

White Paper | 07 | 2010

STROMVERSORGUNG FÜR ASYNCHRONE MOTOREN

Author: Franck Weinbissinger

ALLGEMEINE HINWEISE

Drehstrom-Asynchronmaschinen sind robuste und wartungsarme Elektromotoren, die eine breite Verwendung in der Industrie finden. Die Einsatzgebiete sind sehr unterschiedlich, vom Pumpenantrieb über komplexe modulare Systeme und Maschinen mit niedrigem Drehmoment und Präzision bis zu ausgeklügelten dynamischen oder hochleistungsfähigen Maschinen.

Aufgrund der Entwicklungen in der Energieelektronik und den fallenden Kosten für Asynchronmaschinen verdrängen diese heute den Gleichstrommotor aus vielen seiner herkömmlichen Anwendungsgebiete. Dabei wird die Asynchronmaschine in Kombination mit einem Drehzahlregler eingesetzt.

Unter Umständen benötigen asynchrone Motoren, die den Antrieb für Prozesse liefern, im Hinblick auf diese einen USV-Schutz: Eine plötzliche Stromunterbrechung könnte die Maschinerie beschädigen und die Produktqualität beeinträchtigen.

In der Regel werden Asynchronmaschinen am Stator versorgt, wodurch im Läufer Strom induziert wird. Daher werden diese Maschinen auch als Induktionsmotoren oder Induktionsmaschinen bezeichnet.

Asynchronmaschinen werden in der Regel als Motor eingesetzt, können aber auch als Generator fungieren. Da Asynchronmaschinen im Gegensatz zu Synchronmaschinen im Hinblick auf Kupplung, Drehzahlregelung und Spannung keine Probleme aufwerfen, werden asynchrone Generatoren zur Energieerzeugung in kleinen Installationsumfeldern ohne Bedarf an Aufsicht durch Bedienpersonal eingesetzt. Eine weitere Anwendung betrifft Bremssysteme, wo sie zur Absorption des Stroms eingesetzt werden, wenn die Maschine an ein Netz mit konstanter Frequenz angeschlossen wird (z.B. um die Leistung einer abnehmenden Last zu absorbieren).

Um eine Bremswirkung durch Rückgewinnung bei verschiedenen Bremsgeschwindigkeiten zu erzielen, muss die Maschine entweder durch eine Kraftanlage mit variabler Frequenz versorgt bzw. - um es mit anderen Worten auszudrücken - mit einem Drehzahlregler kombiniert werden. Ähnlich werden Induktionsmotoren aufgrund der Leistungselektronik zunehmend als Generator eingesetzt. Ein gutes Beispiel dafür sind Windturbinen.

Vorliegender Artikel soll einen Überblick über die Probleme bieten, die bei der Dimensionierung von USV-Anlagen für die Versorgung von Induktionsmaschinen mit oder ohne Regelantrieb auftreten können. Da nicht alle Punkte erschöpfend behandelt werden, kann dieses Papier nicht als Grundlage für die Planung oder als Auswahlhilfe einer USV-Anlage verstanden werden.



Motoren ohne Drehzahlregler

Oft werden Asynchronmaschinen heute als Motor mit einer Leistungsskala von wenigen Watt bis zu mehreren hundert kW eingesetzt. Bei Anwendungen mit Leistungen ab mehreren kW werden Asynchronmaschinen ausschließlich mit Dreiphasen-Wechselstrom versorgt.

Bei empfindlichen Prozessen oder kritischen Anwendungen kann die Netzversorgung durch Geräte zur unterbrechungsfreien Stromversorgung unterstützt werden.

Während des Anlaufprozesses kann der Einschaltstrom Effektivwerte erreichen, die vier- bis siebenmal so hoch wie der Nennstrom sind, wobei das Drehmoment 1,5- 2,4-mal so hoch ist wie der Nennwert. Die Startzeiten hängen von der Trägheit der bewegten Masse, der angestrebten Drehzahl und dem Beschleunigungsmoment des Motors ab.

Die dabei entstehenden Spitzenströme sind sogar noch höher und können den zehnfachen Wert des nominalen Effektivwerts erreichen.

In Kombination mit Leitungsimpedanz verursachen hohe Einschaltströme Spannungsabfälle in der Verteilerleitung, besonders bei in der Nähe des Motors befindlichen Lasten.

Es gibt viele Wege zur Beschränkung der Anlaufströme, die wichtigsten darunter sind:

Y/ Δ -Schaltung

Anlasstransformator (Autotransformator)

Sanftanlaufgeräte (Softstarter)

Für einige sehr spezifische Anwendungen sind Anlasswiderstände im Läuferkreis eine Lösung.

Die Entscheidung für eine bestimmte Lösung stellt einen Kompromiss zwischen Anwendungsvorteilen und Kostenfaktoren dar.

Tabelle 1 - Anlaufströme und Anlaufmomente der verschiedenen Anlassverfahren:

	Anlaufstrom	Anlaufmoment
Direkteinschaltung (D.O.L.)	4-7 I_n	1,5-2,4 T_n
Y/?	1,6-2,8 I_n	0,5-0,8 T_n

Autotransformer	$4-7 (V_s/V_n) I_n$	$1,5-2,4 (V_s/V_n)^2 T_n$
Sanftanlaufgeräte	$4-7 (V_s/V_n) I_n$	$1,5-2,4 (V_s/V_n)^2 T_n$
Drehzahlregler	$1-1,5 I_n$	$1-1,5 T_n$

Hierbei steht V_s für die Spannung an den Motorklemmen beim Anlassen, V_n für die Nennspannung, I_n für den Nennstrom und T_n für das nominale Drehmoment.

Die beim Anlaufprozess entstehende Hitze belastet Elektromotoren, daher würden lange Anlaufzeiten oder häufiges Starten Schäden hervorrufen. Bei der Reduktion des Anlaufstroms besteht allerdings die Gefahr einer Überkorrektur des Drehmoments, was eine Verlängerung der Anlaufzeiten zur Folge haben könnte.

Der Leistungsfaktor beträgt 0,1 im lastlosen Zustand, bei seiner Nennfunktion liegt er im Bereich zwischen 0,5 bis 0,9 oder höher (oft 0,75 bis 0,85). Dieser Wert ist stark von den Motoreigenschaften abhängig (Anzahl der Pole und Leistung).

Im stationären Zustand liegt die USV-Leistung nah beim Standard, wenn ein Induktionsmotor versorgt wird, da die Ströme sinusoidal und ausgewogen sind. Bei der Dimensionierung der USV sind sowohl die Einschaltströme als auch der Leistungsfaktor zu berücksichtigen.

DIE DIMENSIONIERUNG VON USV-ANLAGEN ZUR VERSORGUNG VON INDUKTIONSMOTOREN

Es gibt verschiedene Motorspezifikationen, die einen Beitrag zur korrekten Bestimmung der angemessenen USV-Größe leisten können.

a) Gegeben:

10 Induktionsmotoren,

wovon maximal zwei gleichzeitig starten (auch ohne Netzstrom)

Nennwerte des Motors:

P_n 45 kW

V_n / f_n 400V ? / 50 Hz

L.F.	0,87
Wirkungsgrad (?)	93,4%
I _s	6,5 I _n
T _s	2.8 T _n
D.O.L. Direkteinschaltung (D.O.L.)	

