

Grundlagenreihe Stromversorgungen und Verbraucher besonderer Art Teil 2

Die Überwachungsfunktionen

Aufgrund der besonderen Kenndaten des Generators und dessen Regelung müssen die Betriebsparameter des Ersatzstromerzeugers überwacht werden, wenn besondere Verbraucher in den Prozess integriert sind.

Das Betriebsverhalten des Generators unterscheidet sich von dem des Transformators:

- Die von ihm gelieferte Wirkleistung wird für einen Leistungsfaktor $= 0,8$ optimiert.
- Bei einem Leistungsfaktor unter $0,8$ kann der Generator durch eine erhöhte Erregung einen Teil der Blindleistung liefern.

Kompensationsanlage

Bei einem nichtbelasteten Generator, der an eine Kompensationsanlage angeschlossen ist, kann es zu einer Selbsterregung des Generators kommen, wodurch sich seine Spannung erhöht.

Die zur Blindleistungskompensation verwendeten Kompensationsanlagen müssen daher abgeschaltet werden. Diese Abschaltung kann einerseits durch die Weitergabe des Aussichtsollwertes an den Blindleistungsregler durchgeführt werden (wenn dieser an das System zur Steuerung der Netzschnittstelle angeschlossen ist) oder durch Öffnen des Leistungsschalters, der die Kondensatoren versorgt.

Sind Kondensatoren weiterhin erforderlich, ist in diesem Fall keine Regelung des Relais zur Blindleistungskompensation durchzuführen (falsche und zu niedrige Einstellung).

Wiederanlauf und erneute Beschleunigung des Motors

Ein Generator kann bestenfalls im transienten Zustand einen Strom liefern, der dem 3- bis 5-Fachen seines Nennstroms entspricht. Ein Motor nimmt ca. $6 I_n$ für 2 bis 20 s während des Anlaufs auf.

Ist die Summe der Motorleistungen hoch, erzeugt das gleichzeitige Einschalten von Verbrauchern einen hohen Einschaltstrom, der zu Beschädigungen führen kann: großer Spannungsfall aufgrund des hohen Wertes der Transienten- und Subtransienten-reaktanzen des Generators (20 % bis 30 %). Es besteht das Risiko:

- eines Nichtanlaufens von Motoren,
- eines Temperaturanstieges durch die längere Anlaufzeit aufgrund des Spannungsfalls,
- einer Auslösung der thermischen Schutzeinrichtung.

Desweiteren kommt es durch den Spannungsfall zu Störungen in dem durch Ersatzstromversorgung betriebenen Netz.

Anwendung

(siehe Abb. N7)

