Warum ist die Überbrückungszeit wichtig?

Erhöhung der Überbrückungszeit (Hold-up Time) eines Netzteils

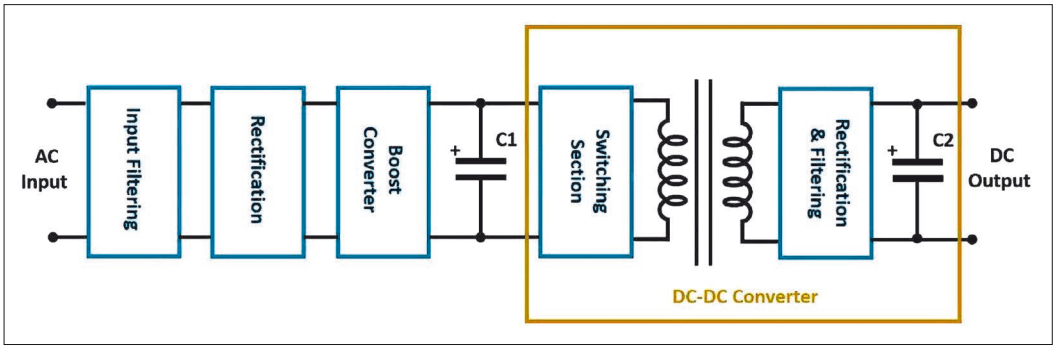

Bild 1: AC/DC-Netzteil-Blockschaltbild

Während eines Gewitters oder wenn Geräte am gleichen Netz mit leistungsstarken Maschinen betrieben werden, können kurzzeitige Einbrüche oder sogar Unterbrechungen der AC-Eingangsspannung auftreten. Diese werden zum Beispiel verursacht durch einen Blitzeinschlag in unmittelbarer Nähe oder in industriellen Fertigungsstraßen durch starke Spitzenlasten z. B. während eines Schweißvorgangs.

Ein Netzteil mit Niederspannungsausgang zur Versorgung einer Maschinensteuerung ist so ausgelegt, dass es den Ausfall seiner Eingangsspannung für relativ kurze Zeit überbrücken kann. Unterbrechungen von weniger als 10 bis 20 ms (Millisekunden) führen in der Regel nicht zu einer Beeinträchtigung oder gar dem Verlust der Ausgangsspannung. Bei längeren Unterbrechungen ist die in den Elektrolytkondensatoren des Zwischenkreises gespeicherte Energie schnell aufgebraucht und die Ausgangsspannung bricht zuerst ein und schaltet sich anschließend komplett aus.

Unkontrollierte Abbrüche

In industriellen Anwendungen könnte dies zu einem Abbruch des Produktionsprozesses führen. Im besten Fall macht die Anlage dabei einen automatischen Restart. Oft führen solche unkontrollierten Abbrüche aber zum Verlust von Prozessdaten und der Zerstörung von halbfertigen Produktionsgütern. Diese resultieren dann in teilweise enorme Kosten für Verzögerungen im Produktionsprozess, den Verlust von Rohmaterialien oder erhöhtem Aufwand für manuelle Nacharbeit.

Sicherheits-Standards für Medizingeräte

Die letzte Ausgabe des allgemeinen Sicherheits-Standards für Medizingeräte, die EN60601-1-2; 2015 (Ed4) beinhaltet eine Risikoanalyse sowohl für den Patienten als auch für den Bediener. Nicht zuletzt aufgrund des starken Wachstums im Bereich Medizingeräte für Heimanwendung fordert diese Norm nun Tests mit Spannungsunterbrechungen zwischen 20 ms und 5 Sekunden. Der Betrieb eines Netzteils ohne Eingangsspannung für mehrere Sekunden ist unrealistisch. Solch lange Überbrückungszeiten lassen sich in der Regel nur durch eine Batteriepufferung realisieren.

Luftfahrtindustrie

In der Luftfahrtindustrie ist die Norm DO-160 bereits seit vielen Jahren in Kraft. Abschnitt 16 bezieht sich auf die Eingangsversorgung und simuliert die Bedingungen für die Stromversorgung des Flugzeugs am Boden vor dem Anlassen der Triebwerke (mit Versorgung über eine externe Einspeisung) bis nach der Landung, einschließlich Notfällen. Hier wird eine Überbrückungszeit von mindestens 200 ms gefordert. Jeder, der einmal in einem Verkehrsflugzeug geflogen ist, hat vielleicht schon einmal bemerkt, dass zwar die Kabinenbeleuchtung flackert wenn die Stromversorgung des Flugzeugs am Flugsteig auf die Triebwerksgeneratoren umgeschaltet wird, die Multimediasysteme gleichzeitig aber unterbrechungsfrei weiterlaufen.

