Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 2

Artikel: Leistungsthyristoren und ihre Netzrückwirkungen : Möglichkeiten zur Berechnung der zulässigen Anschnittsteuerleistungen

Autor: Oester, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905211

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

genügend genaue Messung und belastet auch Hochspannungswandler nur unwesentlich.

Als Messgeräte kommen für Routinemessungen nur Mehrkanal-Registriergeräte mit 3...4 Kanälen in Frage, da Messungen immer über mindestens eine Woche durchgeführt werden sollten. Im Normalfall genügt es, wenn mit einem Papiervorschub von 20 mm pro Stunde gearbeitet wird. Da sowohl Spannungs- wie Strompegel sehr starke und zum Teil kurzzeitige Änderungen erfahren, müssen für die Aufzeichnungen Linienschreiber verwendet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Geräte eine nicht allzu grosse Einschwingzeit haben, da sonst kurze Pegelspitzen, die sich beim Abnehmer bereits störend auswirken können, nicht erfasst werden.

In Spezialfällen und bei Betriebsabnahmen von grösseren Anlagen ist es oft nötig, das gesamte Spannungs- und Stromspektrum, im Normalfall 0...2000 Hz, zu messen. Solche Messungen erfordern naturgemäss einen wesentlich grösseren Aufwand an Geräten und Hilfsmitteln, da in den meisten Fällen schnell wechselnde Vorgänge festgehalten werden müssen. Solche Abnahmen, wo in der Regel die Überprüfung der maximal zulässigen Pegelerhöhungen verlangt wird, werden immer am Verknüpfungspunkt des entsprechenden Abnehmers mit dem allgemeinen Verteilnetz durchgeführt.

3. Massnahmen

Für die Abnehmer, welche oberschwingungserzeugende Apparate und Anlagen betreiben, gelten die «Bedingungen für die Lieferung elektrischer Energie» des stromliefernden Werkes. Die meisten Elektrizitätswerke verweigern den Anschluss von Apparaten und Anlagen, deren Rückwirkungen auf das Verteilnetz eine festgesetzte Grenze übersteigen. Werden entsprechende Massnahmen zur Reduktion der Störungen getroffen, so wird der Anschluss natürlich bewilligt. Bei Störern, die ohne das Wissen der Werke eingesetzt werden, ist die Entstörung oder Ausserbetriebnahme auch nachträglich verpflichtend.

Für sämtliche Anlagen gelten bei den meisten Werken die Empfehlungen des VSE vom Juni 1973.

Aufgrund dieser Erfahrungen können in der Regel auch grössere Anlagen mit wirtschaftlich verantwortbarem Aufwand entsprechend diesen Richtlinien eingesetzt und betrieben werden. Bei diesen Anlagen können die meistens auch für die Blindleistungskompensation notwendigen Kondensatoren in die Saugfilterkreise einbezogen werden.

Adresse des Autors

H. Kümmerly, Chef, Büro Zähler und Netzkommandoanlagen, Bernische Kraftwerke AG, 2560 Nidau.

Leistungsthyristoren und ihre Netzrückwirkungen

Möglichkeiten zur Berechnung der zulässigen Anschnittsteuerleistungen

Von Chr. Oester

1. Allgemeines

Vor wenigen Jahren sind die Kurven zur graphischen Bestimmung der zulässigen Anschnittsteuerleistungen im NS-Netz berechnet worden [1]. Heute liegt eine solche Fülle von «Know-how» vor, dass der ganze Fragenkomplex zur Berechnung zulässiger Anschnittsteuerleistungen von Grund auf neu überdacht werden muss. Die nachstehenden Ausführungen versuchen diesem Thema in knapper Form Rechnung zu tragen[1]).

Ausgehend von den Zielen, Elementen, Variablen und Strukturen wird nach Berechnungskonsequenzen gesucht; diese gehen am Schluss in ein Stufenberechnungsverfahren ein. Platzgründe lassen keine Umschreibungen zu; es wird zu jedem Abschnitt nur das absolut Wesentliche in abgekürzter Form dargestellt.