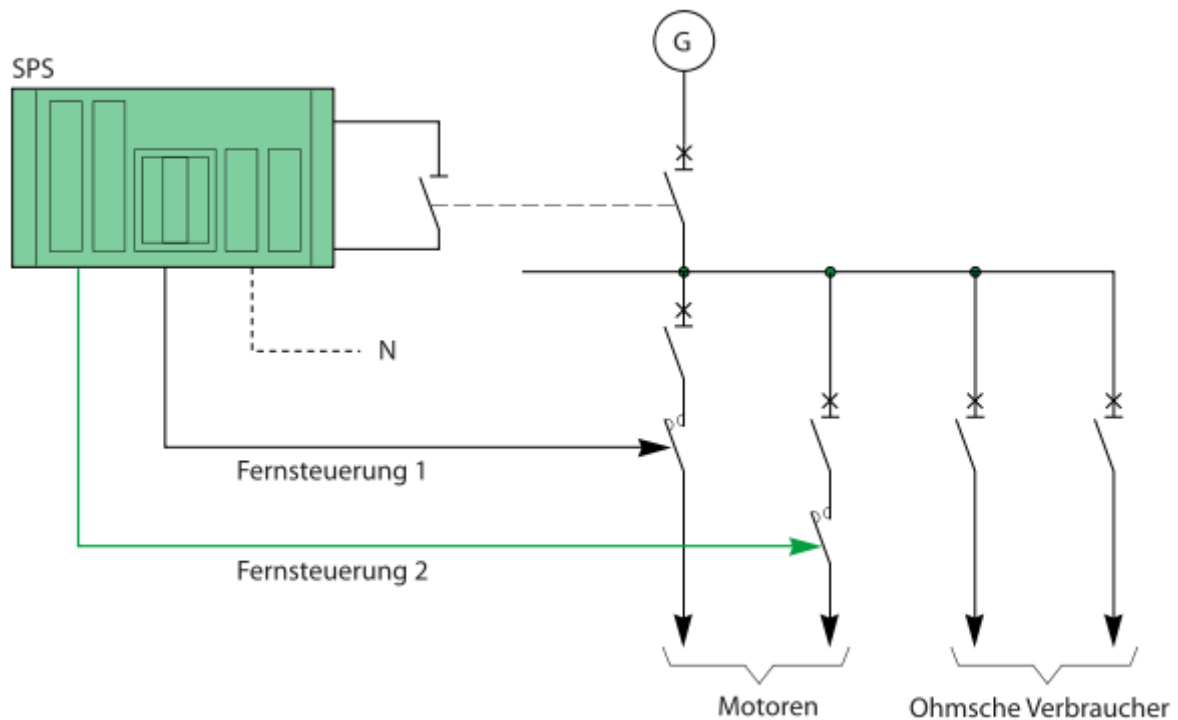


Abb. N7: Wiederanlauf ersatzstromberechtigter Motoren ($\Sigma P > 1/3 P_n$)

Ein Generator versorgt eine Anzahl von Motoren.

Kurzschlusskenndaten des Ersatzstromgenerators:

$S_n = 130 \text{ kVA}$; Leistungsfaktor: 0,8; $I_n = 150 \text{ A} = P_n = 104 \text{ kW}$

$x'_d = 20 \text{ \%}$ (z.B.), daher $I_{sc} = 750 \text{ A}$.

- Die $\Sigma P_{\text{Motoren}}$ beträgt 45 kW (45 % der Generatorleistung)

Berechnung des Spannungsfalls beim Anlauf:

$P_{\text{Motoren}} = 45 \text{ kW}$, $I_n = 81 \text{ A}$ bei $\cos \varphi = 0,8$; daher ein Anlaufstrom $I_d = 480 \text{ A}$ für 2 bis 20 s.

Spannungsfall an der Sammelschiene für gleichzeitige Motoranläufe:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{I_d - I_n}{I_{sc} - I_n} \right) \text{ in } \% ,$$

$\Delta U = 55 \text{ \%}$

Dieser Wert ist für Motoren nicht zulässig (Anlaufstörung).

- Die $\Sigma P_{\text{Motoren}}$ beträgt 20 kW (20 % der Generatorleistung)

Berechnung des Spannungsfalls beim Anlauf:

$\Sigma \text{ Motoren} = 20 \text{ kW}$, $I_n = 36 \text{ A}$ bei $\cos \varphi = 0,8$; daher ein Anlaufstrom $I_d = 210 \text{ A}$ für 2 bis 20 s.

Spannungsfall an der Sammelschiene:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{I_d - I_n}{I_{sc} - I_n} \right) \text{ in } \% ,$$

$\Delta U = 10 \%$ Dieser Wert ist hoch, jedoch zulässig (je nach Verbrauchertypen).

Hinweise zum Wiederanlauf

- Ist P_{max} des größten Motors $> \frac{1}{3} P_n$, ist ein Sanftanlasser in diesen Motorstromkreis einzubauen.
- Ist die $\Sigma P_{\text{Motoren}} > \frac{1}{3} P_n$, muss ein kaskadierter Wiederanlauf der Motoren durch eine SPS gesteuert werden.
- Ist die $\Sigma P_{\text{Motoren}} < \frac{1}{3} P_n$, ist ein problemloser Wiederanlauf möglich.

Nichtlineare Verbraucher – Beispiel einer USV-Anlage

Nichtlineare Verbraucher

Die wichtigsten nichtlinearen Verbraucher sind:

- gesättigte magnetische Kreise,
- Entladungslampen, Leuchtstofflampen,
- elektronische Stromrichter,
- EDV-gestützte Systeme: PC, Computer usw.

Diese Verbraucher erzeugen Oberschwingungen. Bei einer Versorgung durch einen Ersatzstromgenerator kann es aufgrund der niedrigen Kurzschlussleistung des Generators zu hohen Spannungsverzerrungen kommen.

Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage (USV)

(siehe Abb. N8)

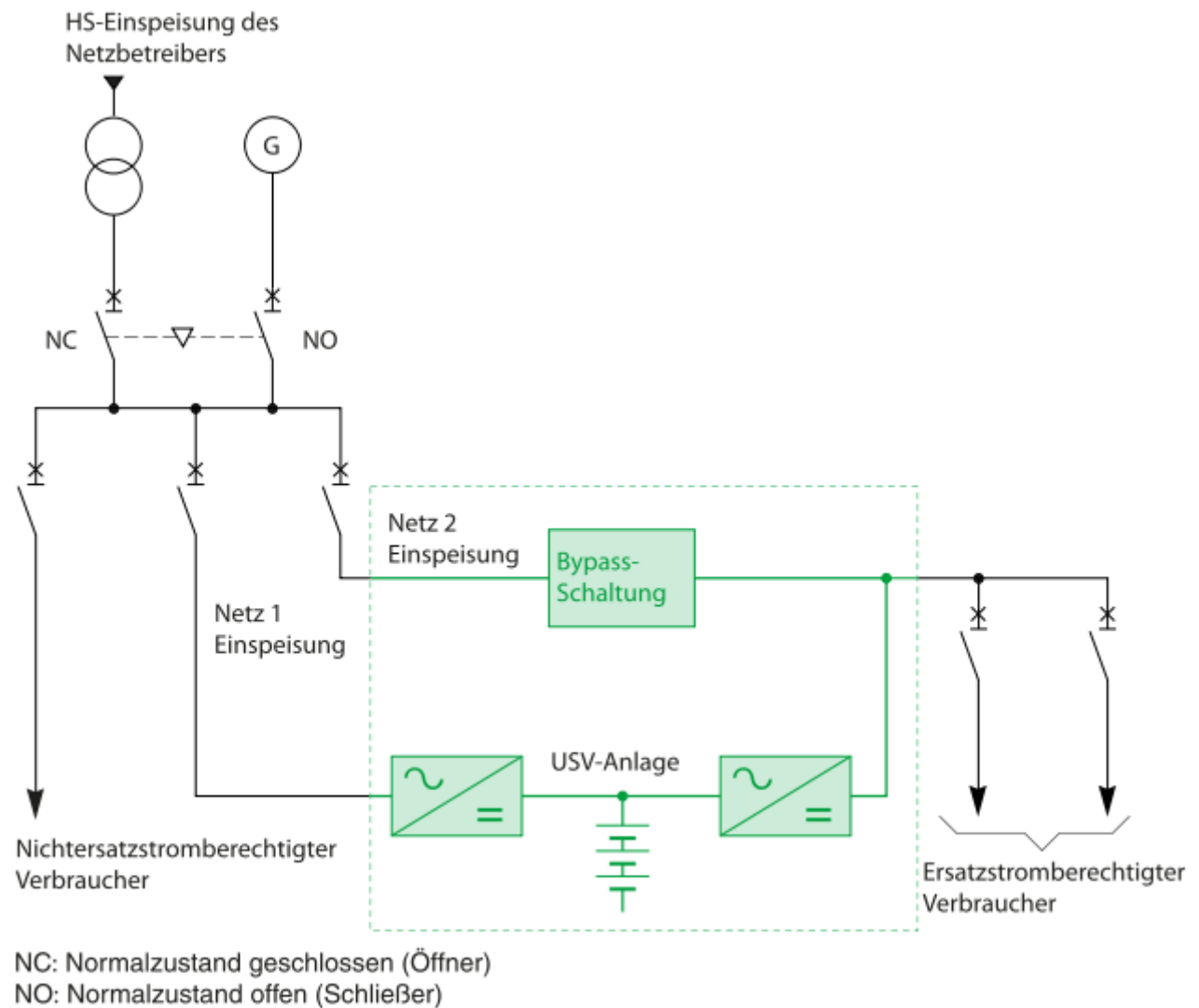


Abb. N8: Kombination Ersatzstromgenerator - USV-Anlage zur Erhöhung der Versorgungssicherheit

Die Kombination aus USV-Anlage und Ersatzstromgenerator ist die beste Lösung zur Gewährleistung einer qualitativ hohen Versorgungssicherheit mit einer langfristigen eigenständigen Versorgung ersatzstromberechtigter Verbraucher bei Fehlern in der Netzversorgung des Netzbetreibers.

Die USV ist aufgrund des Eingangsgleichrichters als ein nichtlinearer Verbraucher zu betrachten. Bei Netzumschaltung müssen auch bei USV-Betrieb das Einschalten und der Anschluss des Ersatzstromgenerators möglich sein.