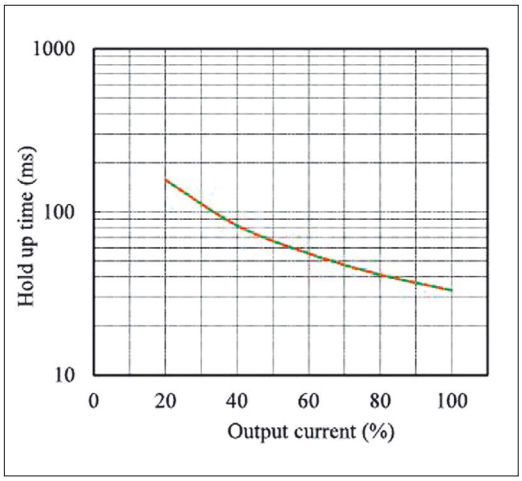

Bild 2: Überbrückungszeit in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung am Netzteil RWS150B-12

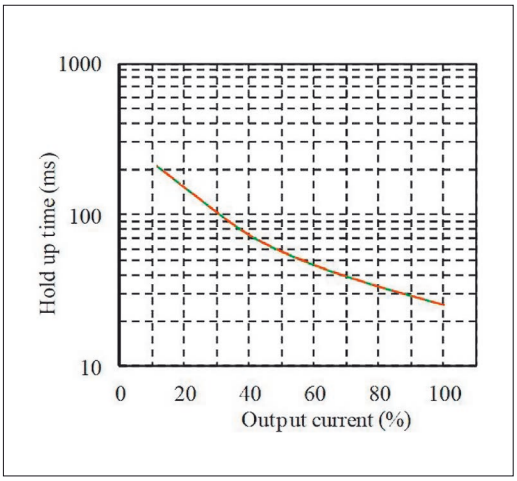

Bild 3: Überbrückungszeit in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung am Netzteil CUS1500M-12

TDK-Lambda Germany GmbH
www.emea.lambda.tdk.com/de

Technologien zur Verlängerung der Überbrückungszeit

Es gibt verschiedene Methoden zur Verlängerung der Überbrückungszeit einer Stromversorgung mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen.

Um diese im Detail bewerten zu können, hier zunächst ein kurzer Überblick über die Funktionsweise eines AC/DC-Netzteils (Bild 1).

Auf der linken Seite befindet sich der AC-Eingang, der gefiltert, gleichgerichtet und mit Hilfe eines Boosters auf ca. 390 VDC hochgesetzt wird. Der DC/DC-Konverter stellt die galvanische Trennung zwischen Netzpotential und Ausgang sicher und reduziert die Zwischenkreisspannung von 390 VDC auf die gewünschte (geringere) Ausgangsspannung. Die Hauptfunktion des Elektrolytkondensators (C1) besteht darin Einbrüche und kurzzeitige Aussetzer am AC-Eingang zu überbrücken und damit eine störungsfreie Spannungs-versorgung am Ausgang zu gewährleisten.

Gespeicherte Energie

Die im Kondensator C1 gespeicherte Energie wird wie folgt berechnet:

$\frac{1}{2} \times C1 \times V^2$

Um die gespeicherte Energie und damit die Überbrückungszeit zu erhöhen, muss entweder die Kapazität oder die Spannung am Kondensator erhöht werden. Da die Spannung V im Quadrat einfließt, hat eine Spannungserhöhung den weit größeren Effekt.

Anwendungsbeispiel

Um die verschiedenen Methoden zur Erhöhung der Überbrückungszeit gegenüber zu stellen, verwenden wir hier ein Anwendungsbeispiel mit einer geforderten Überbrückungszeit von 200 ms und einer Belastung von 150 W bei 12 V Ausgangsspannung (mit einer Mindestausgangsspannung von 11,5 V).

1. Einsatz eines leistungsstärkeren Netzteils mit reduzierter Belastung

Ein leistungsstärkeres Netzteil hat in der Regel auch eine größere Zwischenkreis-Kapazität (C1) als ein Netzteil mit geringerer Leistung. Dies begründet sich darin, dass für eine identische Überbrückungszeit analog mit der Leistung auch mehr Energie gespeichert werden muss.

