

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	52 (1961)
Heft:	11
Rubrik:	Leitsätze für die Anwendung von Tonfrequenzsperren für Kondensatoren in Verteilnetzen mit Netzkommandoanlagen : Leitsätze für Kondensatorsperren

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: 16.01.2026

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

Leitsätze für die Anwendung von Tonfrequenzsperren für Kondensatoren in Verteilnetzen mit Netzkommandoanlagen

(Leitsätze für Kondensatorsperren)

Am 15. November 1952 setzte der Vorstand das Kapitel F (Netzkommandoanlagen mit Tonfrequenzsteuerung) der Publ. Nr. 185 (Leitsätze für die Anwendung von grossen Wechselstromkondensatoren für die Verbesserung des Leistungsfaktors von Niederspannungsanlagen) in Kraft (siehe Publ. 185/1). Seitdem sind im In- und Ausland zahlreiche Netzkommandoanlagen in Betrieb gekommen und es konnten auch mit der Sperrung von Phasenschieber-Kondensatoren und mit der Anwendung der Publ. 185/1 weitere Erfahrungen gesammelt werden.

Das Fachkollegium 33 (Kondensatoren)¹⁾ des CES hat nun mit Hilfe seiner Unterkommission für die Verdrosselung von Kondensatoren die Publ. 185/1 gänzlich neu bearbeitet. Nachdem der neue Text vom CES genehmigt wurde, unterbreitet der Vorstand diesen als selbständige Publikation unter dem Titel «Leitsätze für die Anwendung von Tonfrequenzsperren für Kondensatoren in Verteilnetzen mit Netzkommandoanlagen» den Mitgliedern des SEV zwecks Stellungnahme. Er lädt die Mitglieder des SEV ein, allfällige Bemerkungen dem Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, schriftlich im Doppel bis spätestens 24. Juni 1961 mitzuteilen.

Sollten keine Bemerkungen eingehen, so würde der Vorstand annehmen, die Mitglieder des SEV seien mit den Leitsätzen einverstanden. Er würde in diesem Falle von der ihm an der 76. Generalversammlung 1960 in Locarno erteilten Vollmacht Gebrauch machen und die Leitsätze in Kraft setzen.

¹⁾ Das FK 33 (Kondensatoren), welches den vorliegenden Entwurf der Leitsätze für die Anwendung von Tonfrequenzsperren für Kondensatoren in Verteilnetzen mit Netzkommandoanlagen ausarbeitete, ist folgendermassen zusammengesetzt:

G. von Boletzky, Prokurist, Emil Haefely & Cie. AG, Postfach Basel 2,
O. Büchler, Ingenieur, Starkstrominspektorat, Seefeldstrasse 301, Zürich 8,
M. Egli, Elektrotechniker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8,
H. Elsner, Direktor, Condensateurs Fribourg S. A., Fribourg (Protokollführer),
E. Ganz, Elektrotechniker, AG Brown, Boveri & Cie., Materialprüfung Phl, Baden (AG),
Ch. Jean-Richard, Ingenieur, Bernische Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, Bern (Präsident),
G. Naef, Ingenieur, Standard Telephon & Radio AG, Seestrasse 395, Postfach Zürich 38,
J. Piguet, Dr. ès sc. chim., directeur technique, Leclanché S. A., Yverdon (VD),
R. Pilicier, Chef d'exploitation, S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, 12, Place de la Gare, Lausanne,
P. Troller, Ingenieur, Elektrizitätswerk Basel, Margarethenstrasse 40, Basel,
E. Trümpy, Dr. sc. techn., Direktor, Aare-Tessin AG für Elektrizität, Olten (SO),
K. Vollenweider, Elektrotechniker, Xamax AG, Birchstrasse 210, Zürich 11/50,
E. Wettstein, Dr. sc. nat., Micalif AG, Postfach Zürich 48,
J. Wild, Oberbetriebsleiter, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Dreikönigstrasse 18, Postfach Zürich 22,
H. Marti, Sekretär des CES, Seefeldstrasse 301, Zürich 8 (ex officio).
Bearbeitender Ingenieur ist E. Schiessl, Ingenieur, Sekretariat des SEV, Zürich 8.

Die Unterkommission für die Verdrosselung von Kondensatoren besteht ausser dem Präsidenten, dem Protokollführer, P. Troller, J. Wild und dem bearbeitenden Ingenieur aus:

J.-R. Charpié, Directeur, Cie des Compteurs S. A., Case postale Stand 370, Genève,
H. Fenner, Ingenieur, Zellweger AG, Apparate- und Maschinenfabriken, Uster (ZH),
G. Isay, Ingenieur, Fr. Sauter AG, Im Surinam 55, Basel,
H. Schmid, Dr. sc. techn., Landis & Gyr AG, Zug.

Entwurf

Leitsätze für die Anwendung von Tonfrequenzsperren für Kondensatoren in Verteilnetzen mit Netzkommandoanlagen

(Leitsätze für Kondensatorsperren)

1

Geltungsbereich

Diese Leitsätze gelten für Tonfrequenzsperren (im folgenden Sperren genannt) von Kondensatoren in Niederspannungsanlagen, vor allem von Kondensatoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors.

Sie gelten nicht für:

- Kondensatoren in Beleuchtungsanlagen mit Entladungslampen (dafür gelten die Leitsätze für Leistungsfaktor und Tonfrequenzimpedanz bei Entladungslampen, Publ. Nr. 0199 des SEV),
- für Sperren von ganzen Installationen oder Teilen davon.

Bemerkung: Im Fall b) sollen das zuständige Elektrizitätswerk und die Lieferfirma der Netzkommandoanlage konsultiert werden.