Leistung der USV-Anlage

Die Einschaltleistung einer USV-Anlage muss Folgendes berücksichtigen:

- Nennleistung der nachgeschalteten Verbraucher:

Dies ist die Summe der von jeder Anwendung aufgenommenen Scheinleistungen S . Weiterhin müssen zur Vermeidung einer Überdimensionierung der Anlage die Überlastfestigkeiten auf USV-Ebene betrachtet werden (z.B.: $1,5 I_n$ für 1 Minute und $1,25 I_n$ für 10 Minuten)

- Die Leistung zum Wiederaufladen der Batterie:

Dieser Strom ist proportional zu der für eine gegebene Leistung erforderlichen Autonomiezeit der USV-Anlage. Der S_r -Wert einer USV wird bestimmt durch:

$$S_r = 1,17 \times S_n$$

Abbildung N9 legt die Einschaltströme und Schutzeinrichtungen zur Versorgung des Gleichrichters (Netz 1) und des Reservenetzes (Netz 2) fest.

Nennleistung S_n (kVA)	Stromwert (A)	
	Netz 1 mit 3Ph-Batterie 400 V - I_l	Netz 2 oder 3Ph-Anwendung 400 V - I_u
40	86	60,5
60	123	91
80	158	121
100	198	151
120	240	182
160	317	243
200	395	304
250	493	360
300	590	456
400	793	608
500	990	760
600	1180	912
800	1648	1215

Abb. N9: Einschaltstrom zur Versorgung des Gleichrichters und des Ersatznetzes

Kombination Ersatzstromgenerator/USV-Anlage

- Erneutes Einschalten des Gleichrichters bei Betrieb eines Ersatzstromgenerators:

Der Gleichrichter der USV-Anlage sollte mit einer Vorrichtung zum Sanftanlauf des Gleichrichters ausgerüstet werden, um die Kompatibilität mit dem Ersatzstromgenerator sicherzustellen (siehe **Abb. N10**).