Wenn wir für unser Anwendungsbeispiel mit 150 W bei 12 V das Netzteil RWS150B-12 von TDK-Lambda einsetzen, lassen sich nur etwas mehr als 30 ms Überbrückungszeit erzielen (Bild 2). Das reicht für die Anforderung von 200 ms bei weitem nicht aus. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass die in C1 gespeicherte Energie umso schneller verbraucht wird, je größer die Ausgangsleistung ist. Umgekehrt gilt: Je geringer die Ausgangsleitung, desto länger die Zeit bis die Energie in C1 aufgebraucht ist.

Um eine Überbrückungszeit von 200 ms zu erreichen, könnte man das Netzteil CUS1500M-12 mit einer Nennleistung von 1500 W verwenden (Bild 3).

Da die Zwischenkreis-Kapazität C1 im CUS1500M-12 viel größer ist, steigt bei der Belastung mit gerade einmal 10 % der Nennleistung (150 W) die Überbrückungszeit auf etwa 200 ms an.

Dies wäre eine sehr einfache Lösung, aber der Einsatz eines 10-fach überdimensionierten Netzteils zur Steigerung der Überbrückungszeit wird in der Praxis zumeist an der Baugröße und dem Preis scheitern.

2. Zusätzliche Kapazität an den Ausgangsklemmen des Netzteils oder an der Last

Eine zusätzliche Kapazität (C3) am Ausgang erscheint auf den ersten Blick als einfachste Lösung (Bild 4). Man darf hier aber nicht außer Acht lassen, dass die Ausgangsspannung nicht unter 11,5 V absinken darf und dadurch der größte Teil der Ausgangskapazität ungenutzt bleibt. Ausgehend von der nachfolgenden Gleichung müsste C3 in diesem Fall eine gewaltige Kapazität von 4.595.745 µF oder 4,5 Farad haben! Dies würde viel Platz beanspruchen und könnte ferner zu Problemen beim Anlauf des Netzteils führen. Eine derart große Kapazität stellt einen Kurzschluss für das Netzteil dar und dessen Strombegrenzung muss dafür ausgelegt sein.

$C = 2 \times P_{out} \times t / (V^2 - V_{end}^2)$

$C = 2 \times 150 \times 0{,}18 / (12^2 - 11{,}5^2)$

Anmerkung: Da das Netzteil selbst bereits eine Überbrückungszeit von 20 ms bereitstellt, müssen am Ausgang nur noch 180 ms (0,18 s) ergänzt werden.

3. Eine kundenspezifische Sonderentwicklung mit einem größeren Zwischenkreis-Kondensator (C1)

Wie zuvor bereits erwähnt, berechnet sich die in einem Kondensator gespeicherte Energie nach der Formel $E = \frac{1}{2} \times C \times V^2$. Das Hinzufügen des Kondensators C1a parallel zu unserem ursprünglichen Kondensator C1 im Zwischenkreis hat eine größere Wirkung als das Hinzufügen einer Kapazität über den 12-V-Ausgang (Bild 5).

Um einen zusätzlichen Kondensator C1a auf der Primärseite des Netzteils zu ergänzen, wird zumindest eine Modifikation des Standarddesigns oder sogar eine kundenspezifische Neuentwicklung erforderlich. Dies erfordert neben Zeit und Ressourcen für die eigentliche Entwicklung auch noch weiteren Aufwand für eine neue Safety-Zulassung des angepassten Gerätes.

Wenn das ursprüngliche Netzteil-Design eine Überbrückungszeit von 20 ms bietet, müssten für einen Ausbau auf 200 ms gleich neun weitere Kondensatoren des gleichen Typs ergänzt werden. Ein Zwischenkreiskondensator wie der C1 nimmt in der Regel 5 bis 6 % des Bauraums eines Netzteils ein. Durch eine Ergänzung von neun weiteren Kondensatoren würde die Größe des Netzteils damit um etwa 50 % anwachsen.

