



SIEMENS

Totally Integrated Power

Technische Schriftenreihe Ausgabe 3

Modellierung von Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in SIMARIS® design für die Anwendung in Rechenzentren

[siemens.de/tip-cs](https://www.siemens.de/tip-cs)

1. Grundlage

Die unterbrechungsfreie Stromversorgung der Server ist für Rechenzentren von elementarer Bedeutung, damit diese zuverlässig 24 Stunden täglich und auch 365 Tage im Jahr zur Verfügung stehen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine sorgfältige Planung der Stromversorgung unerlässlich. Dazu gehört auch die Abstimmung der einzusetzenden Komponenten untereinander, wobei in diesem Prozess der Auswahl und Einbindung von USV-Anlagen in das Stromversorgungskonzept besondere Bedeutung zukommt.

In Anlehnung an die Norm IEC 62040-3 (DIN EN 62040-3; VDE 0558 Teil 530) können USV-Hersteller ihre Geräte gemäß der darin beschriebenen Klassifizierung kennzeichnen. Im folgenden werden auszugsweise die Beurteilungskriterien dargestellt:



Bezeichnungsschema: AAA BB CCC
z. B.: VFI SS 111 (höchste Klassifizierung)

Bedeutung der Bezeichnungselemente:

AAA

Der Kennwert beschreibt die Abhängigkeit der USV-Ausgangversorgung im Normalbetrieb bei Spannungs- und Frequenzänderung der Eingangswchselstromversorgung.

„VFD“ (Voltage and Frequency Dependent):
USV-Anlagen mit der Klassifikation VFD müssen die Last gegen Netzausfall schützen.

Der USV-Ausgang wird in diesem Fall von Änderungen der Eingangswchselspannung und der Frequenz beeinflusst und ist nicht geeignet zusätzliche Korrekturfunktionen zu übernehmen, die sich bspw. aus der Anwendung eines Stufentransformators ergeben.

„VI“ (Voltage Independent):

USV-Anlagen mit der Klassifikation VI müssen – ebenso wie USV-Anlagen mit VFD die Last gegen Netzausfall schützen, aber die Versorgung zusätzlich auch bei

- dauerhaft anliegender Unterspannung am Eingang
- dauerhaft anliegender Überspannung am Eingang

gewährleisten.

Der Ausgang einer USV mit Klassifikation VI ist von der Frequenz des Wechselspannungseingangs abhängig, und die Ausgangsspannung muss innerhalb der vorgeschriebenen Spannungsgrenzwerte bleiben.

„VFI“ (Voltage and Frequency Independent):

USV-Anlagen mit der Klassifikation VFI sind unabhängig von Schwankungen der (Netz-) Versorgungsspannung und -frequenz und müssen die Last gegen nachteilige Auswirkungen derartiger Schwankungen schützen, ohne dabei die Energiespeichereinrichtung zu entladen.

BB

Vom Kurvenverlauf der Spannung abhängige Kennwerte, wobei zwischen den folgenden Betriebsarten unterschieden wird:

- Normal- oder Umgebungsbetrieb (1. Zeichen)
- Energiespeicherbetrieb (2. Zeichen)

„S“: Der Kurvenverlauf der Spannung ist sinusförmig.

Bei linearer und bei nichtlinearer Referenzlast (die genaue Spezifikation ist in IEC 62040-3 zu finden) ist die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung kleiner 8 %. Die Kurvenform wird als sinusförmig bezeichnet.

„X“: Nur bei linearer Last ist die Kurvenform sinusförmig. Bei nichtlinearer Referenzlast ist die Kurvenform nicht mehr sinusförmig, da die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung den Grenzwert von 8 % übersteigt.

„Y“: Der Kurvenverlauf der Spannung ist weder bei linearer noch bei nichtlinearer Referenzlast sinusförmig. In beiden Fällen wird der Grenzwert von 8 % überschritten.

CCC

Kennwerte für das dynamische Verhalten der USV-Ausgangsspannung:

1. Ziffer: bei Änderung der Betriebsart
2. Ziffer: bei linearem Lastsprung im Normal- oder Batteriebetrieb (Angabe für den ungünstigsten Fall)
3. Ziffer: bei nichtlinearem Lastsprung im Normal- oder Batteriebetrieb (Angabe für den ungünstigsten Fall)

„1“: erforderliches Betriebsverhalten für empfindliche, kritische Lasten.

Die USV-Ausgangsspannung bleibt innerhalb der Grenzwerte von Kurve 1 (siehe IEC 62040-3) in diesem Abschnitt.

„2“: für die meisten kritischen Lasten zulässiges Betriebsverhalten.

Die USV-Ausgangsspannung bleibt innerhalb der Grenzwerte von Kurve 2 (siehe IEC 62040-3) in diesem Abschnitt.

„3“: für die meisten allgemeinen IT-Lasten zulässiges Betriebsverhalten, z. B. Schaltnetzteile.