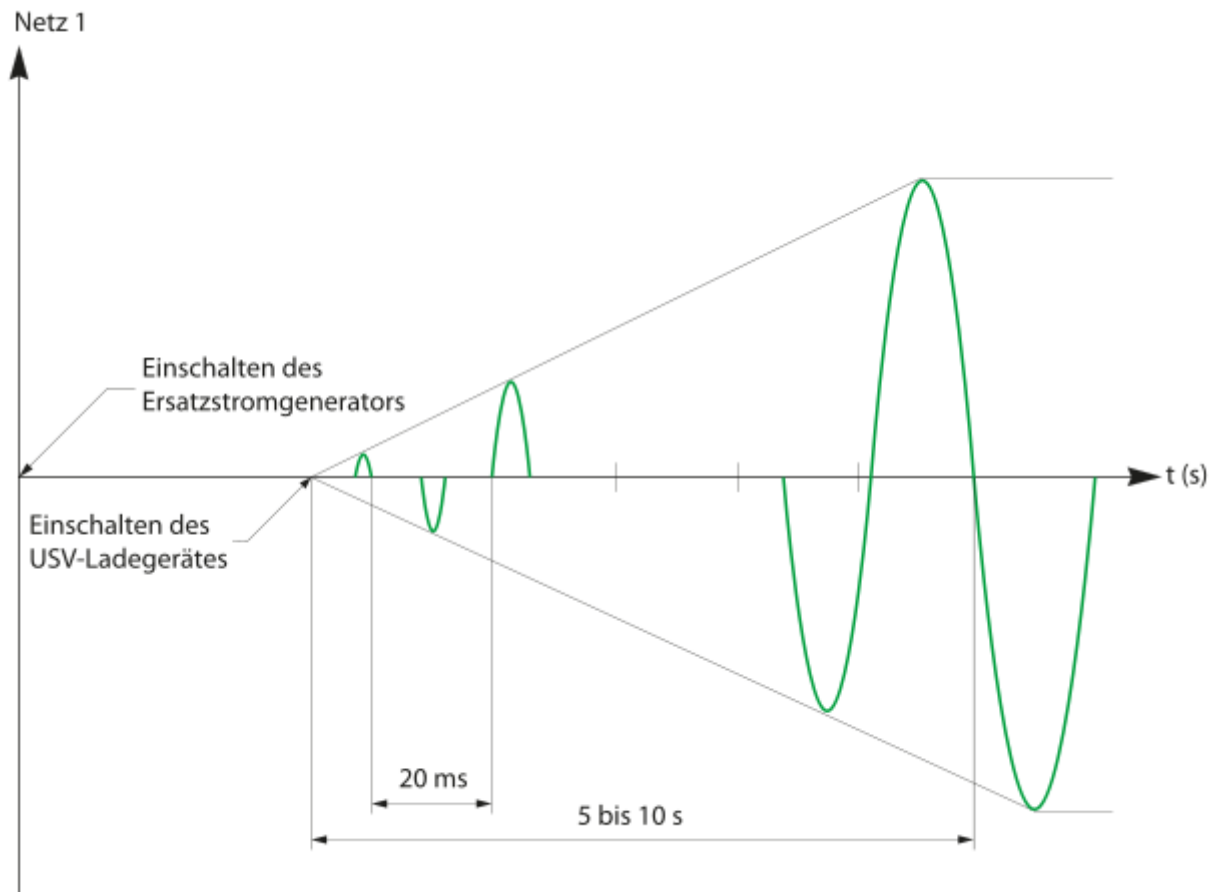


Abb. N10: Sanftanlauf eines USV-Gleichrichters Typ 2

- Oberschwingungen und Spannungsverzerrung

Die gesamte Spannungsverzerrung τ wird definiert durch:

$$\tau(\%) = \frac{\sqrt{\sum U_h^2}}{U_1}$$

wobei U_h die Oberschwingungsspannung der Ordnung h ist.

- Dieser Wert hängt ab von:
 - den vom Gleichrichter erzeugten Oberschwingungsströmen (proportional zur Leistung S_r des Gleichrichters),
 - der subtransienten Reaktanz X''_d des Generators,
 - der Leistung S_g des Generators.

$$U' R_{sc} (\%) = X_d'' \frac{S_r}{S_g}$$

Wir definieren $U' R_{sc}$ als die generatoreigene Kurzschlussleistung, bezogen auf die Gleichrichterleistung, d.h. $t = f(U' R_{sc})$.

Anmerkung 1: Da die subtransiente Reaktanz groß ist, ist die harmonische Verzerrung, verglichen mit dem Toleranzwert (7 bis 8 %), normalerweise für eine angemessene wirtschaftliche Dimensionierung des Generators zu hoch: Eine geeignete und kostengünstige Lösung ist die Anwendung eines entsprechenden Filters.

Anmerkung 2: Die harmonische Verzerrung wirkt nicht schädigend auf den Gleichrichter, kann jedoch schädigend auf die anderen Verbraucher wirken, die parallel zum Gleichrichter versorgt werden.

Anwendung

Zur Bestimmung der Verzerrung τ bezogen auf $U' R_{sc}$ wird ein Diagramm verwendet (siehe Abb. N11).