2. Berechnungsziele

Als Berechnungsziele zur Erarbeitung rechnerischer Entscheidungsgrundlagen können genannt werden:

2.1 Allgemeine

- Stufenberechnungsverfahren (Überschlags-, Näherungs- und eingehende Rechnung)
- Interessenwahrung der Störer und Gestörten bezüglich OS-Beeinflussung

2.2 Quasi-rechtliche

- Absolute Zuteilungsgerechtigkeit der max. OS-Pegel, d.h. gleiches Recht für alle
- Relative Zuteilungsgerechtigkeit, d.h. Prioritätsprinzip

2.3 Materielle

- Störpegelfestsetzung durch die Werke (VSE-Regeln)
- Keine Störung der Beeinflussten und Beeinflussenden (Anwendung der «Goldberg»-Kurven)
- Messungen sollen weitere Berechnungsunterlagen bringen

2.4 Methodische

- Symmetrische und einphasige Betrachtung
- 3-Stufen-Berechnungssystem

2.5 Berechnungskonsequenz

bezüglich Festlegung von max. OS-Pegeln

- Grundsätzlich gleiche Pegelzuteilung pro Abnehmer
- Sonderlösungen im Interesse der Tragfähigkeit und Optimalisierung sollen offenbleiben

[1]) Im Text verwendete Abkürzungen:

OS = Oberschwingungen
PAS = Phasenanschnittsteuerung
NS, MS, HS = Nieder-, Mittel-, Hochspannungsebene
ν = Ordnungszahl

3. Feste und variable Berechnungselemente

Diese werden wie folgt festgelegt:

$$\Delta U_\nu = I_\nu \cdot Z_\nu$$

ΔU_ν: Fest vorgegebene Grössen (z.B. durch VSE)	$I_\nu \cdot Z_\nu$: Variable Grössen (Gegenstand der Berechnungen)

4. Oberwellenströme (wichtigste Variable)

Es wird unterschieden zwischen OS-Gesamtströmen (Klirrfaktor) und OS-Einzelströmen.

4.1 Einzelströme einphasiger Schaltungen

Deterministische Bestimmung
(die Bestimmungselemente liegen eindeutig vor)

- Fourierzerlegung bei extremen Anschnittwinkeln
- Näherung bei idealer Glättung
- Verschiedene Lastschaltungen z.B. ohmsche, Glühlampen-, Motorenlast u.a.m.

Stochastische Bestimmung
(z.B. Simulation mit Würfelmethode)

- Bei Gleichverteilung der Anschnittwinkel
- Bei Gleichverteilung der PAS-Lasten

Die stochastisch bestimmten Ströme sind tiefer als die deterministisch bestimmten Werte (OS-Ströme bei Gerätekollektiven am tiefsten)

Messung [2]

- Die Messungen sollen weitere Berechnungsunterlagen bringen

4.2 Oberwellenströme dreiphasiger Schaltungen

Elemente der Oberwellenströme dreiphasiger Schaltungen sind:
Ventile, Reaktanzen, Pulsigkeit, Kommutierung, Aussteuerung, Glättung, Spannungseinbrüche.

Deterministische Bestimmung

- Ideale Glättung mit Rechteckform, OS-Strom sinkt proportional zu ν
- Durch Induktivitäten trapezförmig abgeflacht $I_\nu < In/\nu$
- Bei pulsierendem Gleichstrom mit Lückgrenzen $I_\nu > In/\nu$

Die stochastische Bestimmung bleibt zurzeit offen.

Gesamtströme:

Nach der Klirrfaktorbeziehung ist das gesamte OS-Strom-Spektrum gleich der quadratischen Summe der Einzelströme.

4.3 Berechnungskonsequenz

Für Überschlagsrechnungen genügen OS-Ströme bei idealer Glättung und extremem Anschnittwinkel. Bei den höheren Rechnungsstufen sind deterministisch und stochastisch bestimmte Ströme relevant.

