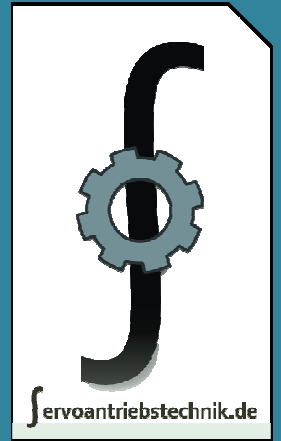




Kapazitätserweiterung Kondensatormodul



Kondensatorbank







Bildquelle: electrocube.com

APPLICATION
GUIDE



Weitere Unterlagen, die im Zusammenhang mit diesem Dokument stehen:

-  X
-  X
-  X
-  X

© **Servoantriebstechnik.de**

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil der Beschreibung darf in irgendeiner Form, ohne Zustimmung vervielfältigt oder weiter verarbeitet werden.

Änderungen sind ohne vorherige Ankündigung vorbehalten.

Servoantriebstechnik.de hat für seine Produkte teilweise Warenzeichenschutz und Gebrauchsmusterschutz eintragen lassen. Aus dem Überlassen der Beschreibungen darf nicht angenommen werden, dass damit eine Übertragung von irgendwelchen Rechten stattfindet.



Inhaltsverzeichnis:

	Seite
A) Aufgabenstellung:	4
B) Passive und aktive Netz-Einspeisung	5
C) Passive und aktive Kondensator-Module	5
1) Die 8 Fälle und ihre Besonderheiten	6
1.1) Speicher-Vermögen von Kondensatoren:	6
2) Fall 1 - Fall 4: Zwischenspeicherung generatorischer Energie	7
3) Fall 5 - Fall 8: Netzausfall	11
4) Entladung des Zwischenkreises und der Kondensatorbank	13
5) Lebensdauer der Kondensatoren	13
Änderungsliste	14



Kapazitätserweiterung / Kondensatormodul

A) Aufgabenstellung:

Aus der Praxis kennen wir im Wesentlichen zwei verschiedene Aufgabenstellungen, die durch den Einsatz von Kapazitätserweiterungen / Kondensatormodulen gelöst werden können:

1. Das Zwischenspeichern von generatorischer Energie, wie: rotativer Energie aus der Bremsung großer Trägheiten, kinetischer Energie aus der Bremsung linear bewegter Massen oder potentieller Energie aus zyklischen Hubanwendungen mit AUF- und AB- bewegten Massen.
2. Das Bereitstellen von Energie bei Netzausfall oder Netzunterbrechung.

Oft besteht der Wunsch, beide genannten Aufgabenstellungen mit einer Kondensatorbank zu erschlagen. Dies ist aber nur durch ein Kompromiss zu lösen und schränkt die Wirksamkeit für einen der beiden Einsatzfälle stark ein, weil für:

1. das Zwischenspeichern von generatorischer Energie der Kondensator "leer" sein sollte, um möglichst viel Energie aufnehmen zu können, und für
2. das Bereitstellen von Energie bei Netzausfall der Kondensator "voll" sein sollte, um eine möglichst große Energiemenge bereitstellen zu können.

Die Zwitter-Lösung soll im weiteren Verlauf des Artikels nicht weiter betrachtet werden. Die Realisierung einer der beiden Haupt-Aufgabenstellungen ist kompliziert genug.

Anmerkung: Für Hubanwendungen, wo große Massen über weite Höhen abwärts bewegt werden (Aufzüge, Regalbediengeräte usw.), kann die Kondensatorbank keine wirtschaftlich sinnvolle Lösung bieten, die anfallende Energie aufzunehmen, weil meist die Energiemenge zu groß ist. Hier sind Rückspeiseeinheiten vorzuziehen. Das sichere Stillsetzen der Anlage bei Netzausfall ist hingegen durchaus ein Thema.



B) Passive und aktive Netz-Einspeisung

Servoverstärker bieten zwei verschiedene Netz-Einspeise-Module an:

1. Passive Netzeinspeisung über einen Brückengleichrichter. Im Folgenden soll nur die 3~ phasige 400 VAC berücksichtigt werden. Die Zwischenkreisspannung stellt sich auf 560 VDC ungeregelt ein. Im generatorischen Betrieb steigt die Zwischenkreisspannung bis zur Einsatzschwelle des Brems-Choppers (Ballastschaltung) z.B. 800 VDC an.
2. Aktive Netzeinspeisung über schaltbare Halbleiter. Diese "Activ-Front-End"- Geräte haben meist einen geregelten Zwischenkreis mit beispielsweise 750 VDC Gleichspannung. In der Regel sind sie rückspeisefähig und teilweise in der Lage den Einschaltstrom sinnvoll zu begrenzen.