Eine USV, die die Motoren nur im stationären Zustand versorgt, sollte dafür dimensioniert werden

$$S_n = \frac{10 \cdot P_n}{P.F. \cdot \eta} = \frac{10 \cdot 45000W}{0.87 \cdot 0.934} = 554kVA \rightarrow$$

Berücksichtigen wir nun den Anlauf

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot P.F. \cdot \eta} = \frac{45000W}{1.732 \cdot 400 \cdot 0.87 \cdot 0.934} = 80A$$

$$I_s = 6.5 \cdot I_n = 520A$$

$$I_t = (I_s \cdot 2) + (I_n \cdot 8) = (520 \cdot 2) + (80 \cdot 8) = 1680A$$

$$S_{tot} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_t = 1164kVA$$

Unter Berücksichtigung des transienten Einschaltstroms können wir nun die Überlastkapazität der USV betrachten (in der Regel 1,5 S_n für eine Minute bei V_n). Es resultiert folgende USV-Größe:

$$S_{UPS} = S_{tot} / 1.5 = 1164 / 1.5 = 776kVA \rightarrow 800kVA$$

Dass der Leistungsfaktor beim Anlauf sinkt, kann aufgrund der kurzen Zeitspanne vernachlässigt werden.

Zusätzlich ist zu überprüfen, ob der Wert des Spitzenstroms mit dem kompatibel ist, den die USV bereitstellen kann. Aufgrund transientser Phänomene beträgt der Spitzenwert des Anlaufstroms annähernd 1,7 und nicht 1,41, wie es für die Versorgung mit sinusoidalen Wellenformen typisch ist.

$$\hat{I}_t = (I_s \cdot 2) \cdot 1.7 + (I_n \cdot 8) \cdot 1.41 = 2670A$$

$$S_{UPS} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \frac{\hat{I}_t}{3.5} = 1.732 \cdot 400 \cdot 763 = 528kVA \rightarrow 800kVA$$

Commento [MB1]: The English version has a different equation

Der Faktor 3, der in vorstehender Formel im Nenner von I_t zu sehen ist, entspricht dem Phase-Phase Kurzschlussstrom pro Einheit, für den die USV ausgelegt ist. Er unterscheidet sich vom Phase-Nullleiter-Kurzschlussstrom, bei dem dieser Wert 3,5 beträgt, und er wird verwendet, weil die Motoren ohne Nullleiter geliefert werden. Falls es nicht notwendig ist, die Motoren während Netzausfällen anzulassen, kann der

Anlaufstrom bei der Wahl der USV vernachlässigt werden und die Dimensionierung der USV kann auf Grundlage der Nennwerte erfolgen. Im Übrigen ist der Anlaufstrom für die Bypass-Größe zu berücksichtigen.

Commento [MB2]: « By the way » ... what does that mean in this context ?

b) Die gleichen Motoren wie im Fall a) aber mit Y/Δ-Schaltung.

$$I_t = (I_s \cdot 2) \cdot 0.4 + (I_n \cdot 8) = (520 \cdot 2) \cdot 0.4 + (80 \cdot 8) = 1056 A$$

$$S_{tot} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_t = 732 kVA$$

$$S_{UPS} = S_{tot} / 1.5 = 732 / 1.5 = 488 kVA \rightarrow 500 kVA$$

$$\hat{I}_t = (I_s \cdot 2) \cdot 1.7 \cdot 0.4 + (I_n \cdot 8) \cdot 1.41 = 2325 A$$

$$S_{UPS} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \frac{\hat{I}_t}{3.5} = 1.732 \cdot 400 \cdot 664 = 460 kVA \rightarrow 500 kVA$$

Commento [MB3]: Equation is different from the English version

In diesem Fall scheint die zulässige Mindestgröße der USV 600 kVA zu betragen. Dieser Wert ist kompatibel mit Fall a) wo die für die USV berechnete Scheinleistung 600 kVA betrug. Such value is compatible with case a) when the apparent power in steady state requested to the UPS was 600 kVA.

Commento [MB4]: The English sentence refers to case a) and the apparent power of 600 kVA, but there is no such value in the former example

Der Kunde - oder dessen technischer Verantwortlicher - muss überprüfen, ob das Y/Δ-Drehmoment von 0,95 T_n ausreichend ist, um die Last in einer für den Induktionsmotor angemessenen Zeit zu starten.

Beanspruchungen

IEC 60034 definiert 10 verschiedene "Einsatzverfahren" für Induktionsmotoren im Hinblick auf die zu erbringende Leistung und die geforderte Zeitdauer dieser Leistung. Diese Verfahren werden als *Services* (Englisch) bzw. *Nennbetriebsarten* (deutsche Fassung der Norm) bezeichnet. Nachfolgend sind die drei häufigsten in der Industrie eingesetzten Nennbetriebsarten aufgeführt. Ihre Auswirkung auf die USV hängt davon ab, wie viel Strom diese jeweils liefern soll. S1 bezeichnet die Nennleistung für eine unbestimmte Zeitdauer. Die anderen Nennbetriebsarten beinhalten in der Regel höhere Leistungsanforderungen für eine begrenzte Zeitdauer. Für den Schutz des Motors ist es von grundlegender Bedeutung zu wissen, welche Funktion er erfüllen soll. Nur so ist es möglich zu bestimmen, welcher Temperaturbelastung die USV ausgesetzt ist.

Motoren können für verschiedene Beanspruchungen ausgelegt sein. Nachfolgend sind die gängigsten Typen aufgeführt:

¹ 0,4Is=0,4*6,5In=2,6 wie in Tabelle 1 angegeben.

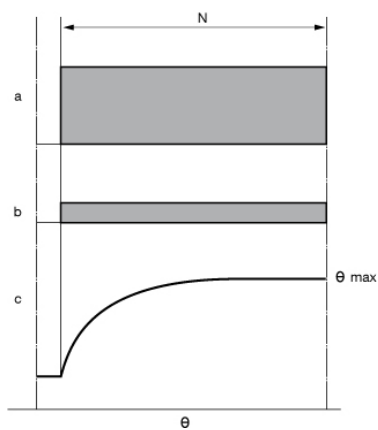


Abbildung 1 - S1: Dauerbetrieb (N : Betrieb bei konstanter Last: θ =Temperatur)

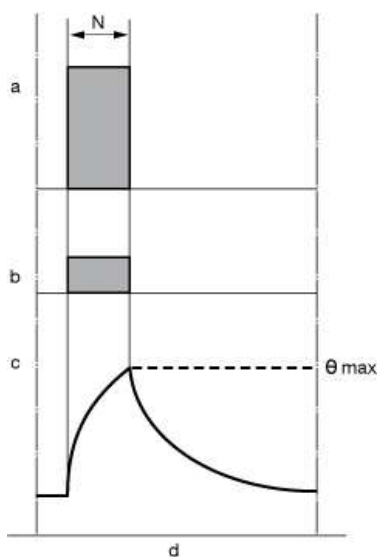


Abbildung 2 - S2: Kurzzeitbetrieb (N : Betrieb bei konstanter Last θ = Temperatur)

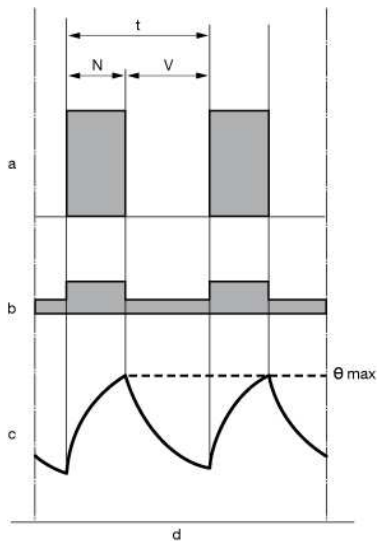


Abbildung 3 - S6: Periodische Einschaltdauer (N: Betrieb bei konstanter Last V: Betrieb im lastlosen Zustand; Θ = Temperatur; Relative Einschaltdauer = $\frac{N}{N+V} \cdot 100\%$)

Motoren mit Drehzahlregler-Versorgung

Aus Wirtschaftlichkeits- und Haltbarkeitsgründen werden Induktionsmotoren immer häufiger in Kombination mit elektronischen Reglern eingesetzt.