2

Begriffsbestimmungen

Sperren von Kondensatoren (*Kondensatorsperren*) sind elektrische Stromkreiselemente, die eine Erhöhung der Tonfrequenzimpedanz am Eingang von Kondensatoren bewirken.

Tonfrequenzimpedanz eines Kondensators Z_C ist der Scheinwiderstand eines Kondensators bei sinusförmiger Tonfrequenzspannung.

Tonfrequenzimpedanz einer gesperrten Anordnung Z_f ist der Scheinwiderstand des Kondensators einschliesslich der Sperre bei sinusförmiger Tonfrequenzspannung.

Sperrdrosselspule (s. Fig. 1) ist eine Sperre, die aus einer Drosselspule L besteht.

Sperrimpedanz einer Sperrdrosselspule Z_L ist der Scheinwiderstand (Tonfrequenzimpedanz) der Drosselspule L bei sinusförmiger Tonfrequenzspannung.

Sperrkreis (s. Fig. 2) ist eine Sperre, die aus einer Drosselspule L und einem dazu parallel geschalteten Kondensator C_p (bzw. C_{p1}) besteht. Der zur Drosselspule parallel geschaltete Kondensator wird als **Sperrkreiskondensator** bezeichnet.

Sperrimpedanz eines Sperrkreises Z_p ist der Scheinwiderstand (Tonfrequenzimpedanz) des Sperrkreises bei seiner Parallelresonanzfrequenz f_p und sinusförmiger Tonfrequenzspannung. Im Falle genauer Abstimmung stellt die Sperrimpedanz einen rein Ohmschen **Sperrwiderstand** dar.

Parallelresonanzfrequenz f_p eines Sperrkreises ist die Frequenz, bei der die Impedanz des Sperrkreises am grössten ist.

Serieresonanzfrequenz f_s eines gesperrten Kondensators ist die Frequenz, bei der die Tonfrequenzimpedanz der gesperrten Anordnung Z_f am kleinsten ist.

Gütefaktor Q eines Sperrkreises ist das Mass für die Resonanzwirkung des Sperrkreises. Er ist das Verhältnis der Sperrimpedanz eines Sperrkreises Z_p zur Reaktanz X eines seiner beiden Elemente (Drosselspulenreaktanz X_L oder Sperrkreiskondensatorreaktanz X_{Cp}) bei der Parallelresonanzfrequenz f_p und bei sinusförmiger Spannung.

Impedanzfaktor nz (s. Fig. 1 und 2) einer Sperre (Sperrfaktor) ist das Mass für die Sperrwirkung bei einer beliebigen Frequenz f . Er ist das Verhältnis der Impedanz der gesperrten Anordnung Z_f bei sinusförmiger Spannung beliebiger Frequenz f zur Impedanz des Kondensators Z_{C1} bei sinusförmiger Spannung der Netzfrequenz f_1 .

Sperrenkennwert p einer Sperre (s. Fig. 1 und 2) ist das Verhältnis der Reaktanz X_{L1} der für die Sperre benötigten Drosselspule L zur Reaktanz X_{C1} des zu sperrenden Kondensators C bei sinusförmiger Spannung der Netzfrequenz f_1 .

Nennstrom I_n einer Sperre ist der Nennstrom des zu sperrenden Kondensators.

Nennspannung U_n einer Sperre ist die Nennspannung des zu sperrenden Kondensators.

Als *Betriebsbedingung*, auf welche die Prüfung von Sperren festzulegen ist, gilt die gleichzeitige Belastung der Sperren

- mit dem Kondensornennstrom I_n ,
- mit der Summe aller Oberwellenströme,
- mit einem durch die Steuerspannung U_t von 5 % der Netzspannung bedingten Tonfrequenzstrom I_t .

Als *Linearität der Magnetisierungskurve* (Induktion in Funktion der Feldstärke) wird deren Eigenschaft, innerhalb eines begrenzten Feldstärkebereiches angenähert gradlinig zu verlaufen, bezeichnet.

Steuerfrequenz f_t (im Tonfrequenzbereich) ist die für die Steuerung der Netzkommandoempfänger festgelegte Frequenz einer Netzkommandoanlage.

Steuerspannung U_t ist der in einem Verteilnetz mit Netzkommandoanlage an einem bestimmten Ort gemessene (auf die Netzspannung U_N bezogene) Wert der tonfrequenten Spannung.

Ansprechspannung eines Netzkommandoempfängers ist die Tonfrequenzspannung, die das sichere Ansprechen eines Netzkommandoempfängers bewirkt.

Minimalspannung (minimale Steuerspannung) ist die Tonfrequenzspannung, die zur Steuerung der Netzkommandoempfänger benötigt wird. Sie ist um einen vom Hersteller der Netzkommandoanlage bestimmten, eine angemessene Reserve berücksichtigenden Betrag grösser als die Ansprechspannung.

3 Allgemeines

Bei Netzkommandoanlagen (vielfach auch Zentralsteuerungsanlagen oder Tonfrequenz-Rundsteueranlagen genannt) werden von einer Sendestelle aus Tonfrequenzimpulse in das Verteilnetz eingespeist, die auf die im Netz angeschlossenen Empfänger einwirken und dadurch die Ausführung bestimmter Schaltungen einleiten. Damit diese Empfänger zuverlässig arbeiten, müssen die Tonfrequenzimpulse zu jeder Zeit und an jeder Stelle des Netzes eine bestimmte Minimalspannung (minimale Steuerspannung) aufweisen, die unter Berücksichtigung einer angemessenen Reserve nicht tiefer sein darf als die Ansprechspannung der Empfänger. Anderseits dürfen die Sendeanlagen nicht durch Resonanzercheinungen überlastet werden.