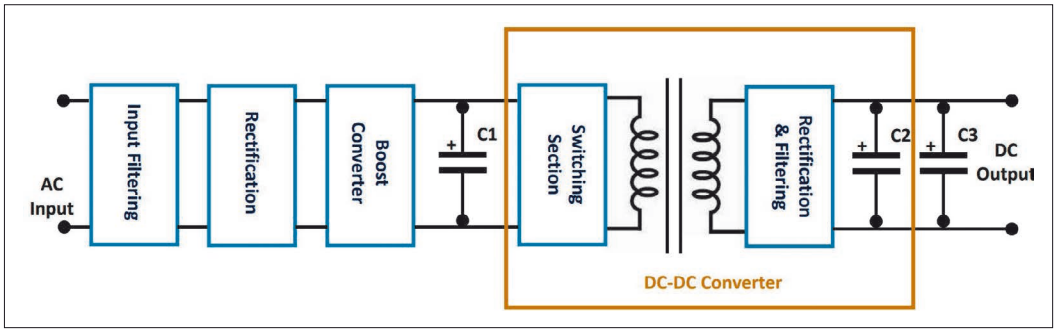

Bild 4: Hinzufügen von Kapazität am Ausgang

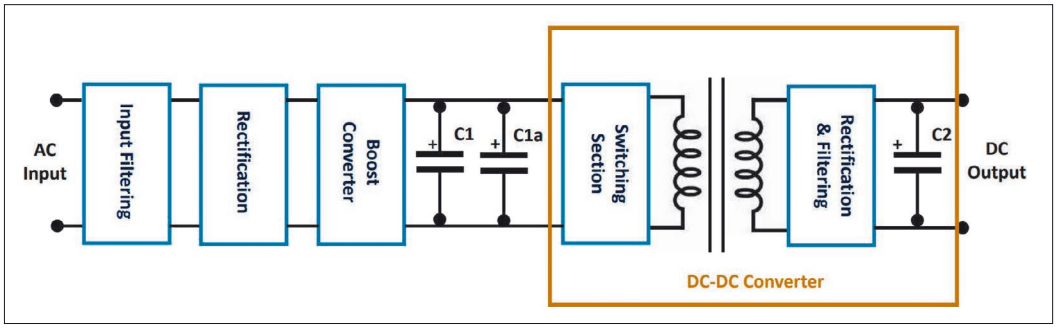

Bild 5: Größere Zwischenkreis-Kapazität

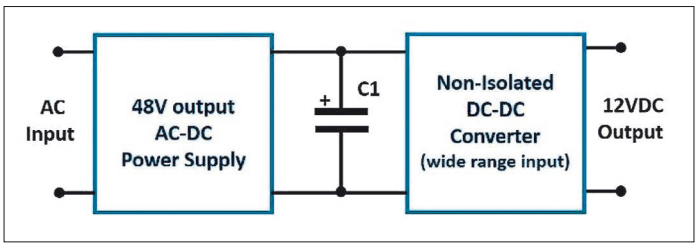

Bild 6: 48-V-Stromversorgung mit einem nicht isolierten DC/DC-Wandler

4. Ein AC/DC-Netzteil mit 48-V-Ausgang und ein nicht isolierter DC/DC-Wandler mit Weitbereichseingang und 12-V-Ausgang

Anstelle eines 12-V-Netzteils kommt ein baugleiches Model mit 48-V-Ausgang zum Einsatz. Dieses versorgt einen nicht isolierten DC/DC-Wandler mit Weitbereichseingang von 9 - 53 V und einer Ausgangsspannung von 12 V (Bild 6). Am 48-V-Ausgang des Netzteils lässt sich mit einem externen Kondensator Energie für eine längere Überbrückungszeit speichern. Der große Vorteil gegenüber Beispiel 2 liegt im Weitbereichseingang des DC/DC-Wandlers, welcher mehr Energie aus dem Kondensator C1 nutzbar macht. DC/DC-Wandler ohne galvanische Trennung haben in der Regel einen Wirkungsgrad von bis zu 96 % und damit nur geringe Verlustleistung. Der Kondensator C1 ist anders als im Beispiel 3 hier nicht auf der Primärseite und erfordert damit keine aufwendigen Ergänzungen für die Safety-Zulassung dieser Lösung.

Die Überbrückungszeit der AC/DC-Stromversorgung beträgt 20 ms, was eine zusätzliche Zeit von 180 ms (t) erfordert. Die dafür erforderliche Kapazität C1 berechnet sich wie folgt:

$C = 2 \times P \times t / (Eff \times (V^2 - V_{end}^2))$

$C1 = 2 \times 150 \times 0{,}18 / (0{,}96 \times (482 - 92))$

In unserem Beispiel ergibt sich für C1 ein Wert von 25.304 µF. Das ist nur ein Bruchteil des Wertes aus Beispiel 2 und in der Praxis auch tatsächlich umsetzbar.

5. Verwendung eines „Puffer"-Moduls

Puffermodule sind Standard-Katalogartikel, welche ebenfalls Elektrolytkondensatoren zur Energiespeicherung verwenden. Im Prinzip sind sie ähnlich aufgebaut wie das Beispiel 4. Zusätzlich verfügen sie noch über eine Einschaltstrombegrenzung, weitere Schutzfunktionen und Signalisierungen. Die ZBM20-Serie von TDK-Lambda gibt es für Ausgangsspannungen von 12, 15 oder 48 V. Sie sind einfach nur mit dem Ausgang des Netzteils parallel zu schalten. Für noch längere Überbrückungszeiten lassen sich sogar mehrere Module parallel schalten (Bild 7).