Sanftanlaufgerät (Softstarter)

Das Sanftanlaufgerät besteht aus zwei Kopf-an-Schwanz zusammengesetzten Thyristoren (oder einem Triacsteller). Durch Eingangsverzögerung beim entsprechenden Thyristor in jeder Schicht, kann die dem Stator zugeführte Effektivspannung reduziert werden.

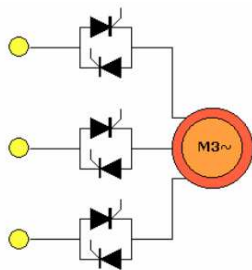


Abbildung 4 - Sanftanlaufgerät

Da Sanftanlaufgeräte bei Standard-Käfigläufermotoren eine enge Drehzahl-Bandbreite aufweisen, werden sie gewöhnlich für den Anlauf von Maschinen mit einem parabolisch resistentem Drehmoment eingesetzt $C = f(v) = a \cdot v^2$

Beispiele: Ventilatoren, Pumpen.

In diesen beiden Beispielen kann die Drehzahlsteuerung nur in einem sehr begrenzten Drehzahlbereich erfolgen. Diese Fähigkeit zur Drehzahlregelung beschränkt sich in der Regel auf sehr kleine Einheiten/Geräte.

Der Nachteil dabei ist, dass sowohl im Läufer als auch im Stator der Wärmeverlust steigt. Dies könnte zur Überdimensionierung des Motors führen.

Und schließlich sind Sanftanlaufgeräte potente Oberwellenerzeuger.

Sie werden vorrangig für den Antrieb von Pumpen eingesetzt, wobei die Nennleistung des Motors von 3 bis 630 kW reicht. In der Regel kann der Anlaufstrom auf den zwei- bis fünffachen Wert des Nennstroms reguliert werden.

Vom Sanftanlaufgerät erzeugte Oberwellen

Bei nicht sinusförmiger Spannung, das heißt unter der Bedingung von Partialspannungen, liegen immer Oberwellen vor. Die Stromaufnahme durch den Motor bringt zusammen mit der durch das Sanftanlaufgerät erzeugten Leistungsbegrenzung Oberwellen hervor, die mit der Frequenz $3 f$, $5 f$, $7 f$, $9 f$, $11 f$ und mehr schwingen und entsprechende Auswirkung auf die Größe der USV haben.

Leistungsfaktor

Strom und Spannung sind weit von einem sinusförmigen Verlauf entfernt, denn sie sind zur Reduktion der hohen Einschaltströme konzipiert, die nicht mit der vorgeschalteten Anlage kompatibel wären. Darüber hinaus steht der Leistungsfaktor mit der Wellenform in Zusammenhang: Bei gleicher Wirkleistung ist der Leistungsfaktor bei der Versorgung mit nicht sinusförmigen Wellen niedriger als bei sinusförmigen Wellen.

Nachfolgende Abbildungen sollen veranschaulichen, dass sich die Stromformen in Abhängigkeit von dem erforderlichen Effektivwert der Spannung mehr oder weniger vom sinusförmigen Verlauf entfernen können.

Beispiele für Wellenformate:

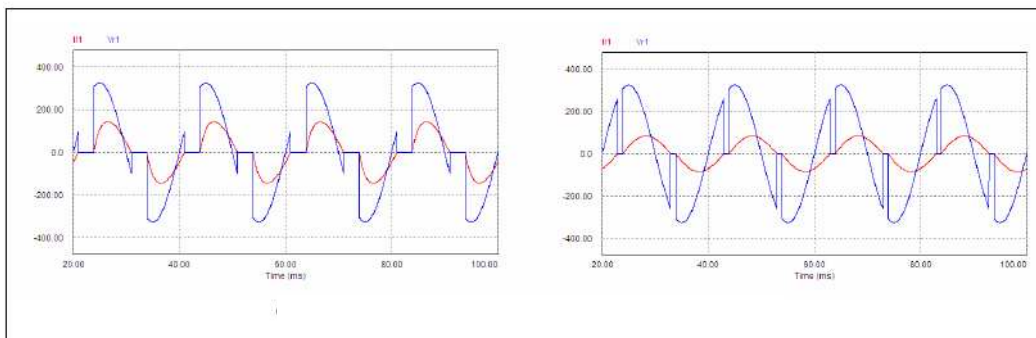
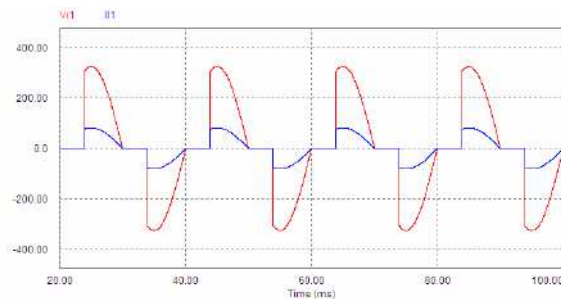


Abb. 5 – Das unterschiedliche Verhalten von Sanftanlaufgeräten bei ohmschen Lasten (oben) und ohmsch-induktiven Lasten (unten)

Commento [MB5]: Figure 6 is missing and that's why part of the cross references are wrong

Abb. 6 – Direkteinschaltung ohne Last (oben), Anlauf mit Softstarter und dessen Zoom (unten)

Die in den Abbildungen gezeigten Kurven veranschaulichen folgende Merkmale der Sanftanlaufgeräte:

- Der Spitzenstrom bei der Energieversorgung ist zweimal niedriger als bei Direkteinschaltung
- Der Anlaufstrom weist starke Oberwellen mit den Komponenten f_5 , f_7 , f_{11} und f_{13} auf.

Die 3. Oberschwingung und deren Vielfache sind in obigem Beispiel aufgrund der Stern-Dreieck-Schaltung nicht vorhanden.

Zur Gewährleistung einer hochwertigen Stromversorgung ($THD_U < 5\%$) der parallel zum Sanftanlaufgerät geschalteten Lasten ist in der Regel eine Leistungsminderung der USV um 20% erforderlich. Eine 100 kVA-

USV ist daher maximal für Lasten bis 80 kVA geeignet, wenn diese mit einem Sanftanlaufgerät ausgestattet sind. Sanftanlaufgeräte bringen keinerlei Risiko einer Stromrückspeisung in die USV oder das Netz mit sich.