Nichtgesperrte Kondensatoren in Verteilnetzen können sich für den Betrieb von Netzkommandoanlagen auf zwei verschiedene Arten nachteilig auswirken, nämlich entweder durch Senken der Steuerspannung unter die Ansprechspannung oder durch Erhöhung der Steuerspannung.

Im ersten Fall ist ein Kondensator in einem Niederspannungsnetz so gross, dass bei der im betreffenden Netz verwendeten Steuerfrequenz seine Impedanz wesentlich kleiner ist als die Impedanz der Leitungen und Transformatoren zwischen der Tonfrequenz-Sendestelle und dem Kondensator. Die Steuerspannung kann dann in der Umgebung des Kondensators so tief sinken, dass dort eine einwandfreie Betätigung der Empfänger nicht mehr möglich ist.

Im zweiten Fall ist die Kondensatorimpedanz bei der Steuerfrequenz genau oder annähernd gleich gross wie die zwischen Sendestelle und Kondensator liegende Leitungs- und Transformatorenimpedanz. Dieser Zustand ergibt eine Resonanzerscheinung, die in der Umgebung des Kondensators eine Überhöhung der Steuerspannung zur Folge hat. Gleichzeitig können unerwünschte Verluste von Tonfrequenzenergie auftreten.

In beiden Fällen kann es notwendig sein, die Impedanz der Kondensatoren mittels Sperren zu erhöhen. Die Notwendigkeit und der Umfang der Sperrung ist vom zuständigen Elektrizitätswerk in Zusammenarbeit mit der Lieferfirma der Netzkommandoanlage abzuklären.

Die Erhöhung der Impedanz am Kondensator kann erreicht werden durch:

- Vorschaltung einer Sperrdrosselspule L vor den Kondensator C (Fig. 1).

Erläuterung: Sperrdrosselspulen haben eine mit der Frequenz proportional ansteigende Impedanz und sind deshalb für einen grossen Frequenzbereich wirksam. Um eine ausreichende Sperrwirkung zu erzielen, benötigen Sperrdrosselspulen eine verhältnismässig grosse Induktivität. Dadurch werden sie bei grösseren Kondensatoren unwirtschaftlich. Sperrdrosselspulen sollten deshalb nur für Kondensatoren mit Leistung bis etwa 3 kVar dreiphasig bzw. 1 kVar einphasig verwendet werden.

Die Serieschaltung einer Sperrdrosselspule L mit einem Kondensator C stellt einen schwingungsfähigen elektrischen Kreis dar, der eine durch die Sperrdrosselspuleninduktivität L und die Kondensatorkapazität C bestimmte Serie-Resonanzfrequenz f_s aufweist. Diese Resonanzfrequenz darf nicht mit einer starken Netzoberwelle (z. B. 5. oder 7. Harmonische, d. h. 250 oder 350 Hz bei einer Netzfrequenz von $f_1 = 50$ Hz) zusammenfallen.

Sperrdrosselspulen und zu sperrender Kondensator sollten wegen der erforderlichen genauen Zuordnung von der Lieferfirma nur als zusammengeschaltete Einheit geliefert werden.

Es ist weiter zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Serie-Resonanzfrequenz durch die Induktivität von vorgeschalteten Leitungen und Transformatoren herabgesetzt wird.

C	Kapazität pro Phase des zu sperrenden Kondensators [μF]
L	Induktivität der Drosselspule mit Eisenkern [μH]
f	Frequenz (f dient z. B. zur allgemeinen Berechnung des Impedanzfaktors n_z bei einer beliebigen Frequenz)
f_1	Netzfrequenz (Grundfrequenz des Netzes; in der Regel 50 Hz) [Hz]
f_s	Serieresonanzfrequenz der gesperrten Anordnung [Hz]
U_n	Nennspannung des Kondensators C bei der Netzfrequenz f_1 [V]
ΔU	Spannungsabfall an der Drosselspule L und Spannungs-erhöhung am gesperrten Kondensator bei der Netzfrequenz f_1 , in % der Nennspannung ($\Delta U \approx p$) [%]
Z_f	Tonfrequenzimpedanz der gesperrten Anordnung bei einer beliebigen Frequenz f [Ω]
Z_{C1}	Impedanz des Kondensators C bei der Netzfrequenz f_1 [Ω]
X_{L1}	Reaktanz der Drosselspule L bei der Netzfrequenz f_1 [Ω]
X_{C1}	Reaktanz des Kondensators C bei der Netzfrequenz f_1 [Ω]
Q_C	Nennleistung des Kondensators C bei der Netzfrequenz f_1 [Var]
p	Sperrenkennwert = Reaktanz X_{L1} der Drosselspule L in % der Reaktanz X_{C1} des Kondensators C bei der Netzfrequenz f_1 [%]
q_1	Faktor zur Berechnung der Induktivität L der Drosselspule bei der Netzfrequenz f_1
n_z	Impedanzfaktor

¹⁾ Bei dreiphasigen Kondensatorbatterien ist für U_n die verkettete Nennspannung einzusetzen und für Q_C die dreiphasige Kondensatorleistung [Var].

²⁾ Der Einfluss der Spulenverluste ist in dieser Formel nicht berücksichtigt, da er unbedeutend ist.

³⁾ Pro Phase; verkettete Werte auf Phasenwerte umgerechnet.

b) Vorschaltung eines Sperrkreises, bestehend:

- aus einer Drosselspule L mit parallel geschaltetem Sperrkreiskondensator C_p (Fig. 2a),
- aus der äquivalenten transformatorischen Schaltung (Fig. 2b).

Erläuterung: Sperrkreise können bei besserer Sperrwirkung mit einer kleineren Drosselspuleninduktivität gebaut werden. Eine solche Sperrere ist jedoch im allgemeinen nur für eine Steuerfrequenz f_t innerhalb eines kleinen Frequenzbereiches, d. h. für ein Frequenzband von etwa 10 % Breite wirksam.