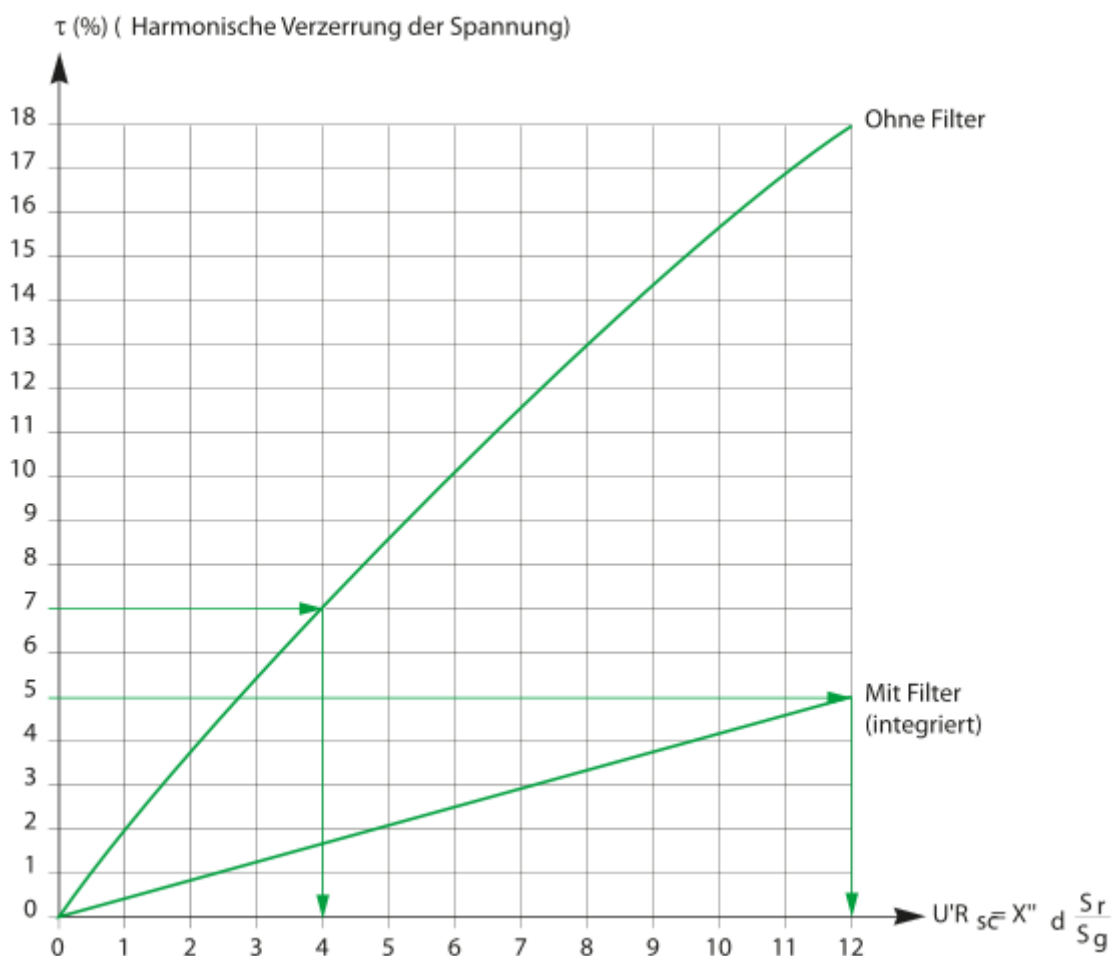


Abb. N11: Diagramm zur Berechnung der harmonischen Verzerrung 3. Ordnung

Das Diagramm gibt an:

- entweder τ als Funktion zu $U'R_{sc}$
- oder $U'R_{sc}$ als Funktion zu τ

Somit kann die Dimensionierung (S_g) des Generatorsatzes durchgeführt werden.

Beispiel: Generatordimensionierung

- 300 kVA-USV-Anlage ohne Filter, subtransiente Reaktanz von 15 %

Die Leistung S_r des Gleichrichters beträgt $S_r = 1,17 \times 300 \text{ kVA} = 351 \text{ kVA}$.

Für eine $\tau < 7 \%$ gibt das Diagramm an: $U'R_{sc} = 4 \%$, Leistung S_g beträgt:

$$S_g = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1320 \text{ kVA}$$

- 300 kVA-USV-Anlage ohne Filter, subtransiente Reaktanz von 15 %

Für eine $\tau = 5 \%$ gibt die Berechnung an: $U'R_{cc} = 12 \%$, Leistung S_g beträgt:

$$S_g = 351 \times \frac{15}{12} \approx 440 \text{ kVA}$$

Anmerkung: Mit einem vorgeschalteten 630 kVA-Transformator an der 300 kVA-SV-Anlage ohne Filter erhält man einen Wert von 5 %.

Folglich muss der Betrieb mit einem Ersatzstromgenerator kontinuierlich auf Oberschwingungsströme geprüft werden.

Ist die harmonische Verzerrung der Spannung zu groß, ist die Verwendung eines Filters im Netz die wirkungsvollste Lösung, um eine Verzerrung zu erhalten, die für empfindliche Verbraucher zulässig ist.

Parallelbetrieb zweier Ersatzstromgeneratoren

Ein Parallelbetrieb zweier Ersatzstromgeneratoren erfordert, unabhängig vom Anwendungstyp – Sicherheitsstromquelle, Ersatzstromquelle oder Produktionsstromquelle – ein genaueres Anschlussmanagement, d.h. zusätzliche Überwachungsfunktionen.

Parallelbetrieb

Da mehrere Generatoren parallel Energie für das gleiche Netz und die entsprechenden Verbraucher erzeugen, müssen sie genau synchronisiert werden (Spannung, Frequenz) und die Lastverteilung muss genau ausgeglichen werden. Diese Funktion wird vom Regler jedes Generators ausgeführt (thermische und Erregungsregelung). Die Parameter (Frequenz, Spannung) werden vor dem Anschluss überwacht: Sind die Werte dieser Parameter korrekt, kann der Anschluss vorgenommen werden.