C) Passive und aktive Kondensator-Module

Der Markt bietet zwei verschiedene Lösungskonzepte an, die sich in der Hardware und ihrem Verhalten grundlegend unterscheiden:

1. Passive Kondensator-Erweiterungen, die durch Parallelschaltung an den Servoverstärker die Zwischenkreiskapazität erhöhen.
2. Aktive Kondensator-Module, die über eine Leitungselektronik (z.B. Hochsetzsteller) dem Zwischenkreis des Servoreglers, Energie entnehmen oder zurückgeben.



1) Die 8 Fälle und ihre Besonderheiten

Aus den 2 Aufgabestellungen, den 2 Möglichkeiten zur Einspeisung und den 2 Hardware-Konzepten der Kondensator-Module lassen sich 8 Fälle bilden, die hier jeweils näher betrachtet werden. Zur eindeutigen Kennzeichnung wird die folgende Terminologie verwendet:

	Aufgabenstellung:	Einspeisung:	Kondensator-Modul
Fall 1	Zwischenspeicher	Brückengleichrichter	Parallelschaltung
Fall 2	Zwischenspeicher	Brückengleichrichter	Hochsetzsteller
Fall 3	Zwischenspeicher	Aktiv-Front-End	Parallelschaltung
Fall 4	Zwischenspeicher	Aktiv-Front-End	Hochsetzsteller
Fall 5	Netzausfall	Brückengleichrichter	Parallelschaltung
Fall 6	Netzausfall	Brückengleichrichter	Hochsetzsteller
Fall 7	Netzausfall	Aktiv-Front-End	Parallelschaltung
Fall 8	Netzausfall	Aktiv-Front-End	Hochsetzsteller

Bevor die Fälle genauer untersucht werden, ist zunächst Grundlagen-Wissen zum Thema Kondensatoren erforderlich:

1.1) Speicher-Vermögen von Kondensatoren:

Kondensator-Module verwenden Hochleistungs-Elektrolyt-Kondensatoren mit großer Speicherkapazität bei hohen Spannungen. Diverse Hersteller bieten diese Kondensatoren mit Nennspannungen z.B. 450 VDC und einer Kapazität bis 20.000 μF an. Detaillierte Informationen zu diesen Kondensatoren findet man beispielsweise bei:

Hitachi AIC: <http://www.aic-europe.com/schraubanschluss-kondensatoren>

In Kondensator-Erweiterungen zur Parallelschaltung an den 560VDC Zwischenkreis müssen zwei 450 VDC Kondensatoren in Reihe geschaltet werden. Im Beispiel ist die Gesamtkapazität aus zwei in Reihe geschalteten 450VDC-Kondensatoren mit einer Kapazität von 20.000 μF nur 10.000 μF . Die gespeicherte Energiemenge bei 900 VDC Maximalspannung ist:

$$E = 1/2 * C * U^2 = 1/2 * 10.000\mu\text{F} * (900\text{V})^2 = 4050 \text{Ws}$$

Verwendet man die gleichen Kondensatoren in aktiven Modulen mit Leistungselektronik kann mit 450 VDC Maximalspannung im Modul gearbeitet werden. Die zwei Kondensatoren können dann modulintern parallel geschaltet werden, wobei sich die Gesamtkapazität auf 40.000 μF verdoppelt. Da die Maximalspannung aber nur halb so groß ist, ist die speicherbare Energiemenge ebenfalls nur:

$$E = 1/2 * C * U^2 = 1/2 * 40.000\mu\text{F} * (450\text{V})^2 = 4050 \text{Ws}$$



Das Volumen der Hochleistungs-Elektrolyt-Kondensatoren ist proportional der speicherbaren Energiemenge. Vergleicht man die Datenblätter zweier baugleicher Kondensatoren (gleiches Volumen), stellt man fest, dass derjenige mit halber Nennspannung [VDC] meist 4-fache Kapazität [μF] besitzt.