Einschaltströme

Sanftanlaufgeräte reduzieren den Einschaltstrom im Verhältnis $(V_S/V_n)^2$. Das bedeutet, dass zum Einschalten Ströme erforderlich sein können, die sogar die Überlastkapazität der USV überschreiten würden. Dies muss bei der Dimensionierung der Anlage berücksichtigt werden.

Drehzahlregler

Drehzahlregler bestehen wie die USV aus einem AC/DC- und einem DC/AC-Modul.

Es sind verschiedene Gerätetypen auf dem Markt erhältlich:

- Stand-alone-Geräte oder Einbaugeräte für die Integration in Stromverteilungseinheiten (PDU)
- Zentralisiertes AC/DC-Modul für viele DC/AC-Module (1 pro Modul).

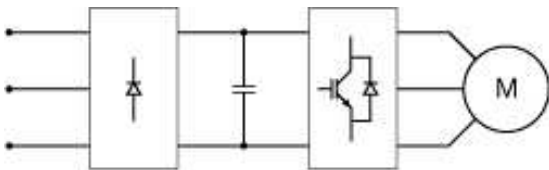
Ein typisches Umfeld für den Rückgriff auf die zweite Lösung sind Hochleistungsanwendungen wie z.B. Walzwerke.

Im Folgenden sind die drei meist verwendeten Topologien aufgeführt, und zwar respektive:

mit 2 Quadranten (der Strom fließt nur vom Netz zum Motor)

mit Bremswiderstand (der Strom kann sowohl in den Motor als auch aus dem Motor fließen, doch in letzterem Fall sorgt ein Widerstand aus dem DC-Bus für die Ableitung)

mit 4 Quadranten (der Strom fließt sowohl in die als auch aus den Motoren, doch in letzterem Fall findet eine Rückspeisung ins Netz statt); diese Form der Topologie wird auch als Active Front End bezeichnet (vgl. Figure 13).



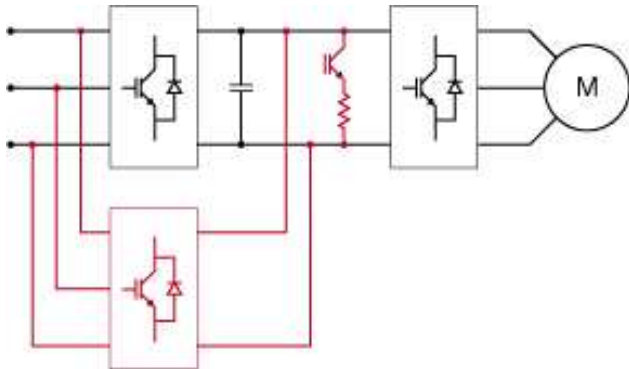


Abbildung 6 - Drehzahlveränderbarer Antrieb (das Beispiel berücksichtigt sowohl den Bremswiderstand als auch Active Front End)

Auswirkung auf die Versorgung:

Regler 1 (6-Puls-Gleichrichter als Eingangsstufe)

Gleichrichter, die auf der 6-Puls-SCR-Technologie beruhen, bewirken im Stromnetz Folgendes:

- Erzeugung von Oberschwingungsströmen
- Eingangsleistungsfaktor im Bereich von 0,8 bis 0,9 bzw. 0,7 bis 0,8 bei einphasigen Gleichrichtern
- Das Vorhandensein von Schaltzacken

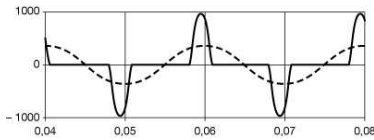
Beispiele:

Dreiphasige Stromversorgung – Eingangsströme bei SCR 6-Puls-Gleichrichter:



Commento [MB6]: This figure is not the same as in the English version

Einphasige Stromversorgung – Eingangsströme beim SCR Gleichrichter:



Regler 2: (IGBT-Gleichrichter als Eingangsstufe)

Dies ist ein Beispiel für sinusoidale Regler mit einheitlichem eingangsseitigem Leistungsfaktor. Die Rückspeisung ins Netz beschränkt sich hier auf Oberwellen mit hoher Frequenz und niedriger Amplitude. In der Praxis liegt die resultierende Harmonische Gesamtverzerrung des Stroms (THDi) bei 5%.

Auf der anderen Seite ist in der Industrienorm IEC 61800-3-12 für drehzahlveränderbare elektrische Antriebe ein eingangsseitiger THDI-Wert von max. 48% vorgesehen. Eine mögliche Strategie zur Reduktion der Oberwellen besteht im Einsatz eines Aktiv- oder Passivfilters zur Entzerrung der Verteilung; zum Herausfiltern von Oberwellen, deren Frequenzen nah beim kHz-Wert liegen, kann ein T-Filter (L-C-L) eingesetzt werden.

Die Eingangsbrücke verwendet Pulsweitenmodulation (PMW). Eine solche PWM-Modulation ruft hochfrequente Störungen im Netzwerk hervor und erfordert in der Regel den Einsatz eines EMV-Filters. Normalerweise haben solche Filter keinen Einfluss auf vorgeschaltete USV.

Bei Stromversorgung über USV kann es notwendig sein, einen Widerstand zwischen USV und Drehzahlregler einzufügen.

Es ist möglich, die Fähigkeit zur Reversibilität zu verwenden und die vom Motor erzeugte Bremsenergie kann so ins Netz zurückgespeist werden. Dies muss bei der Wahl der USV berücksichtigt werden.

Dimensionierung von USV-Anlagen, die drehzahlveränderbare Antriebe versorgen:

Dimensionierung von USV-Anlagen, die drehzahlveränderbare Antriebe versorgen:

Hierbei müssen alle vorhandenen Oberwellen berücksichtigt werden, was spezifische Evaluierungsmethoden erfordern kann. Das Vorliegen signifikanter Oberwellen kann zu Verzerrungen der USV-Ausgangsspannung führen und ist daher ein kritischer Punkt für die USV-Leistung.

Aufgrund der Überlastkapazität der gängigen Drehzahlregler sind darüber hinaus Anlaufströme zu berücksichtigen, die in der Regel das 1,5-Fache des Nennstroms betragen.

Es sind USVs mit oder ohne Transformator mit unterschiedlichen Leistungen auf dem Markt erhältlich.

Zur Gewährleistung einer hochwertigen Stromversorgung ($THD_U < 5\%$) ist bei transformatorbasierten USVs in der Regel eine Leistungsminderung um 40% erforderlich, während transformatorlose USVs bei voller Last arbeiten können. Eine USV zu 100 kVA kann daher maximal Drehzahlregler bis zu 60 kVA versorgen, wenn diese ihrerseits Asynchronmotoren versorgen. Wenn ein höherer THD_U -Wert gestattet ist, kann der Deratingfaktor reduziert werden.

Als einschränkend erweist sich auch die Möglichkeit der Rückspeisung in Netz über die USV, da diese in der Regel nicht zur Bewältigung dieses Problems ausgerüstet sind.

Im Hinblick auf die Beanspruchungen sind die Auswirkungen der thermischen Belastung auf die verschiedenen USV-Bauteile zu berücksichtigen.