Isolationsfehler

(siehe **Abb. N12**)

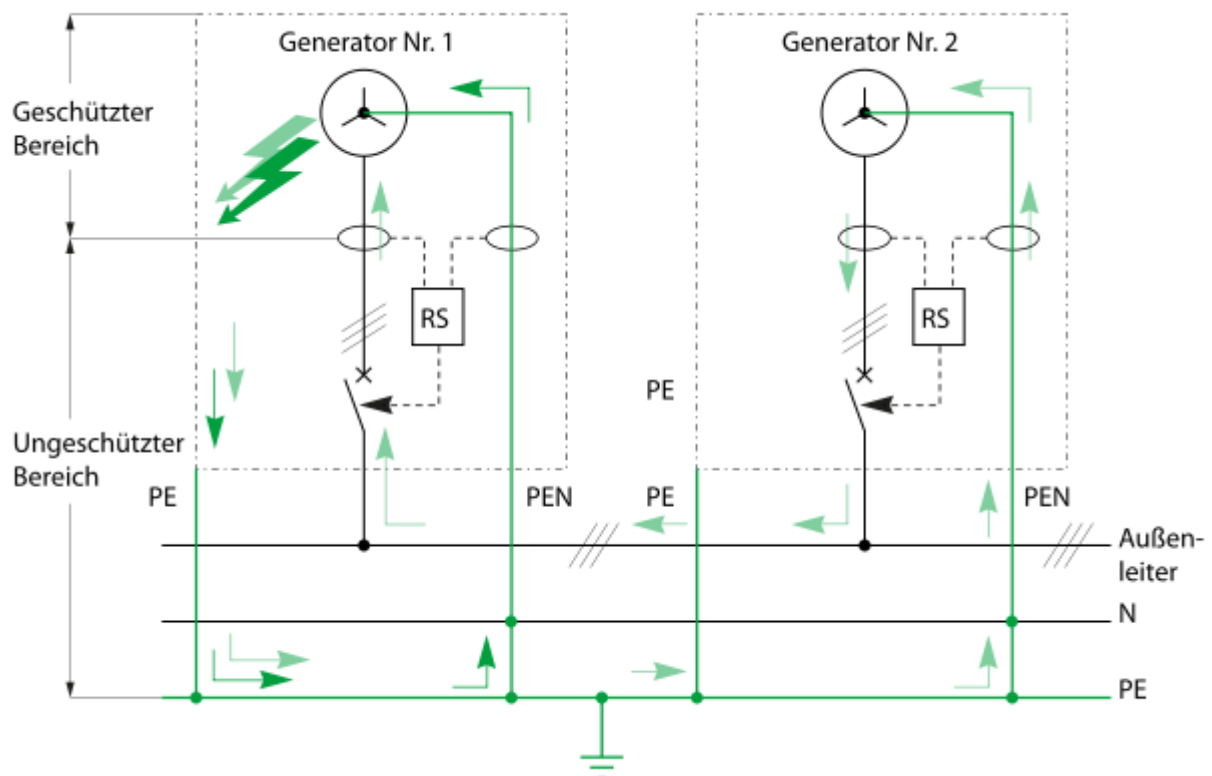


Abb. N12: Isolationsfehler des Generators

Ein Isolationsfehler innerhalb des Metallgehäuses eines Ersatzstromgenerators kann den Generator stark beschädigen, wenn es sich um einen Kurzschluss zwischen Außenleiter und Sternpunkt handelt. Der Fehler muss schnell erfasst und beseitigt werden, sonst speisen die anderen Generatoren Energie in die Fehlerstelle und es kommt zu einer Auslösung durch die

Schutzeinrichtungen: Die Versorgungskontinuität der Anlage ist dann nicht länger gewährleistet. Eine in den Generatorstromkreis integrierte Fehlerstromschutzeinrichtung:

- sorgt für ein schnelles Abschalten des fehlerhaften Generators und den Erhalt der Versorgungskontinuität,
- wirkt auf die Steuerungsstromkreise des fehlerhaften Generators, so dass diese den Generator abschalten und das Beschädigungsrisiko reduziert.

Diese Fehlerstromschutzeinrichtung (Typ „Residual Sensing“) muss so nah wie möglich zur Schutzeinrichtung eingebaut werden, gemäß einem TN-C/TN-S^[1]-System an jedem Generator mit einer Erdung über einen separaten PE-Leiter.

Diese Art des Schutzes wird im Allgemeinen als „eingeschränkter Fehlerstrom“ bezeichnet (IEC 60364-5-55 (VDE 0100-551) ist zu beachten).

