



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 ausgeregelt 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 ungeregelte 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 ungerichtete 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 Nennstroms geht die Ausgangsspannung gegen Null, und der Strom sinkt dadurch ab.

- **Hicc-up-Mode**

Das Gerät schaltet beim Überschreiten des Nennstroms ab, schaltet aber periodisch wieder ein, überprüft damit quasi, ob die Überlast noch anliegt. Liegt die Überlastung nicht mehr vor, schaltet das Gerät automatisch wieder ein.

- **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.

DC/DC-Wandler

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

Drift

Änderung der Ausgangsspannung über die Zeit / Temperatur.

Einschalt-Stromstoß

Der durch den Ladestrom der Ladekondensatoren verursachte Netz-Spitzenstrom beim Einschalten eines Netzgerätes. Wird ohne weitere Maßnahmen durch die Eingangsimpedanz begrenzt, 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 Leiterplattenflechtung sowie Abschirmung in den zulässigen Grenzen gehalten werden kann.

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.



Wichtige Fachbegriffe zu Schaltnetzteilen

Lastregelung

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

Lagertemperatur

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

Leistungsfaktor $\cos \varphi$

Quotient aus Wirkleistung und Scheinleistung. Bei einem Schaltnetzteil ergibt sich ein Leistungsfaktor, bedingt durch eine nicht sinusförmige Stromaufnahme, in der Regel von kleiner als 1.

Leistungsrücknahme, Derating

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

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, kann unter Umständen in Grenzen nach oben und unten verändert werden.

Temperaturkoeffizient

Änderung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Temperatur.

Überbrückungszeit

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

Überschwingen

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

Überstrom-Begrenzung

Schutzmechanismus gegen Überlastung eines Netzgerätes durch zu hohen Ausgangsstrom \rightarrow Kurzschlusschutz.

Umgebungstemperatur

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

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.