Oberwellen:

Nahezu alle Drehzahlregler erzeugen einen hohen Anteil an eingangsseitigen Oberwellen. Diese Oberschwingungsströme erzeugen eine Verzerrung der USV-Ausgangsspannung.

Die Regulierung der USV-Ausgangsspannung hat die Aufgabe, die Auswirkungen dieser Oberwellen zu kompensieren und die Stabilität des Systems (USV+ Antrieb + Motor + Last) aufrecht zu erhalten. Aufgrund der vorliegenden Oberwellen und Anlaufströme ist eine Leistungsminderung der USV notwendig. Der Zweck dieser Korrektur nach unten besteht einerseits in der Gewährleistung eines stabilen Betriebs und andererseits in der Begrenzung des ausgangsseitigen Klirrfaktors auf rund 5%. Bei Industrieanwendungen muss die Leistung in der Regel um 40% reduziert werden.

Spannungsstörungen erzeugen starke Ströme in den Kondensatoren des Ausgangsfilters der USV. Daher bezweckt die Leistungsminderung auch den Schutz dieser Bauteile.

Der Rückgriff auf Oberwellenfilter am Eingang des Drehzahlreglers gestattet eine signifikante Leistungsminderung der USV.

Motor-Überlasten und Regler-Kurzschlüsse

Moderne Drehzahlregler schützen den Motor gegen Überlasten. Dabei werden die Ströme in der Regel auf das rund 1,5-Fache des Nennstroms begrenzt, und zwar alle fünf bis zehn Minuten 1 Minute lang. Es ist daher ausreichend, dass die USV Überlasten um 150% verkraften kann. Die genaue Dauer hängt vom Anwendungsgebiet ab. Da Drehzahlregler im Allgemeinen nicht für Überlasten über 150% / 1 Minute bei 25°C bzw. 30 Sekunden bei 30°C ausgelegt sind, kann die USV bei voller Last arbeiten. Bei höheren Überlasten ist eine weitere Leistungsminderung der USV erforderlich.

Bei Kurzschlüssen im drehzahlvariablen Antrieb sorgt die USV für die Begrenzung des Stroms. Es ist daher notwendig, die Selektivität zwischen dem Schutz des Drehzahlreglers und dem Kurzschlussstrom der USV zu überprüfen.

Einschaltstromspitzen

Einschaltstromspitzen werden durch Drehzahlregler vermieden. Falls ein Schnellstart benötigt wird, können jedoch vorübergehende Überlasten bis zum 1,5-fachen Nennstrom anfallen.

Die im Folgenden aufgeführte Formel berücksichtigt nicht die Leistungsminderung bei 150%igen Überlasten, sondern die zulässige Dauerbelastung bei 1,1 C_n. Bei nicht sinusförmigen Strömen muss der Gesamt-Klirrfaktor berücksichtigt werden:

$$I_{rms} = I_1 \cdot \sqrt{(1 + THDI^2)} \quad \text{avec} \quad I_1 = 1,1 \cdot \frac{P_{mot}}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot \frac{1}{\eta_{moteur} \cdot \eta_{variateur}}$$

P_{mot}: Nennleistung des Motors

U: Speisespannung zwischen den Phasen

η_{Motor}: Wirkungsgrad Motor

η_{Antrieb}: Wirkungsgrad Drehzahlregler

Nachfolgende Tabelle führt die Berechnungen auf und zeigt welche USV erforderlich ist, um genau einen Motor vom gleichen Typ des ersten in unserem Papier aufgeführten Beispiels zu versorgen:

6-Puls-Drehzahlregler
$I_1 = 1,1 \cdot \frac{I_n}{\eta_{drive}} = 1,1 \cdot \frac{80A}{0,9} = 98A$
$I_{rms} = I_1 \cdot \sqrt{1 + THDI^2} = 98A \cdot \sqrt{1 + 0,32^2} = 103A$
$S_{drive} = \sqrt{3} V_n I_{rms} = 71kVA$

Dabei wird vorausgesetzt, dass η_{Drehzahlregler}=90% beträgt und dass die vorübergehende Überlast durch den Drehzahlregler mit der USV kompatibel ist.

Folgende Beobachtungen sind interessant:

- Berücksichtigt man ausschließlich den Nennstrom des Motors, würde eine 56 kVA USV² ausreichen.
- Auf Grundlage von Erfahrungswerten empfiehlt es sich jedoch, eine USV mit einer Nennleistung zu wählen, die 67% höher ist als die des Motors - d.h. 93 kVA, um zu gewährleisten, dass der THDU-Wert weniger als 5% beträgt.

Eingangsleistungsfaktor des Drehzahlreglers:

Der Leistungsfaktor kann je nach Reglermodell enorm schwanken. Es empfiehlt sich, genaue Angaben zum Reglermodell zu machen, um überflüssige Leistungsminderung zu vermeiden.

Stromrückspeisung:

Einige Drehzahlregler sind dazu ausgestattet, die Energie wieder ins Netz zurückzuspeisen. Dieses Thema wurde mit besonderer Sorgfalt untersucht, da USV-Anlagen in der Regel nicht dazu ausgelegt sind, dies zu verwalten.

Wie weit die USV fähig ist, zurückfließende Energie aufzunehmen, hängt von dem Ladeniveau der Batterien ab, die direkt an den DC-Bus angeschlossen sind. Der Nachteil besteht in der übermäßigen Belastung der Batterien, falls diese Ereignisse zu häufig auftreten. Das ist keine Lösung. Denn die Situation wird lediglich entlastet, ohne die Ursachen des Problems zu beheben. Man sollte daher nur selten und vorsichtig auf diese Methode zurückgreifen.

Zyklische Belastungen und Antriebe:

Noch typischer sind zyklische Belastungen bei Motoren mit Drehzahlregler. Je nach Amplitude, Dauer und Häufigkeit der zyklischen Belastung sind bestimmte Bauteile der USV (z.B. Batterie, IGBT...) einem vorzeitigen Alterungsprozess ausgesetzt.

Denn im Versuch, den Spannungsabfall im DC-Bus zu kompensieren, greift die USV bei zyklischer Belastung in der Regel auf die Batterie zurück. Wird dies bei der Dimensionierung der USV nicht ausreichend berücksichtigt, so besteht das Risiko einer progressiven Entladung und damit langfristig die Gefahr der frühzeitigen Alterung der Batterien.

Zur Vermeidung dieser Nachteile bieten sich Lösungen an, die eine Aufrechterhaltung konstanter Gleichspannung gewährleisten und schnell auf Energiebedarf antworten. Hierzu eignen sich besonders Energiespeichersysteme mit High Speed-Flywheel-Technologie.

² $2 P_n / P.F. = 45 \text{ kW} / 0.9 = 56 \text{ kVA}$

Der beste Weg für lange Autonomiezeiten und stabile Spannung im DC-Bus besteht in einer Kombination aus Flywheel und Batterie mit Parallelaufbau.

Ähnliche Phänomene werden beim Anlauf beobachtet, doch das Verfahren ist in diesem Fall wesentlich seltener. Bis zu 10 gleichmäßig über den Tag verteilte Antriebszyklen sind als akzeptabel zu betrachten.

Batteriebetrieb:

Wenn oben erwähnte Prozesse ohne eine der USV vorgeschaltete Netzversorgung stattfinden, ist die Belastung der Batterie stärker ausgeprägt, da ein Gleichrichter fehlt, der die Batterie durch Versorgung des USV-Wechselrichters unterstützt.