5. Impedanzen

5.1 Variationen und Konsequenzen:

Die Grundwellenimpedanz ist nur indirekt von Interesse; das Schwergewicht wird auf die OS-Impedanz gelegt.

Netzelemente sind:

- Transformatoren, Kondensatoren, Motoren u.a.m.

Netzbetrieb. Wichtig sind:

- Spannungsregulierung, Lastzustand, Phasenwinkel

Netzstrukturen

– Leitung allgemein	Einbezug der Längs- und Querglieder
– Leitungssysteme	Strahlennetz, Ringnetz, Maschennetz
– Leitungstopologie	örtliche Verbraucher-Verknüpfung

Impedanz-Variationen

– Symm. Komponenten	Mit-, Gegen- und Nullimpedanz
– Leerlaufimpedanz	Wahl bei Näherungsrechnung
– Lastimpedanz	Einbezug bei Detailrechnung
– Kurzschlussimpedanz	Wahl bei Näherungsrechnung
– Referenzimpedanz	Wahl bei der VSE-Leistungsstufentabelle

5.2 OS-Impedanz-Reduktionen bei einer Gerätevielzahl [3]

Beim Anschluss einer Vielzahl von PAS-Geräten reduzieren sich die OS-Pegel wie folgt:

Anschnittwinkelverteilung eines Gerätekollektivs = *Gleichphasigkeitsfaktor*	– Bei zunehmender PAS-Gerätezahl mit genügend grosser Verteilung des Winkelbereichs kann mit einer starken Verminderung der OS-Spannungen gerechnet werden
Art, wie die Verbraucherknoten sich im Netz verknüpfen (Netztopologi	*Kabel:* Die OS-Spannungen steigen mit der Anzahl Verbraucherknoten nur unterproportional (Abonnentenmomente)
Einfluss der Lastimpedanz	– Die Verbraucher wirken dämpfend auf die OS-Spannungen
Leistungsanteil der PAS-Last an der Gesamtnetzlast = Sättigungsfaktor	– Bei steigendem PAS-Anteil an der Gesamtlast steigt die OS-Spannung nur unterproportional an
Einfluss der Schaltung	– Schaltung an P–0 grosse OS-Spannung Schaltung an P–P mittlere OS-Spannung Symm. Dreieck kleine OS-Spannung
Nennleistungsfaktor	– Sinkender Nennleistungsfaktor ergibt sinkende OS-Spannungen
Gleichzeitigkeitsfaktor	– Der Faktor $g = \frac{\text{Leistung der im Netz gleichzeitig betriebenen PAS-Geräte}}{\text{Anschlusswert der PAS-Geräte}}$ nimmt vom Speisepunkt her über die verschiedenen Spannungsebenen betrachtet immer mehr ab
Berechnungskonsequenz	– Die vorhandenen Reduktionsfaktoren sind aggregiert in der Berechnung zu berücksichtigen

5.3 Impedanz-Störeinflüsse

Störend wirken Resonanzen und Spannungseinbrüche. Das Resonanzmass ist durch die Netzgüte bestimmt. Die OS-Spannungen können in Resonanzfällen im Bereich von 1...20 schwanken.

Berechnungskonsequenzen:

Bei der Näherungsrechnung ist im allgemeinen keine Netzgüte einzubeziehen. Bei der Detailrechnung muss die Netzgüte abgeschätzt, gegebenenfalls mit der Relation $Z_\nu/\nu \cdot X_k$ berechnet werden [4].