Die USV-Ausgangsspannung bleibt innerhalb der Grenzwerte von Kurve 3 (siehe IEC 62040-3) in diesem Abschnitt.



Mit SIMARIS design lassen sich elektrische Netze auf Basis realer Produkte mit minimalem Eingabeaufwand dimensionieren – und zwar von der Mittelspannung bis zum Verbraucher (im Falle eines Rechenzentrums also bis zum Rack, in dem das IKT-Equipment mit Strom versorgt wird). Sie reduzieren dadurch Ihren Aufwand für die Gesamtplanung der Energieverteilung und damit die Zeit für die Auswahl und Dimensionierung der Betriebsmittel enorm – bei hoher Planungssicherheit.

Die Einbindung von USV-Anlagen in die Planung der Energieverteilung ist in SIMARIS design mit Hilfe einer Ersatzdarstellung möglich, sowohl

- **als Last** für die Auswahl der Komponenten der Einspeisung (Transformatoren, Generatoren, Kabel, Schienen, Schaltgeräte)
- **wie auch als Quelle**, um die Auswirkungen auf das nachfolgende Netz bezüglich der maximalen Kurzschlussströme im Fall der Speisung durch den Transformator sowie die minimalen Kurzschlussströme bei Wechselrichterbetrieb darzustellen.

Hierbei können für das nachfolgende Netz die Einhaltung der elektrotechnischen Bedingungen gemäß Norm wie z.B. die Abschaltbedingung nach IEC 60364-4-41 (DIN VDE0100 Teil 410) sowie die Selektivität überprüft werden.

2. Einbindung von USV-Anlagen in Stromversorgungssysteme

In Stromversorgungsnetzen werden USV-Anlagen eingesetzt, um kritische Verbraucher, bei denen eine Versorgungsunterbrechung oder Störungen der Versorgungsqualität zu schwerwiegenden Folgen wie Datenverlust, Produktionsausfall oder Sicherheitsproblem führen können, abzusichern. Der Einsatzzweck bestimmt üblicherweise die Funktionsweise einer USV und die damit verbundene USV-Klassifizierung. Bei der Einbindung in das Stromverteilungsnetz ist die USV-Funktionsweise zu beachten, damit Fehlfunktionen und unerwünschte Effekte im Fehlerfall oder bei Betriebsänderungen vermieden werden.

Doppelwandler-USV-Anlagen (meistens USV-Klassifizierung VFI) bieten durch die Entkopplung der Lastversorgung vom USV-Eingang (siehe Bild 1) die größte Sicherheit und werden für die folgenden Betrachtungen zugrunde gelegt.

Anhand eines konkreten Planungsbeispiels soll nachfolgend die Einbindung einer statischen USV-Anlage in ein

Konzept für ein Stromversorgungsnetz gezeigt werden, einschließlich der Simulation der USV in SIMARIS design.

Ausgehend von der Annahme, dass der Eingang für den statischen Bypass von der AV-Schiene (Trafoeinspeisung, NSHV AV) und der Gleichrichtereingang von der SV-Schiene (Generator, NSHV SV) versorgt wird, ergeben sich aus Sicht der Ausgangsseite der USV (USV Hauptverteilung) Verhältnisse wie vereinfacht in Bild 2 dargestellt.

- Der statische Bypass wird von der NSHV AV (Transformator) gespeist. Hierdurch werden die hohen Kurzschlussströme bei der Trafoversorgung berücksichtigt.
- Im Doppelwandlerbetrieb ist die USV-Gleichrichterversorgung über die NSHV SV (Generator) entkoppelt vom Wechselrichterausgang, wodurch die Fehlerströme am USV-Ausgang im Wechselrichterbetrieb ausschließlich durch den Wechselrichter bestimmt werden und gemäß Herstellerangabe zu berücksichtigen sind.

Bild 1: Einbindung von USV-Anlagen mit Gleichstromzwischenkreis (Double Conversion)