SIZING UPS FOR SUPPLYING INDUCTION MOTORS

A certain number of motor specifications are helpful to size the UPS correctly.

a) Case of:

10 induction motors

maximum two of them starting simultaneously (even without mains)

rated motors' values:

P_n 45 kW

V_n / f_n 400V Δ / 50 Hz

P.F. 0.87

Efficiency (η) 93.4%

I_s 6.5 I_n

T_s 2.8 T_n

D.O.L. (Direct On Line) starting

A UPS that should supply the motors only in steady state should be sized for

$$S_n = \frac{10 \cdot P_n}{P.F. \cdot \eta} = \frac{10 \cdot 45000W}{0.87 \cdot 0.934} = 554kVA$$

Now, considering the starting

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot P.F. \cdot \eta} = \frac{45000W}{1.732 \cdot 400 \cdot 0.87 \cdot 0.934} = 80A$$

$$I_s = 6.5 \cdot I_n = 520A$$

$$I_t = (I_s \cdot 2) + (I_n \cdot 8) = (520 \cdot 2) + (80 \cdot 8) = 1680A$$

$$S_{tot} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_t = 1164kVA$$

Taking into account the starting transient we can consider the overload capacity of the UPS (typically 1,5 S_n per 1 minute at V_n). The UPS size gets:

$$S_{UPS} = S_{tot} / 1.5 = 1164 / 1.5 = 776kVA \rightarrow 800kVA.$$

The reduced P.F. during starting can be neglected due to its short duration.

An additional verification has to be done to the current peak value if compatible with the peak current that the UPS can supply. Because of transient phenomena the inrush current peak value is approximately 1.7 instead of the usual 1.41 I_n typical of sinusoidal wave shapes.

$$\hat{I}_t = (I_s \cdot 2) \cdot 1.7 + (I_n \cdot 8) \cdot 1.41 = 2670A$$

$$S_{UPS} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \frac{\hat{I}_t}{3} = 1.732 \cdot 400 \cdot 890 = 616kVA \rightarrow 800kVA$$

The value 3 that divides \hat{I}_t in the previous formula is the p.u. phase-phase short circuit current that the UPS can supply. It is different from the phase-neutral, 3.5, and it is used because the motors are supplied without neutral.

In case of there being no need to start up during mains outage, the starting current can be neglected for the choice of the UPS, considering only the rated ones. By the way the starting currents must be considered for the bypass sizing.

b) Same motors of case a) with Y/Δ starting.

$$I_t = (I_s \cdot 2) \cdot 0.4 + (I_n \cdot 8) = (520 \cdot 2) \cdot 0.4 + (80 \cdot 8) = 1056A^3$$

$$S_{tot} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_t = 732kVA$$

$$S_{UPS} = S_{tot} / 1.5 = 732 / 1.5 = 488kVA \rightarrow 500kVA$$

$$\hat{I}_t = (I_s \cdot 2) \cdot 1.7 \cdot 0.4 + (I_n \cdot 8) \cdot 1.41 = 2325A$$

$$S_{UPS} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \frac{\hat{I}_t}{3} = 1.732 \cdot 400 \cdot 775 = 536kVA \rightarrow 600kVA$$

In this case the minimum UPS size seems 600 kVA. Such value is compatible with case a) when the apparent power in steady state requested to the UPS was 600 kVA.

The Customer or his technical reference has to verify if the Y/Δ starting torque of 0.95 T_n is enough to start the load in a compatible time for the induction motor.

³ 0.4I_s=0.4*6.5I_n=2.6 as shown in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Duties

IEC 60034 defines 10 different "ways of using" induction motors in terms of power and time such power can be supplied. They are called *services*. Below it is possible to find the 3 most used services in the industry. Their impact on the UPS is linked to the current it is requested to supply. S1 means nominal power for indefinite time. The others typically consist in higher requested power for a limited amount of time. The knowledge of the service of the motor to protect is compulsory to verify the thermal stress of the UPS.

The motors can be used in different type of duties. Below the most common:

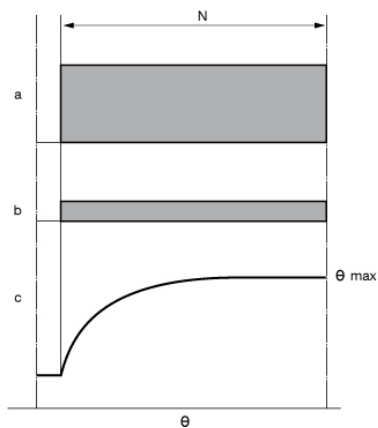


Figure 7 - S1: Continuous running duty (N: Operation at constant load; θ : temperature)

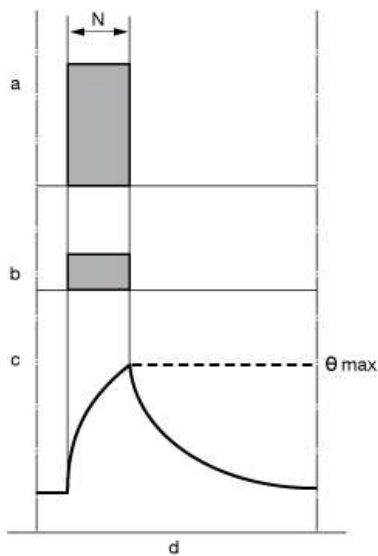


Figure 8 - S2: Short time duty (N: Operation at constant load; θ : temperature)

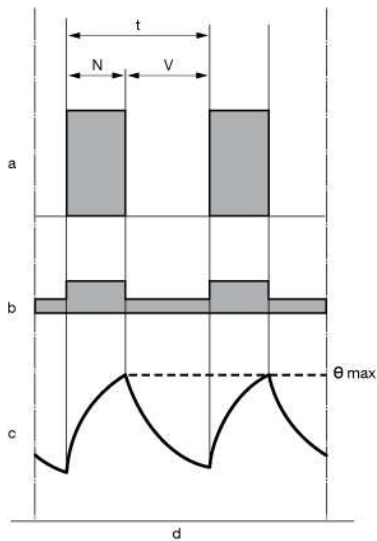


Figure 9 - S6: Continuous operation periodic type (N: Operation at constant load; V: Operation on no load; θ : temperature; Cyclic duration factor = $\frac{N}{N+V} * 100\%$)

Motors supplied by regulators

For economical and robustness reasons, induction motors are being used more and more frequently in association with electronic regulators.

Soft starter

It consists of two thyristors assembled head to tail (or a triac). By delaying the input of the thyristor at each alternation, we can reduce the rms voltage applied to the motor stator.

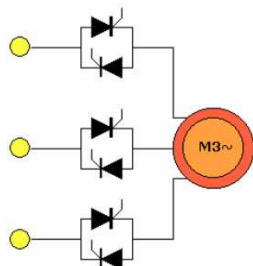


Figure 10 - Soft Starter

Due to its weak speed variation range on a standard cage motor, the soft starter is most commonly used to

start-up on machines with a parabolic resistant torque $C = f(v) = \alpha \cdot v^2$

Examples: Ventilators, pumps.

In these two examples, the speed control can be in a very limited range of speed. Such variable speed capability is usually limited to small units.