2) Fall 1 - Fall 4: Zwischenspeicherung generatorischer Energie

Fall 1	Zwischenspeicher	Brückengleichrichter	Parallelschaltung
--------	------------------	----------------------	-------------------

Nutzbare Energie:

Im Fall 1, liefert die Einspeisung die unregelte Gleichricht- bzw. Zwischenkreisspannung von 560 VDC. Im generatorischen Betrieb steigt die Zwischenkreisspannung bis zur Einsatzschwelle des Brems-Choppers (Ballastschaltung) z.B. 800 VDC an.

Die nutzbare Energiemenge der betrachteten Kondensatoren aus dem Beispiel ist:

$$E = 1/2 * C * [U_2^2 - U_1^2] = 1/2 * 10.000\mu\text{F} * [(800\text{V})^2 - (560\text{V})^2] = 1632 \text{Ws}$$

Die ungenutzte gespeicherte Energiemenge aufgrund der Tatsache, dass die Zwischenkreisspannung nicht weit unter 560V fällt, ist:

$$E = 1/2 * C * U_1^2 = 1/2 * 10.000\mu\text{F} * (560\text{V})^2 = 1568 \text{Ws}$$

Aufladung, Einschaltvorgang:

Die Ladeschaltung der Einspeisung bzw. Servoreglers ist meist nur für eine kleine Zwischenkreiskapazität ausgelegt. Durch die Parallelschaltung externer Kapazitäten verlängert sich der Ladevorgang entsprechend, was zu einer thermischen Überlastung der Ladeschaltung führen kann. Die Erweiterung der Zwischenkreiskapazität durch externe Kondensatoren ist immer mit den Gerätehersteller abzusprechen.

Zeitverhalten, Frequenz, Anwendungen:

Da der Energieaustausch mit der externen Kapazität nicht durch einen maximalen Strom limitiert ist, können schnell taktende Maschinen im Bereich 60 Takte/min bis 600 Takte/min (1 Hz bis 10 Hz) mit Kapazitätserweiterungen ausgerüstet werden. Wobei im Maschinenbau die pendelnden Energiemengen bei extrem schnell taktenden Maschinen aufgrund der kleineren bewegten Massen glücklicherweise abnehmen, so dass der interne Kondensator der Servoverstärker bereits ausreicht. Typische Applikationen sind: Trommel-Querschneider, schnelle Exzenterhübe, zyklische Drehzahlablenkung bei großen Trägheitsmomenten, hochdynamische Linearmotoren mit schweren Lasten, usw.

Hinweis: Die Zwischenkreisklemmen an den Geräten, Zwischenkreis-Sicherungen und die Verkabelung ist entsprechend zu dimensionieren.

**Fall 2**

Zwischenspeicher

Brückengleichrichter

Hochsetzsteller

Nutzbare Energie:

Im Fall 2, liefert die Einspeisung die unregulierte Zwischenkreisspannung von 560 VDC. Im generatorischen Betrieb steigt die Zwischenkreisspannung an. Ab einer gewissen Schwelle von ca. 590 VDC entnimmt das aktive Kondensatormodul dem Zwischenkreis Energie. Sinkt die Zwischenkreisspannung unter den Schwellwert speist es diese Energiemenge zurück. Die nutzbare Energiemenge des aktiven Moduls mit den betrachteten Kondensatoren aus dem Beispiel ist:

$$E = 1/2 * C * [U_2^2 - U_1^2] = 1/2 * 40.000\mu\text{F} * [(420\text{V})^2 - (20\text{V})^2] = 3520 \text{Ws}$$

Aufladung, Einschaltvorgang:

Da das aktive Modul erst bei einer Zwischenkreisspannung >590VDC Energie entnimmt, wird der Ladevorgang der Servoregler nicht beeinflusst oder überlastet.

Zeitverhalten, Frequenz, Anwendungen:

Die Energieentnahme und Rückspeisung der aktiven Kondensator-Module sind durch den Maximalstrom ihrer Leistungselektronik begrenzt. Das heißt die Energiemenge pro Zeiteinheit = Leistung ist limitiert. Die maximale Aufnahme- und Abgabeleistung wird meist in [kW] angegeben. Es ist also immer zu prüfen, ob das Modul die anfallende Spitzenleistung aufnehmen kann. Typische Applikationen sind in Maschinen, die mit 1 Takt/min bis 60 Takte/min (0,02 Hz bis 1 Hz) takten, wie z.B.: Hubwerke mit Exzenter oder Kurbelmechaniken, Exzentercheren (Querschneider), Linearachsen mit hängenden Lasten (bis max. 2 m Hub).