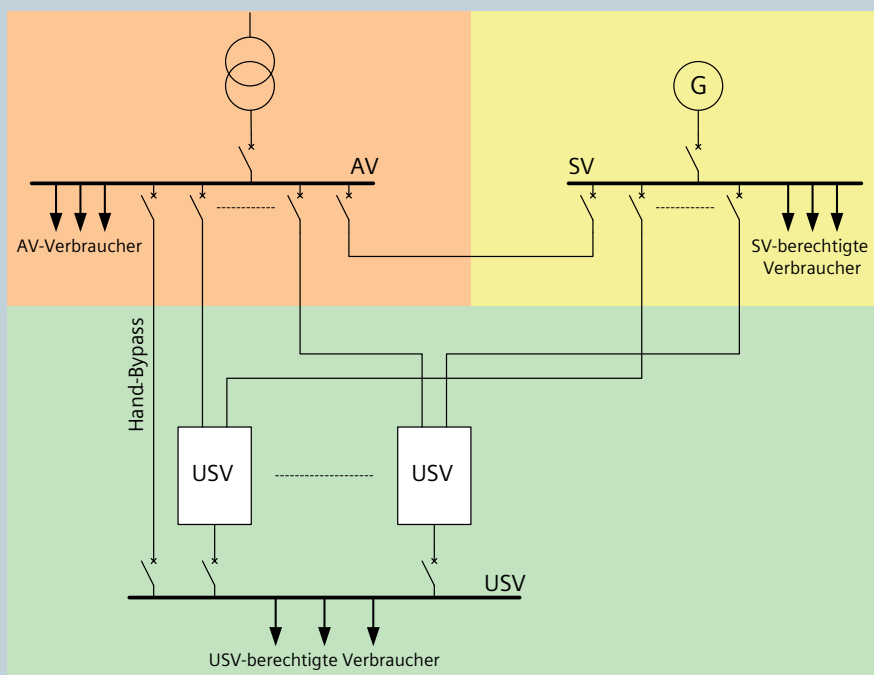
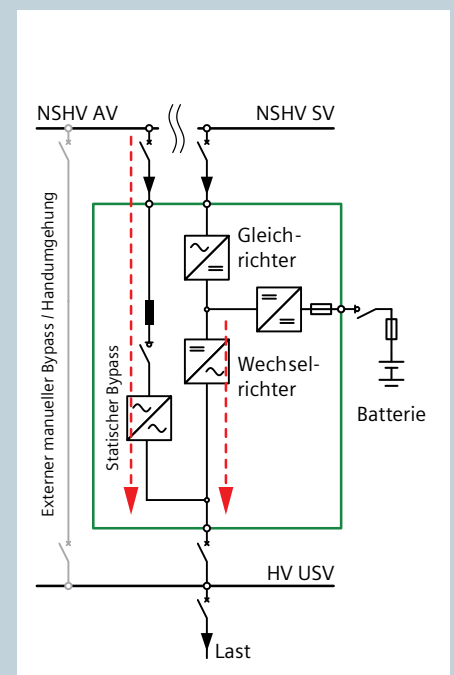


Bild 2: Speisung eines ausgangsseitigen Kurzschlusses durch den Transformator über den Bypass oder/und durch den Wechselrichter



3. Simulation von USV-Anlagen in SIMARIS design

SIMARIS design bietet verschiedene Möglichkeiten zur Simulation von USV-Anlagen, von denen hier nur die detaillierte Simulation in Bild 3 dargestellt wird.

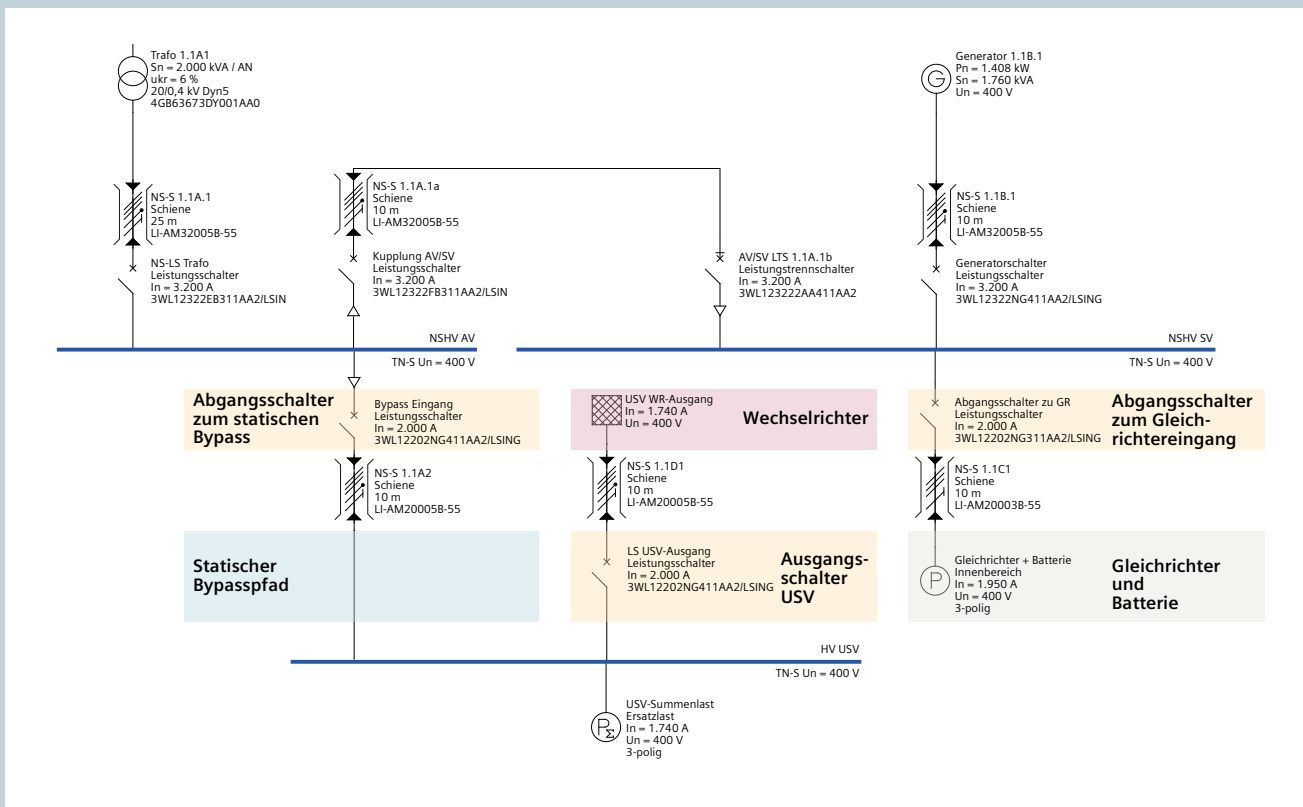
Folgende Elemente werden mithilfe der gerichteten Kuppelung erstellt:

- a) Abgangsschalter von der NSHV AV zum Eingang des statischen Bypasses der USV
- b) Statischer Bypass (Verbindung zwischen NSHV AV und HV USV, maximale Kurzschlussströme von der Trafoeinspeisung)

Der Wechselrichterpfad der USV, der Ausgangsschalter der USV und die HV USV (Hauptverteilung auf der Ausgangsseite der USV) werden durch das Ersatzbild einer neutralen Netzeinspeisung simuliert. Die Kurzschlussströme (maximal und minimal) der USV werden gemäß Herstellerangabe (siehe Tabelle 1) als technische Daten der neutralen Netzeinspeisung eingetragen.

Der Abgangsschalter von der NSHV SV sowie der Gleichrichtereingang einschließlich Ladestrom der Batterie werden ersatzweise durch eine Last an der NSHV SV simuliert.

Bild 3: Detaillierte Simulation von USV-Anlagen in SIMARIS design



Technische Daten der USV

Für das hier dargestellte Beispiel wurden Herstellerangaben einer konkreten USV, die es in verschiedenen Varianten mit 200 bis 1.200 kVA Scheinleistung gibt, als Basisdaten herangezogen:

Maximaler Eingangsstrom Gleichrichtereingang
 $I_{(max)} = 1.950 \text{ A}$
 Nennausgangsstrom = 1.740 A

Tabelle 1: Auszug aus den technischen Daten zu Masterguard Trinergy

| Leistung in kVA | 200 | 400 | 600 | 800 | 1.000 | 1.200 | |
|---|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Wechselrichterausgang | | | | | | | |
| Nennwert der Scheinleistung bei 40°C Umgebungstemperatur, gilt für induktive oder kapazitive Lastfaktoren | 200 | 400 | 600 | 800 | 1.000 | 1.200 | |
| Nennwirkleistung in kW | 180 | 360 | 540 | 720 | 900 | 1.080 | |
| Nennausgangsstrom in A | 290 | 580 | 870 | 1.160 | 1.450 | 1.740 | |
| Maximale Wirkleistung in kW | 200 | 400 | 600 | 800 | 1.000 | 1.200 | |
| Überlast bei Nennausgangsspannung für 10 min in % (Nennleistung) | 125 | | | | | | |
| Überlast bei Nennausgangsspannung für 1 min in % (Nennleistung) | 150 | | | | | | |
| Kurzschlussfestigkeit für 10 ms / < 5 s in % | 300/150 | | | | | | |
| Statischer Bypass | | | | | | | |
| Nennspannung in V | 400 (380/415 wählbar, 3Ph + N) | | | | | | |
| Nennspannungsbereich in % | 10 (5 bis 15 wählbar) | | | | | | |
| Nennfrequenz in Hz | 50 (60 wählbar) | | | | | | |
| Frequenzbereich in % | ± 1 (2, 3, 4 wählbar) | | | | | | |
| Max. Überlastkapazität | für 10 min in % | 125 | | | | | |
| | für 1 min in % | 150 | | | | | |
| | für 600 ms in % | 700 | | | | | |
| | für 100 ms in % | 1.000 | | | | | |
| Thyristor | $I^2t @ T_{vj}=125 \text{ °C}$ 8,3–10 ms in kA ² s | 3.200 | 1.280 | 2.880 | 5.120 | 8.000 | 11.520 |
| | ITSM @ T _{vj} =125 °C 10 ms in A | 800 | 12.700 | 16.640 | 20.160 | 23.390 | 26.415 |
| Nennleistung der Wechselrichtersicherung | I^2t in kA ² s | 67 | 268 | 603 | 1.072 | 1.675 | 2.412 |
| Umschaltzeit, wenn Wechselrichter synchron mit Reserve-Netz: Wechselrichter auf Reserve-Netz und Reserve-Netz auf Wechselrichter | Unterbrechungsfrei | | | | | | |



Bild 4 zeigt die Eingabefenster in SIMARIS design für die technischen Daten zur USV gemäß konkreter Herstellerangaben (siehe Tabelle 1), wobei diese Daten eben als technische Daten für die zur Simulation verwendeten Ersatzelemente eingegeben werden.