6. Zulässige OS-Spannungen

Die fest vorgegebenen Grössen sind:

- Einzelgrössen: Zurzeit die SEV-EN 50006-Werte im Sinne einer zulässigen Spannungserhöhung pro Objekt
- Gesamtgrössen: Höchstzulässige OS-Pegel, die man im Netz zubilligen möchte. Dieser Pegelentwurf steht zurzeit in der Vernehmlassung

7. Massnahmen-Vorschläge

Die Berechnungsstufen können nach folgenden Kriterien gegliedert werden:

- Nach Gerätegrösse und Gerätetyp (Festlegen von Stufen-Leistungslimiten)
- Nach Grob-, Mittel- und Feinsortierung, je nach zu erwartenden Störgrössen und vorhandenen Netzverhältnissen
- Nach fortschreitender Einflussfaktoren-Berücksichtigung
- Nach fortschreitendem Rechnungsschwierigkeitsgrad

Die Berechnungskonsequenzen der Netzelemente, Variablen und Strukturen werden nach den vorstehend erwähnten Kriterien in drei Berechnungsstufen aufgeteilt:

	Stufe 1 kleinere Geräte
Rechenverfahren	Überschlagsrechnung
Vorgegebene Werte	– Zulässige Einzel-OS-Spannung – Zulässige PAS-Leistung in % der Netzkurzschlussleistung
Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Impedanzreduktionen	– «Worst case» (keine Berücksichtigung von Reduktionen)
Ströme	– Bei idealer Glättung und extremem Anschnittwinkel
Last	– Schwachlast bei hohem Nenn-cos φ
Impedanzen	– Leerlaufimpedanz – Kurzschlussimpedanz
Störgrössen	– Keine Berücksichtigung
Störkorrektur	– Keine Filter

	Stufe 2 grössere Geräte mit genügender OS-Reserve
Rechenverfahren	Näherungsrechnung
Vorgegebene Werte	– Zulässige Einzel-OS-Spannung – Zulässige PAS-Leistung in % der Netzkurzschlussleistung
Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Impedanzreduktionen	– Aggregierte Einzel-Auftretenswahrscheinlichkeit – Eindeutig bekannte Reduktionen
Ströme	– Deterministische OS-Ströme – Stochastische OS-Ströme
Last	– Schwachlast bei hohem Nenn-cos φ
Impedanzen	– Leerlaufimpedanz – Kurzschlussimpedanz – Lastimpedanz
Störgrössen	– Globale Netzgüteprüfung
Störkorrektur	– Gegebenenfalls Filter

	Stufe 3 grosse Geräte mit und ohne genügende OS-Reserve
Rechenverfahren	Eingehende Rechnung
Vorgegebene Werte	– Zulässige Einzel-OS-Spannung – Zulässige Gesamt-OS-Spannung – Vorhandene OS-Spannungen – Zulässige PAS-Leistung in % der Netzkurzschlussleistung – Zulässige PAS-Leistung in % der Gesamtlastspitze
Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Impedanzreduktionen	– Aggregierte Einzel-Auftretenswahrscheinlichkeit – Alle zulässigen Reduktionen
Ströme	– Deterministische OS-Ströme
Last	– Schwachlast bei eff. cos φ – Vollast bei eff. cos φ
Impedanzen	– Leerlaufimpedanz – Kurzschlussimpedanz – Lastimpedanz – Kapazitanz
Störgrössen	– Eingehende Netzgüteprüfung
Störkorrektur	– Gegebenenfalls Filter

Literatur

[1] *Oester, Ch.:* Berechnung der zulässigen Anschlussleitung von Phasenanschnittsteuerungen in Verteilnetzen. Bull. SEV/VSE 67(1976)5.

[2] *Kümmerly, H.:* Aktuelle Probleme der niederfrequenten Beeinflussungen in elektrischen Netzen. SEV-Berichtsband Oktober 1978. Aufsatz: Methoden der Messung von niederfrequenten Oberwellen.

[3] *Glatzel, F. J.:* Experimentelle Untersuchung von Netzrückwirkungen des Einsatzes der symmetrischen Phasenanschnittsteuerung bei Elektrowärmeverbrauchsmitteln im Haushalt. Djssertation Technische Hochschule Aachen, Januar 1975.

[4] VDEW: Grundsätze für die Beurteilung von Netzrückwirkungen. VWEW-Verlag Frankfurt, 1976.

Adresse des Autors

Ch. Oester, Ingenieur HTL, lic. rer. pol., Elektrizitätswerk der Stadt Bern, 3000 Bern.