Anmerkung:

Bei linearen Bremsrampen entsteht die größte Bremsleistung zu Beginn der Bremszeit, weil hier die Drehzahl/Geschwindigkeit noch hoch ist und der Energieinhalt quadratisch eingeht. Wählt man eine Bremsrampe mit quadratischer Überlagerung kann man die Bremsleistung über die gesamte Bremsdauer konstant halten. Eine Bremsrampe mit großem Verschleiß, hilft ebenfalls die Spitze der Bremsleistung zu Beginn der Rampe zu reduzieren. Löst der Verschleiß die Situation nur teilweise, wird der Ballastwiderstand kurzzeitig aktiv.

Fall 3

Zwischenspeicher

Aktiv-Front-End

Parallelschaltung

Im Fall 3, darf man sich durchaus die Frage stellen, ob es Sinn macht, ein rückspeisefähiges System (Activ-Front-End) mit einer Kondensatorbank auszustatten. Die Antwort ist einfach:

- Nein, wenn die pendelnde Leistung klein gegenüber der Durchgangsleistung der Rückspeiseeinheit ist.
- Ja, wenn die pendelnde Energiemenge so groß ist, dass nur eine sehr große und teure Rückspeiseeinheit die Aufgabenstellung lösen könnte.
- Ja, in Maschinen, die an einer Steckdose betrieben werden sollen und es auf möglichst kleine Einspeiseleistung ankommt.
- Ja, wenn die Bereitstellung der Anschlussleistung beim Endkunden teuer und aufwendig ist (Transformator, Sicherungen, Kabel).

**Nutzbare Energie:**

Aktiv-Front-End Geräte stellen meist einen geregelten Zwischenkreis zur Verfügung. Wenn die Zwischenkreis-Spannung konstant ist, können die Kondensatoren keine Energie aufnehmen oder abgeben!

Die Regelung der Zwischenkreisspannung muss daher so manipuliert werden, dass der notwendige Spannungshub an den Kondensatoren entsteht. Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder den Sollwert der Zwischenkreis-Spannungshöhe im Trajektorien-Generator in Abhängigkeit der Drehzahl, Trägheit und Kapazität der Kondensatoren so berechnen, dass die el. Energieänderung exakt der mechanischen Energieänderung entspricht (Abweichungen und Toleranzen werden über die Rückspeiseeinheit verschoben) oder die Regelung innerhalb des Zyklus zu unterbrechen, in der Art, dass während des Stillstands bzw. bei Hubachsen im Stillstand am unteren Totpunkt die Regelung aktiv ist und die Kapazitäten auf das obere Spannungsniveau z.B. 800 VDC geladen werden und während der restlichen Zykluszeit die Regelung aussetzt. Sollte während der deaktivierten Phase die Zwischenkreisspannung unter 560 VDC fallen, wird über die Freilaufdioden der Einspeise-Elektronik das untere Spannungsniveau 560 VDC gestützt.

Die nutzbare Energiemenge der betrachteten Kondensatoren aus dem Beispiel ist:

$$E = 1/2 * C * [U_2^2 - U_1^2] = 1/2 * 10.000\mu\text{F} * [(800\text{V})^2 - (560\text{V})^2] = 1632 \text{Ws}$$

Aufladung, Einschaltvorgang:

Einige Activ-Front-End Geräte haben zusätzliche Halbleiter um den Ladestrom der Kondensatoren zu begrenzen. Mit diesen Geräten lassen sich ebenfalls die Zusatzkondensatoren aufladen. Andere Geräte haben einen Ladewiderstand, der den Ladestrom begrenzt, solange die Zwischenkreisspannung < 560 VDC ist, was bei großen Zusatzkapazitäten zu thermischen Problemen führen kann. In beiden Fällen sollten mit dem Gerätehersteller die Lösungsmöglichkeiten besprochen werden.

Zeitverhalten, Frequenz, Anwendungen:

Da der Energieaustausch mit der externen Kapazität nicht durch einen maximalen Strom limitiert ist, können schnell taktende Maschinen im Bereich 30 Takte/min bis 120 Takte/min (0,5 Hz bis 2 Hz) mit Kapazitätserweiterungen ausgerüstet werden. Der Fall 3 macht nur bei großen bewegten Massen Sinn, die üblicherweise nicht so hohe Taktraten fahren. Typische Applikationen sind: Querschneider, Exzenterhübe, zyklische Drehzahlabenkung bei großen Trägheitsmomenten.