Bild 4: Eingabe der technischen Daten einiger verwendeten Elemente für die Simulation einer USV-Anlage in SIMARIS design

The image displays a power system diagram in SIMARIS design with two configuration windows overlaid.

Verbraucher mit Festanschluss (Consumer with Fixed Connection) Dialog:

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Bezeichnung | Gleichrichter + Batterie |
| Polzahl (Netzart) | 3 |
| Phasen | L1-L2-L3 |
| Nennstrom [A] | 1.950 |
| Wirkleistung [kW] | 1.351 |
| cos(φ) | 1 |
| Nennspannung [V] | 400 |
| Ausnutzungsfaktor ai | 1 |
| Belastungsart ind./kap. | induktiv |
| Einsatzort | Innenbereich |

Netzspeisung: Kurzschlussströme (Network Feeding: Short-circuit Currents) Dialog:

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Bezeichnung | USV WR-Ausgang |
| Nennstrom [A] | 1.740 |
| Kurzschlussströme (cos(φ) = 0.7) | |
| Ik3max [A] | 5.220 |
| Ik3min [A] | 2.610 |
| Ik1max [A] | 5.220 |
| Ik1min [A] | 2.610 |

The diagram shows a transformer (Trafo 1.1A1) connected to a busbar system. Key components include:

- Abgangsschalter zum statischen Bypass** (Breaker to static bypass)
- Statischer Bypasspfad** (Static bypass path)
- Wechselrichter** (Inverter)
- USV WR-Ausgang** (UPS inverter output)
- Abgangsschalter zum Gleichrichter-Eingang** (Breaker to rectifier input)
- Gleichrichter und Batterie** (Rectifier and battery)



Festlegen der Betriebsarten

Um die Betriebsarten für die Berechnung der maximalen Kurzschlussströme (Trafobetrieb) sowie die minimalen Kurzschlussströme (Wechselrichterbetrieb) zu simulieren, schlagen wir vor, die Betriebsarten in SIMARIS design wie folgt einzustellen (Bild 5).

Um die Lastverhältnisse der beiden USV-Eingänge – statischer Bypass (vom Transformator eingespeist) und Gleichrichtereingang (durch den Generator versorgt) – zu simulieren, empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

1. An die Generatorverteilung wird die maximale Eingangslast der USV von 1.950 A, $\cos \varphi = 1$ angeschlossen (da für die USV am Eingang $\cos \varphi = 1$ gilt). Diese simuliert die USV-Einspeisung ($I_n = 1.740$ A) über den Gleichrichter einschließlich der USV-Verluste und der Batterieladung (210 A) gemäß Herstellerangabe. Da zum Ausgang hin eine Netzentkopplung durch die Halbleiterelektronik vorliegt, ist es ausreichend, die USV mit dem zugehörigen Abgangsschalter als Last an der NSHV SV zu simulieren.

2. Die HV USV wird mit dem Nennausgangsstrom von 1.740 A, $\cos \varphi = 1$ belastet (für Server gilt im Allgemeinen ein Wert von nahezu $\cos \varphi = 1$, genaue Angaben dazu sind jedoch für jeden konkreten Fall beim Hersteller zu erfragen).

3. Somit ist die NSHV SV mit der realen USV-Last (1.950 A) und die HV USV mit der Nennlast der USV (1.740 A) belastet. An der NSHV AV liegt nun eine Last von 1.950 A + 1.740 A an. Richtig wären jedoch 1.950 A. Um dies zu kompensieren, wird der Gleichzeitigkeitsfaktor (g_i) für die NSHV AV wie folgt ermittelt:

$$g_i = 1.950 \text{ A} / (1.950 \text{ A} + 1.740 \text{ A}) = 0,53$$

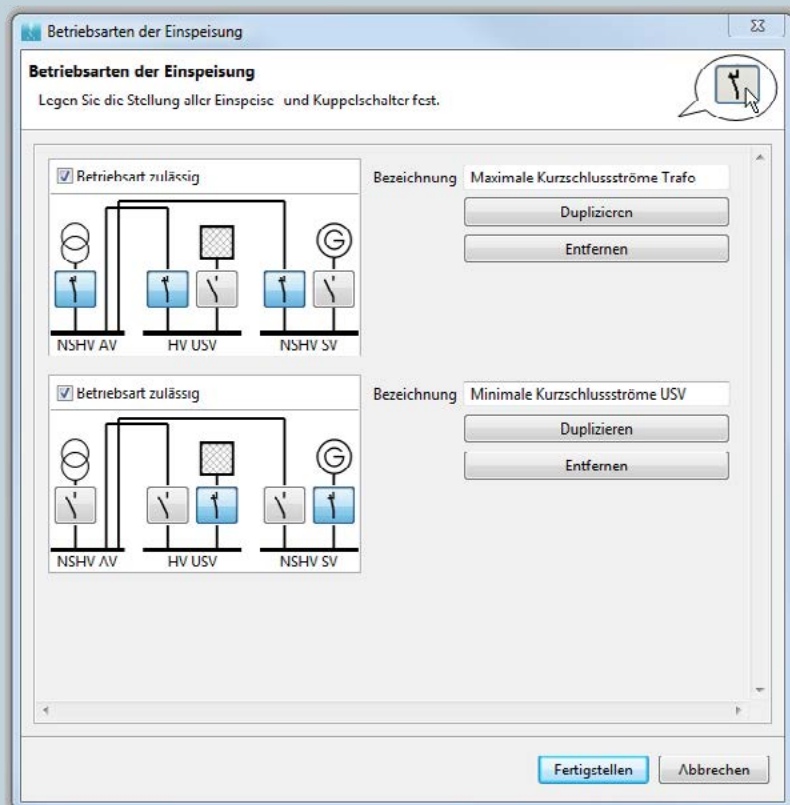


g_i ist im konkreten Fall entsprechend der tatsächlich vorliegenden Lastverhältnisse anzupassen!



Sobald die Betriebsarten definiert und die technischen Daten eingegeben sind, kann die Berechnung angestoßen und somit die Dimensionierung der Betriebsmittel erfolgen.

Bild 5: Festlegen der Betriebsarten zur Simulation von Trafobetrieb und Wechselrichterbetrieb





Simulation der Kurzschlussströme

Die maximalen Kurzschlussströme werden über den statischen Bypass fließen und in SIMARIS design über eine gerichtete Kupplung von der NSHV-AV simuliert.

Die Simulation des Wechselrichters erfolgt über die neutrale Netzeinspeisung, siehe Bild 4. Es werden die minimalen (150 % => $1,5 \times I_n = 2.610 \text{ A}$, 5 s) und maximalen (300 % => $3 \times I_n = 5.220 \text{ A}$, 10 ms) Kurzschlussströme des Wechselrichters (siehe Tabelle 1) als technische Daten für die neutrale Netzeinspeisung eingetragen.