Die Parallelresonanzfrequenz f_p ist durch die Drosselspule L und den parallelgeschalteten Sperrkreiskondensator C_p bestimmt; sie soll mit der Steuerfrequenz f_t übereinstimmen. Der Sperrkreis stellt dann für die Steuerfrequenz f_t einen relativ hohen

Ohmschen Sperrwiderstand dar. Für niedrigere Frequenzen hat der Sperrkreis induktiven Charakter. Bei einer bestimmten, unter der Parallelresonanzfrequenz f_p liegenden Frequenz f_s wird die induktive Sperrkreisimpedanz betragsmäßig gleich gross wie die kapazitive Impedanz des zu sperrenden Kondensators, d. h. es besteht für die gesperrte Anordnung Serieresonanz.

Sofern sich ein Elektrizitätswerk bereits für eine bestimmte Steuerfrequenz entschieden hat, bereitet die Wahl der Sperrnen keine besonderen Schwierigkeiten. Ist dagegen die Steuerfrequenz

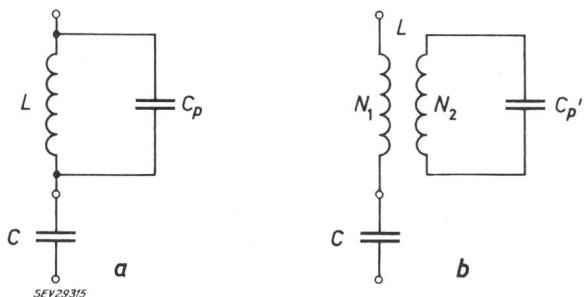


Fig. 2

$$L = p \frac{10^{10}}{4 \pi^2 f_1^2 C}$$

$$L = q_1 \frac{U_n^2}{Q_C} \quad q_1 = p \frac{10^4}{2 \pi f_1}$$

$$C = \frac{Q_C}{2 \pi f_1 U_n^2} 10^6 \quad 1)$$

$$\Delta U \approx p = \left[\left(\frac{f_1}{f_s} \right)^2 - \left(\frac{f_1}{f_p} \right)^2 \right] 100$$

$$C_p = \frac{100}{p} \left(\frac{f_1}{f_p} \right)^2 C = \frac{10^{12}}{4 \pi^2 f_p^2 L}$$

$$C_{p'} = \ddot{u}^2 C_p \quad \ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{U_{Cp\max}}{U_Y} = \frac{p \left(\frac{f_p}{f_1} \right)^2}{p \left(\frac{f_p}{f_1} \right)^2 + 100}$$

$$U_{Cp'max} = U_{Cp\max} \frac{1}{\ddot{u}}$$

$$f_s = \frac{f_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_p}{f_1} \right)^2 \frac{p}{100}}}$$

$$n_{Zp} = \sqrt{\left(\frac{Z_p}{Z_1} \right)^2 + \left(\frac{f_1}{f_p} \right)^2} = \sqrt{p^2 Q^2 \left(\frac{f_p}{f_1} \right)^2 10^{-4} + \left(\frac{f_1}{f_p} \right)^2}$$

$$n_{Zp} \approx \frac{Z_p}{Z_1} \approx \frac{p Q}{100} \cdot \frac{f_p}{f_1} \quad 4)$$

C_p	Kapazität des Sperrkreiskondensators gemäss Schaltung in Fig. 2a [μF]
$C_{p'}$	Kapazität des Sperrkreiskondensators gemäss Schaltung in Fig. 2b [μF]
f_p	Parallelresonanzfrequenz des Sperrkreises (in der Regel gleich der Steuerfrequenz f_t) [Hz]
U_Y	Netzspannung pro Phase [V]
$U_{Cp\max}$	maximale Spannung an C_p bei der Einschaltung (gemäss Fig. 2a) [V]
$U_{Cp'max}$	maximale Spannung an C_p bei der Einschaltung (gemäss Fig. 2b) [V]
Z_1 3)	Impedanz der gesperrten Anordnung bei der Netzfrequenz f_1 [Ω]
Z_p 3)	Impedanz des Sperrkreises bei der Frequenz f_p [Ω]
\ddot{u}	Übersetzungsverhältnis des Serientransformators = N_1/N_2
n_{Zp}	Impedanzfaktor bei der Frequenz $f = f_p$
N_1, N_2	Windungszahlen des Serientransformators
Q	Gütefaktor des Sperrkreises bei der Frequenz f_p (= Kennzahl für die Ohmschen Verluste der gesperrten Anordnung)

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

1) siehe 1) zu Fig. 1.

2) siehe 3) zu Fig. 1.

4) Die Näherung stimmt gut für Frequenzen $f_p > 450$ Hz.

noch nicht bestimmt, so besteht bei kleinen Kondensatoren die Möglichkeit, durch Sperrdrosselpulen nach Fig. 1 eine für mehrere oder sogar für alle in Frage kommenden Steuerfrequenzen genügend grosse Erhöhung der Impedanz zu erzeugen. Bei grösseren Kondensatoren empfiehlt es sich, die Sperrkreise erst einzubauen, nach dem die Steuerfrequenz bestimmt ist. Oft ist es sogar zweckmässiger, mit dem Einbau von Sperrnen bis zur Inbetriebnahme der Netzkommandoanlage zuzuwarten, um auf diese Weise den erforderlichen Aufwand und damit die Kosten möglichst niedrig zu halten.

Technische Anforderungen

4.1 Impedanzfaktor

Kondensatorenperren sollen bei möglichst kleinem Aufwand eine genügende Sperrwirkung aufweisen. Das Mass für die Sperrwirkung ist der Impedanzfaktor (Sperrfaktor) n_Z .