The disadvantage consists in heat losses increase both in rotor and stator. This could lead to over size the motor.

Finally, the soft starter is a power generator of harmonics.

Its basic application is in driving pumps with nominal power of the motor from 3 to 630kW. The limitation of the starting current can generally be regulated between 2 and 5 times the nominal current.

Harmonics generated by the soft starter

When the voltage shape is not sinusoidal, therefore at partialised voltage conditions, there is always the presence of harmonics. The motor absorption together with the conduction limitation operated by the soft starter cause presence of 3rd, 5th, 7th, 9th, 11th and more harmonics with consequent impact on the UPS size.

Power Factor

Voltage and current shapes are far from being sinusoidal because they are cut to reduce the high inrush currents incompatible with the upstream plant. The Power Factor is also linked to the shape: the same Active Power supplied by non sinusoidal wave shapes have lower P.F. than supplied with sine waves.

It is possible to see from the pictures below, that the current shapes can be closer or farer from the sinusoidal shape depending on the needed rms voltage value.

Examples of wave formats:

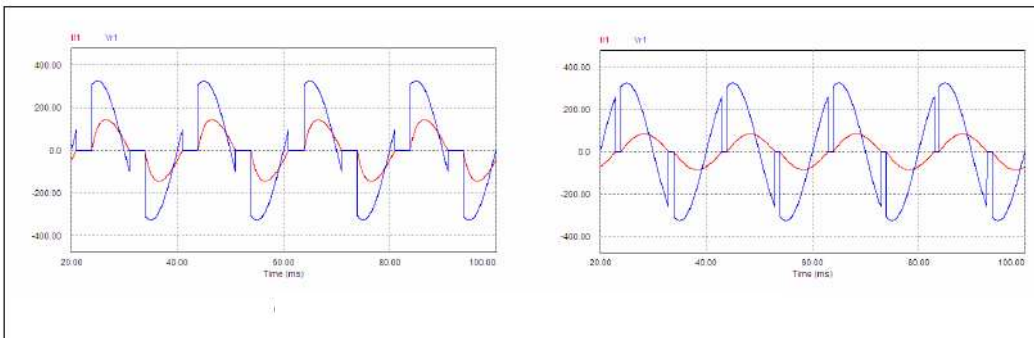
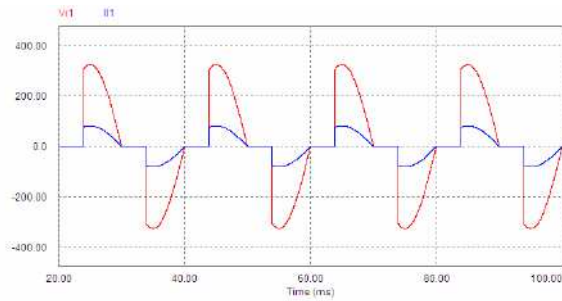


Figure 11 – Soft Starter behaviours on resistive load (top) and resistive-inductive (bottom)

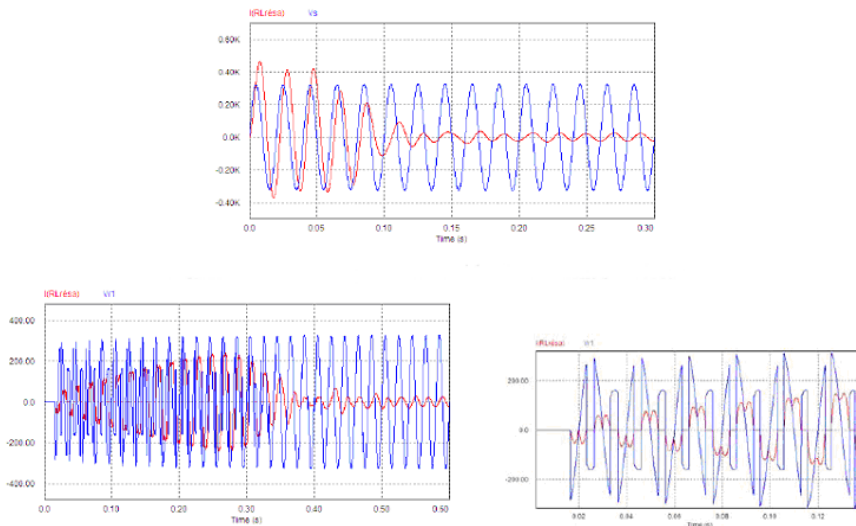


Figure 12 - DOL starting at no load (top) Soft Starter starting and its zoom (bottom) The curves above show that with a soft starter

The peak current by the power supply is twice smaller than the DOL start-up

The start-up current has strong harmonic components 5, 7, 11 and 13.

The 3rd harmonic and multiples are not present on the above example because of star connection.

With the aim of guaranteeing a quality power supply ($THD_U < 5\%$) to the loads in parallel with the soft starter, in general, the UPS must be derated by 20%. So, a UPS of 100 kVA will be suitable to supply a load consisting of soft starter up to a maximum of 80 kVA. The soft starter does not cause any risk of power re-injection into the UPS or mains.

Inrush currents

The Soft Starter reduces the inrush current of a ratio (V_S/V_n). It means the start-up could require currents from the UPS higher even than its overload capability and they must be considering at the sizing stage.

Speed drives

As well as a UPS, the speed drive is made by an AC/DC and a DC/AC module.

The available devices on the market are different, i.e.:

Stand alone or integrable in PDUs;

An AC/DC centralised for many DC/AC modules (one per motor).

The second solution is typically applied for high power applications such as rolling mills.

The three most common topologies are as follows, respectively:

2 quadrants (the energy can only flow from mains to motor);

with braking resistor (energy can flow both to and from motors but in such case it is dissipated over a resistor on the DC bus);

4 quadrants (energy can flow both to and from motors but in such case reinjected into the mains) also called Active Front End (Figure 13).

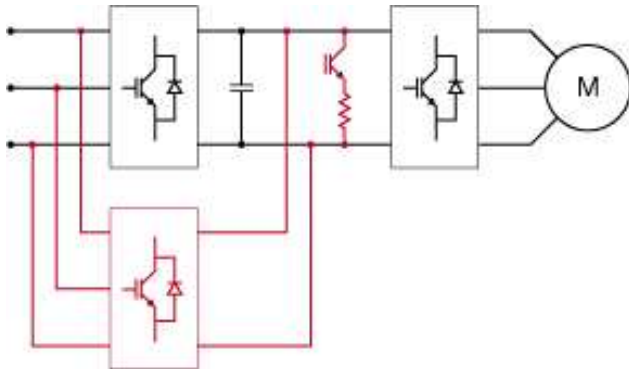


Figure 13 – Variable Speed Drive (both braking resistor and Active Front End included as example)

Impact on the supply

Regulator 1 (6 pulse rectifier as input stage)

The rectifier based on the 6-pulse SCR bridge technology, causes the following on the power network:

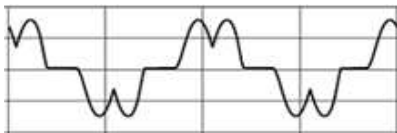
Harmonic currents generation;

Input Power Factor 0.8 to 0.9 or 0.7 to 0.8 in case of single phase rectifier;

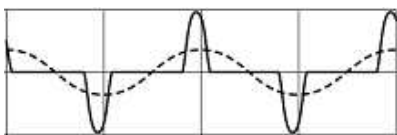
The presence of switching notches.