Betrieb des Generators als Verbraucher

(siehe **Abb. N13** und **Abb. N14**)

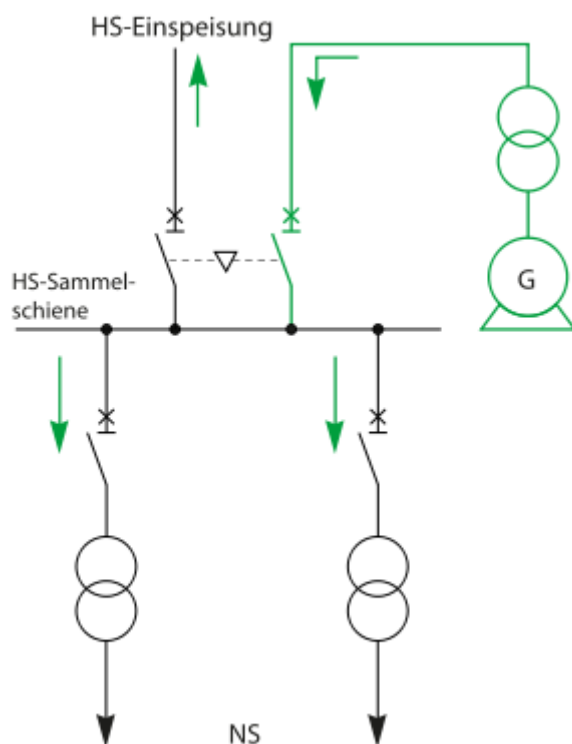


Abb. N13: Energieübertragungsrichtung – als Generator

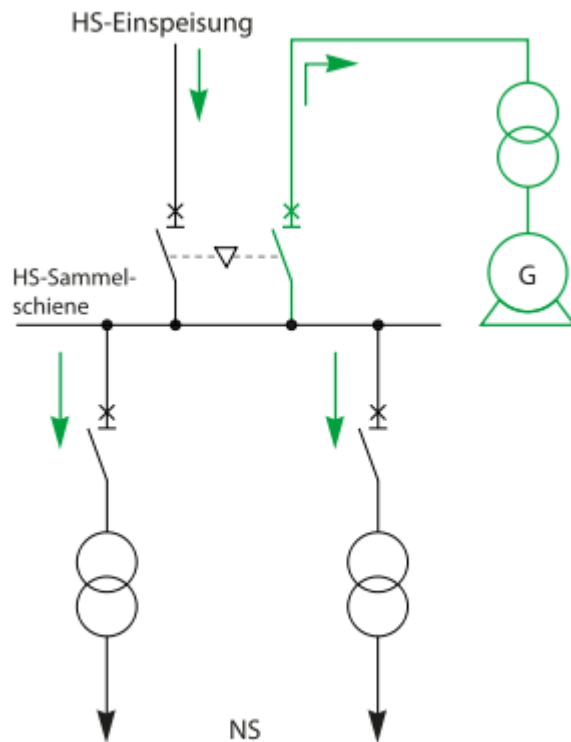


Abb. N14: Energieübertragungsrichtung – als Verbraucher

Einer der parallelgeschalteten Generatoren wirkt nicht länger wie ein Generator, sondern wie ein Motor (z.B. durch Erregungsverlust). Dadurch kann es zu einer Überlast der anderen Generatoren kommen und somit zum Ausfall der elektrischen Anlage führen.

Um zu prüfen, dass der Generator die Anlage tatsächlich mit Leistung versorgt, (Betrieb als Generator), muss die richtige Energieübertragungsrichtung an den Verbindungssammelschienen mit Hilfe einer speziellen „Rückleistungserkennung“ geprüft werden. Bei Auftreten eines Fehlers, d.h. bei Betrieb des Generators als Motor, trennt diese Funktion den fehlerhaften Generator und schaltet ihn aus.

Erdung parallelgeschalteter Generatoren

Die Erdung parallelgeschalteter Generatoren kann durch den Anschluss von den Sternpunkten für eine gemeinsame Erdung (Erdung des TN- oder TT-Systems) zum Fließen von Erdfehlerströmen führen (Oberschwingungen dritter Ordnung). Um folglich das Fließen dieser Ströme zwischen den Generatoren zu vermeiden, wird der Einbau eines Entkopplungswiderstands in den Erdungsstromkreis empfohlen.

Anmerkung

1. TN-C-System für Anwendung als „Generator“ und TN-S System für Anwendung als „Verbraucher“

[Quelle: Planungskompodium Energieverteilung Wiki, Stand Januar 2016]