Richtwerte für den Impedanzfaktor bei verschiedenen Steuerfrequenzen f_t sind in den Tabellen I und II angegeben.

Richtwerte für Sperrdrosselpulen

Tabelle I

Zeile Nr.	Serieresonanzfrequenz f_s Hz	Sperrenkennwert p %	Faktor q_1 für $f_1 = 50$ Hz	Steuerfrequenz f_t [Hz]							
				485	600	750	1050	1350	1600	1800	2000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	214	5,5	175,1	0,43	0,58	0,76	1,11	1,45	1,73	1,95	2,18
2	316	2,5	79,6				0,48	0,64	0,77	0,87	0,98

Richtwerte für Sperrkreise

Tabelle II

Zeile Nr.	Steuerfrequenz $f_t = f_p$ Hz	Sperrenkennwert p %	Faktor q_1 für $f_1 = 50$ Hz	Serieresonanzfrequenz f_s Hz	Impedanzfaktor n_{Zp} für $Q = 10$	Maximale Spannungsverhöhung am Sperrkreiskondensator $\frac{U_{Cp\max}}{U_Y}$ %	
1	2	3	4	5	6	7	
1	291	0,5	15,9	269	0,34	14,5	
2	309	0,5	15,9	283	0,35	16	
3	388	1,0	31,8	306	0,80	37,6	
4	412	1,0	31,8	318	0,85	40,6	
5	485	0,5	15,9	400	0,50	32	
6	500	0,5	15,9	408	0,51	33,3	
7	582	0,5	15,9	449	0,59	40,6	
8	600	0,5	15,9	457	0,61	42	
9	725	0,5	15,9	506	0,73	51,3	
10	750	0,5	15,9	514	0,75	53	
11	1050	0,4	12,7	631	0,84	64	
12	1350	0,35	11,1	717	0,95	72	
13	1600	0,35	11,1	747	1,12	78,3	
14	1800	0,35	11,1	765	1,26	82	
15	2000	0,35	11,1	778	1,40	85	

1) Die Parallelresonanzfrequenz f_p des Sperrkreises ist in der Regel gleich der Steuerfrequenz f_t .

2) Bezogen auf die Netzspannung.

Bei Kondensatorenbatterien, die nach Bedarf stufenweise eingeschaltet werden, ist es im allgemeinen zulässig, für mehrere Kondensatoreinheiten eine gemeinsame Sperrne zu verwenden, sofern die Serieresonanzfrequenz f_s für den höchsten Kapazitätswert oberhalb der gefährlichen Harmonischen liegt. Die Sperrkreise sind daher für die voll eingeschaltete Kondensatorenbatterie zu bemessen. Ist nur eine Teilkapazität eingeschaltet, so ist es möglich, dass der empfohlene Impedanzfaktor n_Z unterschritten wird. Dies ist zulässig, wenn die Transformatoren- und Leitungs-Impedanzen zwischen der Sendestelle und dem Kondensator, welche für den Steuerspannungsabfall bestimmend sind, unverändert bleiben. In Zweifelsfällen sollen das zuständige Elektrizitätswerk und die Lieferfirma der Netzkommandoanlage konsultiert werden.

4.2 Sperrenkennwert

Richtwerte für den Sperrenkennwert p bei verschiedenen Steuerfrequenzen f_t sind in den Tabellen I und II angegeben. Der Sperrenkennwert p ist auch deshalb von besonderem praktischem Wert, weil er bei der Netzfrequenz f_1 mit guter Annäherung die auf die Netzspannung bezogene prozentuale Klemmenspannung der Drosselpule L angibt. Diese Spannung tritt gleichzeitig auch als prozentuale Spannungsverhöhung am Kondensator C auf.

Mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit des Kondensators soll die Spannungserhöhung bei Netzfrequenz möglichst gering sein. Für Kondensatoren, die ohne Rücksicht auf den Einbau von Sperren hergestellt worden sind, dürfen bei nachträglicher Sperrung nur Sperrkreise verwendet werden.

4.3 Gütefaktor eines Sperrkreises

Bei einem Sperrkreis gemäß Fig. 2 mit einer Drosselpule bestimmter Induktivität wird der Sperrwiderstand bei der Resonanzfrequenz f_p umso höher, je verlustärmer die Sperrkreiselemente sind. Da die Steuerfrequenz f_t im allgemeinen nicht konstant ist, sondern prozentual mindestens so stark schwankt wie die Netzfrequenz f_1 , muss die Sperre für ein gewisses Frequenzband wirksam sein. Es hat deshalb praktisch keinen Sinn, Sperrkreise mit extrem hohem Gütefaktor Q und entsprechend hoher Sperrimpedanz Z_p zu bauen, weil dann bei relativ kleiner Abweichung der Steuerfrequenz f_t von der Parallelresonanzfrequenz f_p die Sperrimpedanz Z_p relativ stark sinken würde. Ein hoher Gütefaktor Q stellt zudem grosse Anforderungen sowohl an die Einhaltung der Linearität der Magnetisierungskurve als auch an die zeitliche Konstanz von Spuleninduktivität und Sperrkreiskapazität und verlangt eine sehr genaue Abstimmung des Kreises. Anderseits sollte ein Gütefaktor von $Q = 10$ nicht wesentlich unterschritten werden. Für die praktischen Bedürfnisse wird daher ein Gütefaktor von $Q = 10 \dots 15$ empfohlen.

4.4 Belastung durch Oberwellen (Erwärmung)

Durch die in den Netzen stets vorhandenen Oberwellen ergibt sich eine zusätzliche Oberwellen-Strombelastung der Sperren und Kondensatoren.