Fall 4

Zwischenspeicher

Aktiv-Front-End

Hochsetzsteller

Für den Fall 4, gelten die gleichen Vorüberlegungen wie für Fall 3.

Nutzbare Energie:

Die nutzbare Energiemenge des aktiven Moduls mit den betrachteten Kondensatoren aus dem Beispiel ist höher als im Fall 3:

$$E = 1/2 * C * [U_2^2 - U_1^2] = 1/2 * 40.000\mu\text{F} * [(420\text{V})^2 - (20\text{V})^2] = 3520 \text{Ws}$$

Vorsicht! Im Fall 4 könnten sich die Regelungen der Aktiv-Front-End und des aktiven Kondensator-Moduls gegenseitig stören. Hier liegen keine Erfahrungswerte vor. Die Steuerung / Manipulation des Sollwertes für die Zwischenkreisspannung kann bei Verwendung einer aktiven Kondensatorbank nicht angewendet werden, da die Energieentnahme / Rückspeisung des Moduls keiner mathematischen Funktion folgt. Hier kann nur die o.g. im Zyklus unterbrochene Regelung für das Aktiv-Front-End verwendet werden.

Aufladung, Einschaltvorgang:

Da das aktive Kondensator-Modul erst bei einer Zwischenkreisspannung >590VDC Energie entnimmt, wird der Ladevorgang der Aktiv-Front-End nicht beeinflusst oder überlastet.

Zeitverhalten, Frequenz, Anwendungen:

Hier liegen keine Erfahrungswerte vor.



3) Fall 5 - Fall 8: Netzausfall

Bei Netzausfall gibt es zwei verschiedene Ziele, die je nach Maschinentyp verfolgt werden:

1. Maschinen mit synchron- oder über CAM-gekoppelte Achsen die eingekoppelt im Verbund kollisionsfrei abgebremst und stillgesetzt werden müssen, z.B. Walzantriebe, die Bänder unter Spannung transportieren, Rundschalttische und ihre Stationen, uvm.
2. Maschinen die "Leer"-gefahren werden müssen, wie z.B. Backstraßen, Aggregate in Abfüllanlagen, Produktion von Kunststoff-Fäden usw.

Für die in 1.) genannten Maschinen kann nach dem Erkennen des Netzausfalls direkt eine Stopprampe eingeleitet werden, wodurch alle Achsen generatorisch werden und meist genügend Energie in den Zwischenkreis zurückgespeist wird um bis zum Stillstand fehlerfrei zu positionieren. Eine Kondensatorerweiterung ist meist **nicht** notwendig. Wenn keine USV die 24V Versorgung übernimmt, kann ein am Zwischenkreis angeschlossenes DC/DC Netzteil dies übernehmen. Beispiel: [PULS 600VDC \(-20%/+40%\) / 24VDC](#)

Für die in 2.) genannten Maschinen muss eine große Energiemenge für den Zwischenkreis bereit gestellt werden. Aktive Kondensatormodule können hier, falls sie ein Weitbereichs-DC/DC Netzteil integriert haben, auch 24VDC liefern.

Im weiteren Verlauf wird Bereitstellung der Energie bei Netzausfall für die in 2) genannten Maschinen behandelt:

Fall 5	Netzausfall	Brückengleichrichter	Parallelschaltung
---------------	-------------	----------------------	-------------------

Nutzbare Energie:

Im Fall 5, liefert die Einspeisung die unregelmäßige Gleichricht- bzw. Zwischenkreisspannung von 560 VDC. Die externen parallel-geschalteten Kondensatoren sind ebenfalls auf 560 VDC geladen. Theoretisch steht die Energiemenge von

$$E = 1/2 * C * U_1^2 = 1/2 * 10.000\mu F * (560V)^2 = 1568 \text{Ws}$$

zur Verfügung, da aber die Zwischenkreisspannung bei der Energieentnahme abfällt, ist nicht gewährleistet, dass alle Achsen ihre Drehzahl und Drehmoment halten können. Die Lösung macht technisch keinen Sinn!

