssen standhalten.

In den VDE-Bestimmungen werden Transformatoren nach Art der Kurzschlussfestigkeit unterteilt, die im Folgenden aufgeführt sind:

- **Unbedingt kurzschlussfest**

Transformatoren ohne Schutzeinrichtung, bei denen die Temperatur bei Überlast oder im Kurzschlussfall die festgelegten Grenztemperaturen nicht überschreitet und die nach dem Entfernen der Überlast oder des Kurzschlusses weiterbetrieben werden können. Diese Kurzschlussfestigkeit wird durch einen inneren Spannungsabfall im Gerät erreicht.

Hinweis: Physikalisch bedingt lassen derartige Transformatoren nur Konstruktionen mit geringer Nennleistung zu. Der Leerlaufspannungsfaktor kann dabei einen Wert bis 2,5 annehmen.

- **Bedingt kurzschlussfest**

Transformatoren mit einer eingebauten Schutzeinrichtung, die den Stromkreis öffnet oder den Strom im Eingangs- oder Ausgangskreis begrenzt, wenn der Transformator überlastet oder kurzgeschlossen wird.

Hinweis: Beispiele für Schutzeinrichtungen sind Sicherungen, Überlastauslöser, Temperatur-Sicherungen, selbsttätig oder nicht selbsttätig zurückstellende Temperaturbegrenzer, Kaltleiter und automatisch mechanisch auslösende Schutzschalter.

- **Nicht kurzschlussfest**

Transformatoren ohne Schutzeinrichtung. Die Transformatoren müssen vom Betreiber durch geeignete Schutzeinrichtungen in der Zu- oder Ableitung vor Überlastung geschützt werden. Sie entsprechen unter diesen Voraussetzungen wieder den Bestimmungen über bedingt kurzschlussfeste Transformatoren.

Falls kein technischer Grund für das Gegenteil besteht, muss die Schutzvorrichtung von bedingt kurzschlussfesten Transformatoren im Eingangsstromkreis angebracht sein.

Bei der Absicherung des Eingangsstromkreises mit Schmelzsicherungen ist zu beachten, dass bei den meisten Transformatoren Einschaltstromspitzen auftreten, die ein Mehrfaches des Primärnennstroms betragen. Es empfiehlt sich deshalb, nur Sicherungen mit träger Abschmelzcharakteristik zu verwenden.



Transformatoren

Schutzklasse

Die Schutzklasse drückt aus, für welche Art der Schutzmaßnahmen gegen unzulässige Berührungsspannungen Geräte vorbereitet oder in welche sie einbezogen sind.

Zur **Schutzklasse I** gehören Transformatoren und Drosseln, bei denen alle berührbaren Metallteile, die im Falle eines Fehlers der Betriebsisolierung unter Spannung gesetzt werden können, dauerhaft und gut leitend untereinander und mit der Vorrichtung für den Anschluss eines Schutzleiters verbunden sind. Sie werden durch Anschluss des Schutzleiters in die Schutzmaßnahme 'Schutzerdung' einbezogen.

Zur **Schutzklasse II** gehören Transformatoren, bei denen alle berührbaren, leitfähigen Teile von solchen Teilen, die im Falle eines Fehlers der Betriebsisolierung unter Spannung gesetzt werden können, durch zusätzliche Isolierung (Schutzisolierung, z.B. durch ein Kunststoffgehäuse) getrennt sind. Sie haben keine Vorrichtung für den Anschluss eines Schutzleiters.

Alle dargestellten Transformatoren, mit Ausnahme der Typenreihe RK, RKG, RKS und RKR, sind von uns für die Schutzklasse I vorbereitet.



Transformatoren

Unfallverhütungs-Vorschriften

BGV A2 (VBG4)

der Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik

Was ist die BGV A2 (VBG4)?

Dies ist eine Unfallverhütungsvorschrift für elektrische Anlagen und Betriebsmittel. Sie wendet sich an Betreiber solcher Anlagen mit dem Ziel, Unfälle zu vermeiden. Neben den Regelungen für "Arbeiten und Bedienen" an oder in der Nähe von aktiven Teilen wird besonders die Tätigkeit "Gelegentliches Handhaben" behandelt.

Gelegentliches Handhaben kommt vor bei

- Auswechseln von Schraubsicherungen und Anzeigelampen
- Betätigen von Schutzeinrichtungen an Schaltern und Auslösern
- Entsperren von Relais (Rückstellen des Überstromauslösers)
- Justieren von Auslösern

Hierzu fordert die BGV A2 (VBG4)

Die aktiven Teile elektrischer Anlagen und Betriebsmittel müssen entsprechend ihrer Spannung, Frequenz, Verwendungsart und ihrem Betriebsort durch Isolation, Lage, Anordnung oder fest angebrachte Einrichtungen gegen direktes Berühren geschützt sein.

Diese Berührung spannungsführender Teile kann erfolgen

- a) mit den Fingern
- b) mit dem Handrücken

Dazu kennt die BGV A2 (VBG4)

- a) Fingersichere Geräte
- b) Handrückensichere Geräte

Die Transformatoren der Firma Gebrüder Frei GmbH & Co. sind grundsätzlich mit fingersicheren Anschlussklemmen ausgestattet.