Zusammenfassung

Kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung können eine Gefahr für empfindliche Steuerungen bedeuten. Netzgeräte erfüllen zwar die regulatorischen Anforderungen und können Unterbrechungen bis etwa 20 ms überbrücken, falls aber längere Überbrückungszeiten erforderlich sind, zeigt dieser Artikel die Möglichkeiten hierfür. Neu sind kondensatorgestützte Puffermodule, welche Zeiten im Bereich bis zu 1 s (leistungsabhängig) überbrücken können.

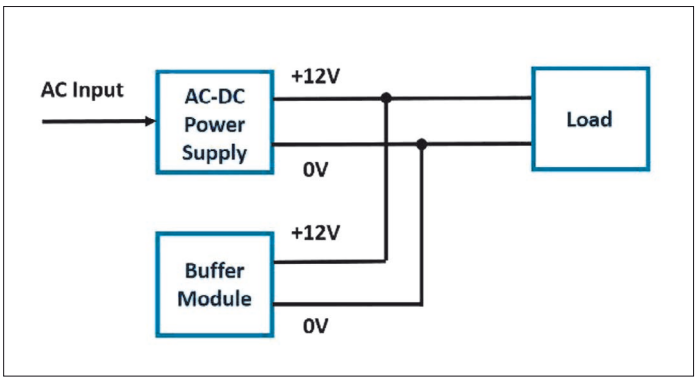

Bild 7: Puffermodul parallel zum Netzteil-Ausgang

Anhang - Berechnung der erforderlichen Kapazität

Nachstehend finden Sie die Formeln zur Berechnung der erforderlichen Speicherkapazität. Die Maßeinheiten sind: Energie - Joule, Leistung - Watt, Zeit - Sekunden, Spannung - Volt, Kapazität - Farad, Wirkungsgrad - Prozent.

Die Energie E ist das Produkt aus der Ausgangsleistung P_{out} und der Zeit

Formel 1:
$E = P_{out} \times t$

Die gespeicherte Energie (E) ist gleich der Hälfte des Produkts aus der Kapazität (C) und der Spannung (V) zum Quadrat

$E = 0{,}5 \times C \times V^2$

Durch Umstellen nach C erhalten wir

$C = 2 \times E/V^2$

Hinweis:
Die Spannung am Kondensator C sinkt bei Entladung. Bei Unterschreitung einer bestimmten Mindestspannung schaltet der Verbraucher aus und die Restenergie im Kondensator kann nicht mehr genutzt werden. Diese Mindestspannung wird als „V_{end}" bezeichnet. In den Beispielen 2, 4, 5 und 6 wird mit einer Mindestspannung von 11,5 V kalkuliert.

Die nutzbare Energie unseres Kondensators ist die Energie bei voller Ladung abzüglich der nicht nutzbaren Restenergie.

$E = (0{,}5 \times C \times V^2) - (0{,}5 \times C \times V_{end}^2)$

Durch Umstellen der Gleichung erhalten wir:

$E = 0{,}5 \times C \times (V^2 - V_{end}^2)$ oder
$C = 2 \times E / (V^2 - V_{end}^2)$

Ersetzt man in der zweiten Formel „E" durch die erste Formel, erhält man

Formel 2:
$C = 2 \times P_{out} \times t / (V^2 - V_{end}^2)$

Bei Methoden mit einem zusätzlichen DC/DC-Wandler muss dessen Verlustleistung mit berücksichtigt werden und das eingangsseitige AC/DC-Netzteil ist entsprechend größer zu dimensionieren.

$P = P_{out} / Eff$

Formel 3:
$C = 2 \times P \times t / (Eff \times (V^2 - V_{end}^2))$

Methode	Zusätzliche Kapazität	Vorteile	Nachteile
Überdimensioniertes Netzteil	Keine	Standardgerät	Größe und Kosten des größeren Gerätes
Größere Ausgangskapazität	4.595.745 µF	Standardgerät	Baugröße und eventuelle Anlaufprobleme
Größere Zwischenkreis-Kapazität	9 x C1 (~9.000 µF)	Kundenspezifische Lösung	Entwicklungs-/Zulassungskosten und Zeitbedarf
48 V AC/DC + nicht isolierter DC/DC	25.345 µF	Standard-Teil	Raumbedarf für DC/DC und externen Kondensator
Puffer-Modul	Keine	Lösung von der Stange	Baugröße und begrenztes Spannungsangebot