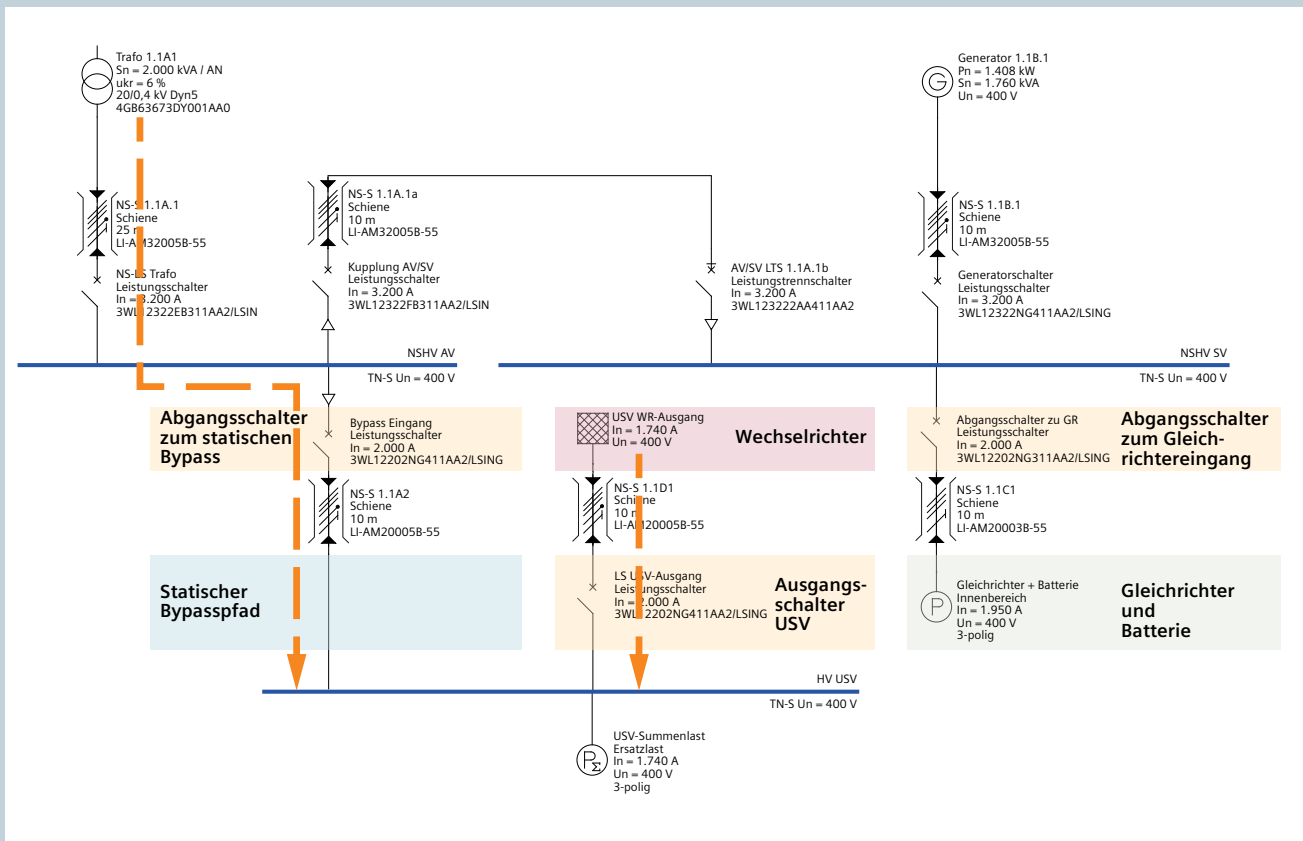


Somit werden an der Verteilung HV USV die maximalen Kurzschlussströme von der Trafоеinspeisung und die minimalen Kurzschlussströme, die bei Wechselrichtereinspeisung fließen, berücksichtigt.

Die Kurzschlussfestigkeit des Abgangsschalters der USV muss genauso groß sein wie die des Abgangsschalters von der NSHV AV zum statischen Bypass (hier 66 kA). Dieser Schalter ist manuell auszuwählen.

Als Auslöser für die 3WL Schalter sollten aus Gründen der Selektivität (größere Varianz der Einstellmöglichkeiten) und des Personenschutzes (G-Auslöser) gemäß IEC 60364-4-41 (DIN VDE0100 Teil 410) die elektronischen Auslöser ETU45B oder ETU76B ausgewählt werden.

Bild 6: Simulation der Kurzschlussströme in Netzen AV mit USV-Anlagen in SIMARIS design



USV-Module als Favoriten

Die Komponenten zur Modellierung einer USV-Anlage können in SIMARIS design einzeln als Favoriten hinterlegt werden. Dazu werden die NSHV AV, die NSHV SV und die HV USV unter Favoriten abgelegt. Die erstellten Favoriten können über den Menüpunkt

Extras > Favoriten > Favoriten exportieren

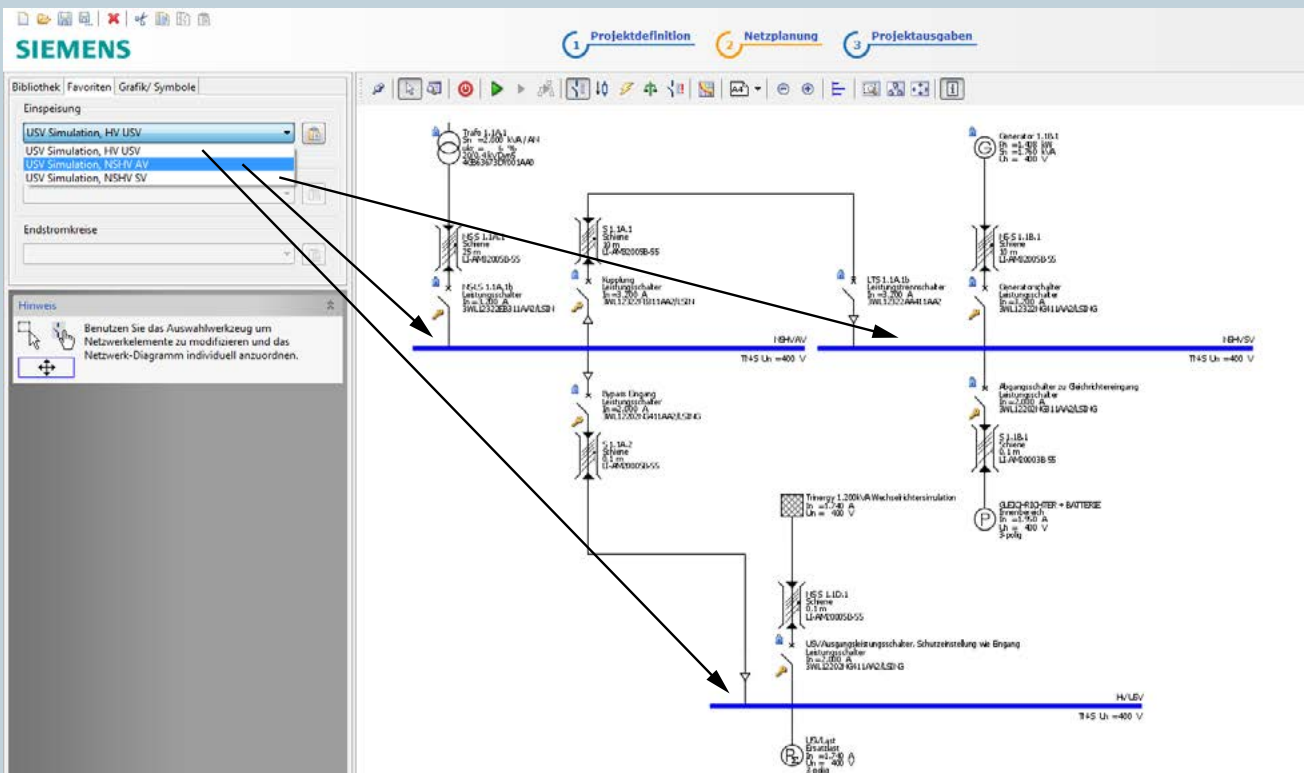
ausgelesen werden. Umgekehrt können vorhandene Sammlungen von Favoriten über den Menüpunkt