Examples:

Three-phase power supply – 6-pulse SCR rectifier input currents:



Single-phase power supply – SCR rectifier input currents:



Regulator 2 (IGBT rectifier as input stage)

This is an example of a sinusoidal regulator and unitary input Power Factor. It injects only high-frequency

and low-amplitude harmonics into the network. In practice, the resulting input current Total Harmonic Distortion (THD_i) will settle around 5%.

On the other hand, the speed drive standard IEC 61800-3-12 allows a maximum Input THD_i value up to 48%. To reduce the harmonics a possible strategy can be to clean up the distribution by using a passive, a T (L-C-L) filter can be used to eliminate the harmonics of frequencies close to the kHz value, or active filters.

The input bridge uses a Pulse Width Modulation (PWM). Such PWM modulation generates high-frequency disturbances on the network and generally requires the use of a EMC filter. This filter does not usually influence the upstream UPS.

If the power is supplied from an UPS, it may be necessary to insert an inductance between the UPS and the speed drive.

The capacity of being reversible can be used and the braking energy from the motor can therefore be reinjected into the mains. This must be taken into account for the UPS choice.

Sizing of UPS supplying a speed drive

We have to take into account the presence of all the harmonics, which may require methods of evaluation. It is critical subject that could affect the UPS performances is the significant presence of harmonic currents which generates voltage distortion at the UPS output.

Due to the common speed drive overload capacity we have to take into account any start-up currents, that typically are maximum 1.5 times the nominal current.

On the market there are transformed based and transformer less UPSs with different performances.

With the aim of guaranteeing a quality power supply (THD_U < 5%), in general, the transformer UPS must be derated of 40% in this type of application whereas the transformer less UPS can work at full load. So, a UPS of 100 kVA is capable of supplying a load consisting in the speed drive supplying asynchronous motors up to a maximum of 60kVA. In case of higher accepted THD_U value the derating factor can be reduced.

Something also very limiting is the possibility of energy being reinjected in the mains via UPS, as it is not generally designed to manage this situation.

In the case of services, we have to take into account the effects of thermal stress it could have on various UPS components.

Harmonics

Almost all regulators produce high rates of input voltage harmonics. These current harmonics generate a distortion in the output voltage of the UPS.

The UPS output voltage regulation has to compensate the effects of those harmonics, and has to maintain the system stability (UPS + Drive + Motor + load). The presence of harmonics, as well as the starting currents, needs a UPS derating. Purpose of this derating is to guarantee a stable operation and a maximum value of 5% output voltage distortion. The common derating factor for industrial applications is around 40%.

The voltage distortion generates strong currents in the UPS output filter capacitors. Purpose of derating is also to protect these components

Applying harmonic filtering solutions at the speed drive input allows to significantly reduce the derating of the UPS.

Motor overloads and regulator short circuits

Today's speed drives protect the motor against overloads. They generally limit the currents to around 1.5 times the nominal current, for one minute every ten or five. As a result, it is enough that the UPS carries overloads around 150%. The exact duration depends on the application. Given that the speed drives do not generally allow overloads in excess of 150% / 1 minute at 25 °C and 30 s at 30 °C the UPS can work at full load. Higher overload require UPS derating factors.

In case of speed drive short circuit, the UPS limits the current. We therefore need to check the selectivity between the protection of the speed drive and the UPS short circuit current.

Inrush Currents during start-up

Speed drives avoid inrush currents. On the other hand needs of fast startings could require temporary overload up to 1.5 times the nominal current.

The formula below does not take into account any derating related to the 150% overload but the permitted permanent overload of 1.1 C_n . In case of non sinusoidal currents the total harmonic distortion must be considered:

$$I_{rms} = I_l * \sqrt{(1 + THDI^2)} \quad \text{avec} \quad I_l = 1,1 * \frac{P_{mot}}{\sqrt{3} * U} * \frac{1}{\eta_{moteur} * \eta_{variateur}}$$

P_{mot} : Nominal power of the motor

U: Power supply voltage between phases

η_{moteur} : motor efficiency

η_{drive} : speed drive efficiency

The table below shows the calculations and the UPS needed to supply just one motor of the same type of the first example of this paper.

6 pulse speed drive	
$I_1 = 1.1 \cdot \frac{I_n}{\eta_{drive}} = 1.1 \cdot \frac{80A}{0.9} = 98A$	Supposing $\eta_{drive}=90\%$ and the temporary overload of the speed drive is compatible with the UPS.
$I_{rms} = I_1 \cdot \sqrt{1 + THD_i^2} = 98A \cdot \sqrt{1 + 0.32^2} = 103A$	It is interesting to note that:
$S_{drive} = \sqrt{3} V_n I_{rms} = 71kVA$	a UPS chosen just for the motor nominal current would have been 56 kVA ⁴ ;

the daily experience suggest to chose the UPS 67% higher than the nominal power of the motor to keep the THDU less than 5%, therefore 93 kVA.

Speed drive input Power Factor

The Power Factor can vary greatly, depending on the regulator model. It is advisable to provide the precise regulator model to avoid any useless derating.

Power reinjection

Some speed drives have the capability to reinject the energy back to the mains. Particular attention has to be given to this subject, because UPSs are not generally designed to manage it.

The capability of the UPS in absorbing the backwards energy depends on the charge level of the batteries connected directly to the DC bus. The drawback is that the batteries are overly stressed in case of too frequent happenings. This is not a solution, this relieves the situation but does not solve the problem and should be used rarely and wisely.

Cycles and starting

The existence of load cycles is even more true for motor supplied by a speed drive. Depending on amplitude, duration and cycle frequency, certain UPS components age prematurely (e.g. battery, IGBT...).

In case of cycling, batteries are generally used by the UPS for trying to compensate the voltage drop of the DC bus. Not taking it into account during the sizing of the UPS could cause progressive discharge and in the long term, premature ageing of the batteries.

A good way to avoid those drawbacks is to use a device that keeps the DC voltage constant and fast reacting to energy requests. These are typical characteristics of high speed flywheel based energy storage systems.

The best way to have long BUT and DC bus voltage stability is to have both, battery and flywheel in parallel.

Similar phenomena are observed during start up, but this procedure is much less frequent. Therefore, up to 10 start-up cycles equally distributed during the day can be accepted.

⁴ $P_n / P.F. = 45 \text{ kW} / 0.9 = 56 \text{ kVA}$

Battery Mode functionality

In case of the above mentioned processes without mains present upstream to the UPS, the stress on the battery is worsened since there is no rectifier supporting the battery by supplying the UPS inverter.

White Paper – 07/2010
Power supply for asynchronous motors
Author: Franck Weinbissinger – Industrial Marketing Manager

Head Office
SOCOMECS UPS Strasbourg
11, route de Strasbourg
B.P. 10050
F-67235 Huttenheim Cedex – France

SOCOMECS UPS Vicentina
Via Silla, 1/3
36033 Isola Vicentina (VI) – Italy

Sales, Marketing and Service Management
SOCOMECS UPS Paris
95, rue Pierre Grange
F-94132 Fontenay-sous-Bois Cedex – France