Bei den üblichen Kondensatoren darf der Effektivwert des Stromes mit Einschluss der Oberwellenströme das 1,3fache des Nennstromes erreichen. Diese Strombelastung müssen auch die Sperren mit Sicherheit dauernd aushalten. Dabei ist zu beachten, dass die Oberwellenströme höhere Frequenzen haben und in der Drosselpule zusätzliche Kupfer- und Eisenverluste verursachen.

4.5 Linearität der Magnetisierungskurve

Bei Sättigung des Eisens wird die Induktivität kleiner. Es besteht deshalb bei stark gesättigten Drosselpulen die Gefahr der Verstimmung der Sperren und damit der Verminderung der Sperrimpedanz der Sperreinrichtung. Infolgedessen muss ganz besonders darauf geachtet werden, dass bei Belastung der Drosselpule mit der Summe des Kondensatorenstromes, der Oberwellenströme und des tonfrequenten Steuerstromes die Linearität der Magnetisierungskurve gewahrt bleibt. Aus diesem Grunde müssen die Eisenkerne solcher Drosselpulen mit Luftspalt ausgeführt werden.

4.6 Spannungsfestigkeit

Die Spannungsfestigkeit der Isolationen der Sperren gegen Erde wird durch eine Spannungsprüfung erfasst. Bei der Einschaltung treten jedoch zusätzliche Stoßbeanspruchungen an den Sperren auf, die berücksichtigt werden müssen.

4.6.1 Spannungsfestigkeit von Sperrdrosselpulsen

Im ersten Moment der Einschaltung eines mit Sperrdrosselpule ausgerüsteten Kondensators besitzt dieser noch keine Ladung, so dass die ganze Netzspannung an der Drosselpule liegt. Die Spannung an der Drosselpule wird dadurch ein Vielfaches ihrer stationären Betriebsspannung, d.h. es tritt eine hohe Windungsspannung auf. Die Windungsisolationen müssen deshalb so bemessen sein, dass sie kurzzeitig die volle Netzspannung aushalten.

4.6.2 Spannungsfestigkeit von Sperrkreisen

Bei der Einschaltung von Kondensatoren mit Sperrkreisen nach Fig. 2a ergibt sich im ersten Moment eine Aufteilung der Netzspannung U_Y auf die Kondensatoren C_p und C . Das Verhältnis der Spannungen an den beiden Kondensatoren ist umgekehrt gleich dem Verhältnis ihrer Kapazitäten. Die am Kondensator C_p im Einschaltmoment maximal auftretende Spannung ist in Tabelle II durch das Verhältnis $U_{Cp \text{ max}}/U_Y$ in % angegeben. Wenn der Sperrkreis nach Fig. 2b geschaltet ist, muss berücksichtigt werden, dass der Kondensator C_p im Einschaltmoment mit der auftransformierten Einschaltspannung $U_{Cp' \text{ max}}$ beansprucht wird.

5 Bestimmung der technischen Daten

In den Tabellen I und II sind diejenigen Zahlenwerte aufgeführt, die sich für die zur Zeit hauptsächlich verwendeten Steuerfrequenzen ergeben. Für Steuerfrequenzen, die in den Tabellen nicht aufgeführt sind, können die Zahlenwerte aus den in den

vorliegenden Leitsätzen angegebenen Formeln bestimmt werden. Für Steuerfrequenzen unter 290 Hz sollen das zuständige Elektrizitätswerk und die Lieferfirma der Netzkommmandoanlage konsultiert werden.

Für Sperrdrosselpulsen nach Fig. 1 kommen nur die in Tabelle I aufgeführten Serieresonanzfrequenzen von 214 und 316 Hz in Frage. Da diese beiden Serieresonanzfrequenzen bei einer Netzfrequenz von 50 Hz in der Nähe der 5. bzw. der 7. Oberwelle liegen, ist auf eine sorgfältige Dimensionierung und Abstimmung der Sperrdrosselpulsen zu achten. Sperrdrosselpulsen, die eine Serieresonanzfrequenz von 316 Hz ergeben, sollen nur ausnahmsweise und im Einverständnis mit der Lieferfirma der Netzkommmandoanlage verwendet werden.

Für Sperrkreise nach Fig. 2 sind in Tabelle II, Kolonne 6 Werte für den Impedanzfaktor n_{Zp} angegeben, die mit einem Gütefaktor $Q = 10$ erreicht werden. Diese Werte sind nach den bisherigen Erfahrungen im allgemeinen ausreichend. Werden die Werte der Tabelle II, Kolonne 6, wesentlich unterschritten, so können zu grosse Steuerspannungsabfälle auftreten. Bei schwierigen Netzbedingungen muss geprüft werden, ob diese Werte angemessen zu erhöhen sind.

6 Ausführung

Sperrdrosselpulsen und Sperrkreise sind in der Regel entsprechend den Tabellen I und II zu berechnen. Im übrigen sind die Ziff. 6.1...6.6 zu berücksichtigen.

6.1 Sättigung

Um Sättigungserscheinungen zu vermeiden, sind die Drosselpulsenkerne mit genügend Luftspalt auszuführen. Es ist zu beachten, dass die Luftspalte nicht durch nahe Metallteile überbrückt werden.

6.2 Abstimmung der Induktivität

Die Drosselpulsen sind so zu bauen, dass die Induktivität mit Hilfe von Anzapfungen oder durch Luftspaltänderungen zum Zwecke der Abstimmung in genügend grossen Grenzen verändert werden kann.

6.3 Belastung durch Oberwellen (Erwärmung)

Die zusätzliche Erwärmung der Sperren durch die Oberwellenströme kann auf Grund der Erfahrung dadurch erfasst werden, dass außer dem Kondensatorenstrom noch ein gleichzeitig fließender Strom höherer Frequenz von mindestens gleicher Grösse wie der Nennstrom bei der Dimensionierung berücksichtigt wird. Wärmestauungen von Gehäuse und Verschalungen müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Als Grenzen der Erwärmung sollen sinngemäss die Bestimmungen der Regeln für elektrische Maschinen, Publ. Nr. 188 des SEV angewendet werden.