Extras > Favoriten > Favoriten importieren

für die Nutzung in einem SIMARIS design Projekt eingelesen werden.

i Im Dokumentenanhäng finden Sie das SIMARIS design-Musternetz (.sd) für eine statische USV-Anlage und die dazugehörigen Musterfavoriten (.sdt). Die Dateien wurden mit SIMARIS design (siemens.de/simaris) erstellt.

Bild 7: Arbeiten mit Favoriten – für die USV-Modellierung müssen noch die gerichteten Kupplungen zwischen NSHV AV => NSHV SV und NSHV AV => HV USV erstellt werden.



4. Kritische Punkte bei der Einbindung von USV-Anlagen in Stromversorgungsnetze

Unabhängig von der Simulation einer USV in SIMARIS design sind bei der Einbindung von USV-Anlagen in Stromversorgungsnetze folgende Punkte besonders zu beachten:

- Fehler auf der HV USV sind kritisch und präventiv zu vermeiden - durch Einsatz hochwertiger Komponenten (Schienensysteme einschließlich geprüfter Anbindung, SIVACON S8 in fußpunktfreier Ausführung, ...)
- Fehler an der HV USV können beim Wechselrichterbetrieb hinsichtlich der Abschaltung gemäß IEC 60364-4-41 (DIN VDE 0100 Teil 410) problematisch werden, falls die Fehlerströme nahezu der Größe der Nennströme entsprechen. Beim 1-poligen Fehler gegen Erde können hochwertige Leistungsschalter mit G-Auslöser (z. B. Siemens 3WL Schalter mit ETU45B, ETU76B) Abhilfe schaffen.
- Bei Abschaltung gemäß IEC 60364-4-43 (DIN VDE 0100 Teil 430) wird aufgrund des USV-Kurzschlussverhaltens empfohlen, die Bemessungsströme der Schaltgeräte in den Abgängen der HV USV auf 30 % des USV-Bemessungsausgangsstroms zu begrenzen.
- Für USV-Anlagen im unteren Leistungsbereich (< 100 kVA) können beim 1-poligen Fehler gegen Erde RCD-Schalter eingesetzt werden. Bei einer ungünstigen Auslegung der HV USV kann eine optimierte Berechnung der minimalen Kurzschlussströme unter Berücksichtigung des USV-Regelverhaltens Vorteile bei der Auslegung bringen.
- Im Kurzschlussfall am USV-Ausgang ist die zulässige Belastung des statischen Bypasses mit den Angaben des USV-Herstellers zu vergleichen.
- Bei der Einbindung der USV-Anlagen in ein TN-S System ist unter anderem der zentrale Erdungspunkt und die Polzahl der Schaltgeräte (3- oder 4-polig) festzulegen
- Bei parallelgeschalteten USV-Anlagen kann eine Fehlerbetrachtung im nachfolgenden Verteilungsnetz einen möglichen Schutzbedarf, der zusätzlich nötig ist, aufzeigen.



Weitere Informationen:

Siemens AG
Ingo Englert
ingo.englert@siemens.com

Bei Fragen sowie Lösungsmöglichkeiten im konkreten Fall können Sie Ihren regionalen Siemens-Ansprechpartner kontaktieren:

siemens.de/tip-cs/kontakt

SIMARIS® design: Netzberechnung und Berechnung des Kurzschlussstroms

Mit der Software SIMARIS design erledigen Sie die Netzberechnung inkl. der Berechnung von Kurzschlussströmen auf Basis realer Produkte mit minimalem Eingabeaufwand – von der Mittelspannung bis zum Stromverbraucher. Zudem übernimmt die Software die Berechnung von Lastfluss, Spannungsfall sowie Energiebilanz.



Siemens AG

Energy Management
Medium Voltage & Systems
Mozartstr. 31c
91052 Erlangen
Deutschland

Die Informationen in dieser Schrift enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsabschluss ausdrücklich vereinbart werden. Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens AG oder anderer, zuliefernder Unternehmen sein, deren Verwendung durch Dritte für ihre eigenen Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

Änderungen vorbehalten • 0816
© Siemens AG 2016 • Deutschland