Fall 6	Netzausfall	Brückengleichrichter	Hochsetzsteller
---------------	-------------	----------------------	-----------------

Nutzbare Energie:

Im Fall 6, liefert die Einspeisung die unregelmäßige Zwischenkreisspannung von 560 VDC. Das aktive Kondensatormodul ist ebenfalls geladen (z.B. 420 VDC) und speist bei Unterschreiten einer UZWK-Schwelle von z.B. 530VDC in den Zwischenkreis ein. Damit bleibt die Zwischenkreisspannung auf 530 VDC bis das aktive Kondensatormodul leer ist, Die nutzbare Energiemenge des aktiven Moduls mit den betrachteten Kondensatoren aus dem Beispiel ist:



$$E = 1/2 * C * [U_2^2 - U_1^2] = 1/2 * 40.000\mu\text{F} * [(420\text{V})^2 - (20\text{V})^2] = 3520 \text{Ws}$$

Aufladung, Einschaltvorgang:

Das aktive Modul startet seine Aufladung erst nach Ablauf einer Zeitverzögerung, so dass der Ladevorgang der Servoregler nicht beeinflusst oder überlastet wird. Zudem ist der Ladestrom des Kondensators durch die modulinterne Leistungselektronik begrenzt.

Fall 7	Netzausfall	Aktiv-Front-End	Parallelschaltung
---------------	-------------	-----------------	-------------------

Im Fall 7 besteht die gleiche Problematik wie im Fall 5. Die Lösung macht keinen Sinn.

Fall 8	Netzausfall	Aktiv-Front-End	Hochsetzsteller
---------------	-------------	-----------------	-----------------

Nutzbare Energie:

Im Fall 8, regelt die Einspeisung die Zwischenkreisspannung auf 750 VDC. Das aktive Kondensatormodul ist auf 420 VDC geladen und speist bei Netzausfall und Unterschreiten einer UZWK-Schwelle von z.B. 530 VDC in den Zwischenkreis ein. Damit bleibt die Zwischenkreisspannung auf 530 VDC bis das aktive Kondensatormodul leer ist.

Die nutzbare Energiemenge des aktiven Moduls mit den betrachteten Kondensatoren aus dem Beispiel ist:

$$E = 1/2 * C * [U_2^2 - U_1^2] = 1/2 * 40.000\mu\text{F} * [(420\text{V})^2 - (20\text{V})^2] = 3520 \text{Ws}$$

Aufladung, Einschaltvorgang:

Das aktive Modul startet seine Aufladung erst nach Ablauf einer Zeitverzögerung, so dass der Ladevorgang der Servoregler nicht beeinflusst oder überlastet wird. Zudem ist der Ladestrom des Kondensators durch die modulinterne Leistungselektronik begrenzt.



4) Entladung des Zwischenkreises und der Kondensatorbank

Abschließend sollen noch die Möglichkeiten zur raschen Entladung des Zwischenkreises und der Kondensatorbank angesprochen werden:

- Entladung über einen zusätzlichen Entlade-Widerstand dessen Zuschaltung im SPS-Programm bei eingeschaltetem Einspeise-Schutz verhindert und die Schütze zusätzlich durch Verdrahtung gegeneinander verriegelt werden sollten. Ob hier zwingend ein DC-Schutz zum Einsatz kommen muss, kann ich nicht sagen. Hier fehlt mir entsprechend Kenntnis.
- Die Entladung über die Ballastschaltung des Servoverstärkers oder der Einspeise-Einheit und dem sowieso vorhandenem Bremswiderstand macht mehr Sinn. Die Entladung kann hier in der Firmware gegenüber der Netzüberwachung verriegelt werden und kann die bereits vorgeprägte Auslastung des Ballastwiderstandes berücksichtigen. In Applikationen, in denen generatorische Energie zwischengespeichert wird, muss der Bremswiderstand in der Regel für die NOT-AUS-Rampe oder der SICHEREN-STOP-Rampe dimensioniert sein, dh. er kann die Energiemenge der bewegten Massen vernichten. Dann ist er auch in der Lage, die etwa gleiche Energiemenge in den geladenen Kondensatoren zu vernichten.

5) Lebensdauer der Kondensatoren

Die Lebensdauer der Kondensatoren ist erstaunlich hoch. Die Erfahrung hat gezeigt, dass sich in einer Anwendung zur Zwischenspeicherung generatorischer Energie mit passiven Kondensator-Erweiterungen der Spannungshub über eine Betriebsdauer von 10 Jahren kaum verändert, d.h. die Kapazität konstant bleibt und bisher noch kein Ausfall zu beklagen war.



Änderungsliste

Version	Änderung	Kapitel	Datum	Name	Bemerkung
Vo1.01FZ15	Urversion	1-6	10.06.2015	R. Fetzner	keine
Vo1.02FZ16	Korrektur	3	24.03.2016	R. Fetzner	keine