6.4 Linearität der Magnetisierungskurve

Zur hinreichenden Einhaltung der Linearität der Magnetisierungskurve muss für die Dimensionierung des Eisenkerns der Drosselpule die Summe des Kondensatorenstromes, der Oberwellenströme und des tonfrequenten Steuerstromes berücksichtigt werden. Auf Grund der Erfahrung kann als aequivalenter Wert der 2,5fache Kondensatorenstrom bei Netzfrequenz zugrunde gelegt werden.

6.5 Übersetzungsverhältnis und Einschalt-Überspannungen

Sperrkreise für Kondensatoren werden vorzugsweise nach Fig. 2b ausgeführt, d.h. der Sperrkreiskondensator C_p' wird an einer Drosselpulsen-Sekundärwicklung angeschlossen. Die Spannung am Kondensator C_p' wird dadurch entsprechend dem Übersetzungsverhältnis übersetzt. Damit die am Kondensator C_p' auftretende Spannungsspitze im Einschaltmoment in angemessenen Grenzen bleibt, empfiehlt es sich, das Übersetzungsverhältnis nicht zu gross zu wählen. Bei Sperrkreisen zu Kondensatoren für 380-V. bzw. 500-V-Netze ist es zweckmäßig, Übersetzungsverhältnisse von etwa 1 : 20 (für 380 V) bzw. 1 : 10 (für 500 V) nicht zu überschreiten. Zum Schutze gegen Schaltüberspannungen kann es vorteilhaft sein, an der Sekundärwicklung, d.h. parallel zum Sperrkreiskondensator, eine passend eingestellte Schutzfunkentstrecke anzubringen. Bei der Bemessung der Sekundärwicklung und des Sperrkreiskondensators sind die zusätzlichen Beanspruchungen durch Oberwellenströme und tonfrequente Steuerströme zu berücksichtigen.

6.6 Mechanischer Aufbau

Der mechanische Aufbau der Sperren soll möglichst stabil sein, damit sich die Drosselpulseninduktivität im Betrieb nicht

wesentlich ändert und die Brummgeräusche möglichst klein bleiben.

7 Einbau und Schutzmassnahmen

Die Kernluftpalte dürfen an der Einbaustelle nicht durch Metallteile überbrückt werden.

In Bezug auf Einbau und Schutzmassnahmen sind im weiteren sinngemäss die Hausinstallationsvorschriften (Publ. Nr. 1000 des SEV) zu beachten, insbesondere die Bestimmungen über Erdung der Apparate, über Schmelzsicherungen, über Transformatoren und über Berührungsschutz.

Nach dem Einbau einer Sperre in die Kondensatorzuleitung ist der Effektivwert des Kondensatorstromes zu messen. Dabei ist zu beachten, dass die Oberwellenströme zeitlich stark schwanken können. In Grenzfällen ist es empfehlenswert, den Effektivwert des Kondensatorstromes während einiger Tage mittels eines Registrierinstrumentes nachzuprüfen. Wenn der für den Kondensator zulässige Wert von $1,3 I_n$ überschritten wird, müssen die Daten der Sperren überprüft, eventuell geändert werden. Für solche spezielle Fälle kann in der Dimensionierung der Sperren von den Richtlinien nach Tabellen I und II im Einverständnis mit der Lieferfirma der Netzkommmandoanlage abgewichen werden.

8 Aufschriften und Kennzeichen

Sperrdrosselpulen und Drosselpulen von fest zusammengebaute Sperrkreisen sollen mit einem Leistungsschild versehen werden, das ausser den von den Hausinstallationsvorschriften des SEV verlangten Angaben zusätzlich folgende Aufschriften enthalten muss:

- a) Hersteller
- b) Typenbezeichnung
- c) Fabrikationsnummer

Sperrdaten:

- d) 50-Hz-Nennstrom in A
- e) Sperrfrequenz in Hz
- f) p-Wert in %
- g) Kapazität des Sperrkreiskondensators in μF

Einbau-Daten:

- h) Bestimmt für $\frac{\text{ein-}}{\text{drei-}}$ phasigen Kondensator von ... kVar Leistung oder von ... μF Kapazität
- i) Netzspannung in V

Es empfiehlt sich, durch entsprechende Bezeichnungen (Farbzeichen, Kennziffer etc.) dafür zu sorgen, dass einander zugeordnete Kondensatoren und Sperren nicht verwechselt werden können.

9 Prüfungen

9.1 Prüfbestimmungen

9.1.1 Anforderungen an die Sperrwirkung

a) Die Induktivität von Sperrdrosselpulen soll so eingestellt werden, dass die Serieresonanzfrequenz von Sperrdrosselpule und gespertem Kondensator unter der in Ziff. 2 definierten Betriebsbedingung nicht mehr als $\pm 3\%$ vom Sollwert abweicht.

b) Die Parallelresonanzfrequenz von Sperrkreisen darf unter der in Ziff. 2 definierten Betriebsbedingung nicht mehr als $\pm 2\%$ von der Sperrfrequenz, d. h. von der Nennsteuerfrequenz abweichen.

c) Der Impedanzfaktor von Sperrkreisen soll nicht mehr als 30 % unter und nicht mehr als 60 % über den Richtwerten nach Tabelle II liegen.

d) Der Sperrenkennwert soll bei Sperrkreisen nicht mehr als $\pm 10\%$ von den in Tabelle II angegebenen Richtwerten abweichen.

9.1.2 Anforderungen an die Erwärmungsfestigkeit

Es ist in einer Typenprüfung nachzuweisen, dass die Erwärmung von Sperrdrosselpulen und Sperrkreisen bei den am Einbauort herrschenden Bedingungen (offen oder verschalt) innerhalb der zulässigen Grenzen bleibt. Beim Erwärmungsversuch müssen die Sperren gleichzeitig den Kondensatornennstrom und mindestens den gleich grossen Oberwellenstrom mit einer Frequenz in der Nähe der Serieresonanzfrequenz der gesperrten Anordnung, jedoch höchstens 350 Hz, führen.

9.2 Durchführung der Prüfungen

Die praktische Durchführung der Prüfungen unter der in Ziff. 2 definierten Betriebsbedingung ist nur mit verhältnis-

mässig grossem Aufwand möglich. Zur Vereinfachung der Prüfungen ist es erfahrungsgemäss mit genügender Genauigkeit zulässig, sowohl für die magnetisierende als auch für die erwärmungsmässige Wirkung der Summenströme die Gesamtprüfung jeweils in eine geeignete Messung bei Netzfrequenz (50 Hz) und in eine reine Tonfrequenzmessung zu unterteilen. Es ist darauf zu achten, dass für die Tonfrequenzmessungen geeignete Messinstrumente verwendet werden, z. B. Drehspulinstrumente mit vorgeschalteten Gleichrichtern.

9.2.1 Prüfung mit Netzfrequenz auf magnetische Eigenschaften und Bestimmung des Sperrenkennwertes

a) Die Magnetisierungskurve der Drosselpule ist in bekannter Weise mit einer Strom-Spannungsmessung bei der Netzfrequenz f_1 aufzunehmen. Da die Ohmschen Widerstände bei den vorgeschriebenen Gütekriterien im Verhältnis zur Reaktanz klein sind, gilt mit guter Annäherung für die Drosselpulen-Reaktanz X_{L1} :

$$X_{L1} \approx Z_{L1} = \frac{U}{I}$$

worin Z_{L1} Impedanz der Drosselpule bei der Netzfrequenz f_1 [Ω] und X_{L1} Reaktanz der Drosselpule bei der Netzfrequenz f_1 [Ω].

Dieser Wert X_{L1} darf beim 2,5fachen Kondensatornennstrom I_n (vgl. Ziff. 6.4) für Sperrdrosselpulen nicht mehr als 3 % und für Sperrkreise nicht mehr als 2 % vom Wert beim einfachen Kondensatornennstrom I_n abweichen.

b) Der Sperrenkennwert p errechnet sich dann unmittelbar nach der Formel:

$$p = \frac{X_{L1}}{X_{C1}} \approx \frac{Z_{L1}}{Z_{C1}}$$

worin X_{C1} Reaktanz des Kondensators C , bei der Netzfrequenz f_1 [Ω] und Z_{C1} Impedanz des Kondensators C bei der Netzfrequenz f_1 [Ω].

9.2.2 Prüfung mit Tonfrequenz: Einstellen und Prüfen der Resonanzlage, Bestimmung des Impedanzfaktors und des Gütekfaktors

a) **Sperrdrosselpulen:** Es ist eine konstante Spannung bei Serieresonanzfrequenz in der Höhe von 1...2 % der Netzspannung an die Serieschaltung, bestehend aus Sperrdrosselpule und zu sperrendem Kondensator, anzulegen. Die Resonanzlage wird durch Veränderung entweder des Luftspalts oder der Anzapfungen der Sperrdrosselpule eingestellt. Die Resonanzlage ist erreicht, wenn der hiebei fliessende tonfrequente Meßstrom das Maximum aufweist.

b) **Sperrkreise:** Es ist eine konstante Spannung bei Parallelresonanzfrequenz in der Höhe von 3...5 % der Netzspannung an den Sperrkreis anzulegen. Die Resonanzlage wird durch Veränderung entweder des Luftspaltes oder der Anzapfungen der Drosselpule, in Ausnahmefällen auch durch Veränderung des Sperrkreiskondensators eingestellt. Die Resonanzlage ist bei Sperrkreisen erreicht, wenn der in dem Sperrkreis fliessende tonfrequente Meßstrom das Minimum aufweist. Die Impedanz Z_p des Sperrkreises errechnet sich aus dem Verhältnis von Spannung und Strom bei der Parallelresonanzfrequenz f_p .

Der Impedanzfaktor n_{Zp} von Sperrkreisen ist mit guter Annäherung unmittelbar gegeben durch die Formel

$$n_{Zp} \approx \frac{Z_p}{Z_1}$$

Der Gütekfaktor Q von Sperrkreisen ist aus den gemessenen Werten nach folgender Formel zu berechnen:

$$Q = \frac{Z_p}{Z_{L1}} \cdot \frac{f_1}{f_p}$$

9.2.3 Erwärmungsprüfung

Die Summe der in den Prüfungen mit Erwärmungsversuchen nach Ziff. 9.2.3.1 und 9.2.3.2 mit Netzfrequenz und mit Tonfrequenz festgestellten Übertemperaturen darf die nach den einschlägigen Vorschriften des SEV zulässigen Grenzen nicht überschreiten (vgl. Ziff. 6.3).

9.2.3.1 Prüfung mit Netzfrequenz

Der Erwärmungsversuch bei Netzfrequenz ist mit dem 1,1fachen Wert des Kondensatornennstromes I_n durchzuführen.

9.2.3.2 Prüfung mit Tonfrequenz

Die Belastung durch die Oberwellenströme kann für die Erwärmungsprüfung nachgebildet werden durch einen Strom von der gleichen Grösse wie der Kondensatornennstrom und mit einer Frequenz, die in der Nähe der Serieresonanz der gesperrten Anordnung liegt, jedoch höchstens 350 Hz betragen soll.