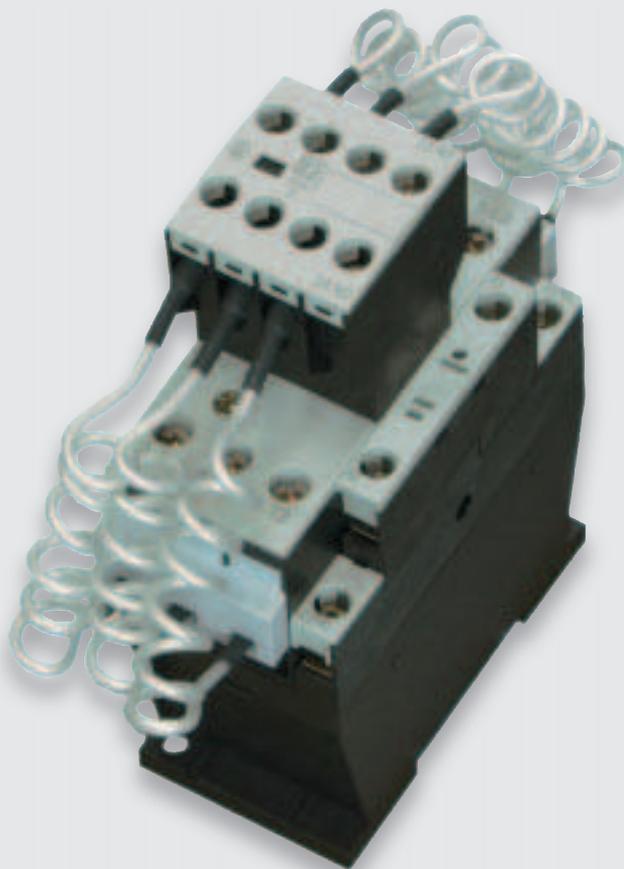


# Schaltgeräte für Blindstromkompensationsanlagen



Fachaufsatz  
Dipl.-Ing. Dirk Meyer

**EATON**

*Powering Business Worldwide*

**MOELLER** 

An Eaton Brand

## Schaltgeräte für Blindstromkompensationsanlagen

Bei der Kompensation ist zwischen verschiedenen Schaltungsarten bzw. Zuordnungen der Kondensatoren zu induktiven Verbrauchern zu unterscheiden.

Man unterscheidet zwischen der Einzelkompensation und der Zentralkompensation.

Bei der Einzelkompensation wird der Kondensator einem Verbraucher fest oder schaltbar zugeordnet.

Bei der Zentralkompensation wird der Leistungsfaktor einer Verbrauchergruppe mit schwankender Leistungskonfiguration ermittelt. Mehrere Kondensatoren werden in Stufen automatisch durch einen Blindleistungsregler zu- und abgeschaltet. Aufgabe beider Anwendungsarten ist die Verbesserung des Leistungsfaktors und damit die Reduzierung der Blindleistung.

In welchem Maß der Leistungsfaktor zu verbessern ist und wie im Einzelfall die wirtschaftlichen Auswirkungen durch eine günstigere Tarifgestaltung sind, ist mit den Tarifberatern des zuständigen Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmens (EVU) zu klären.

In diesem Aufsatz werden die Schaltgeräte betrachtet. Die Beanspruchungen für die Schütze und auch für die Kondensatoren unterscheiden sich bei der

Einzelkompensation und bei der Zentralkompensation. Beide Beanspruchungsarten werden nachfolgend beschrieben.

Besondere Bedeutung haben die Schaltungs- und Beanspruchungsunterschiede durch neue Technologien bei der Kondensatorherstellung erhalten.

Durch neue Materialien und Herstellungsverfahren sind in den letzten Jahren die induktiven Innenwiderstände der Kondensatoren geringer geworden. Durch die jetzt geringeren Impedanzen, die den Strom des hochfrequenten Einschwingvorgangs beim Einschalten geringer begrenzen, sind die Einschaltspitzenströme stark gestiegen.

### Einzelkompensation

Bei der Einzelkompensation zieht der Kondensator seinen Ladestrom aus dem Netz. Um auch die Leitungen von der Blindleistung zu entlasten, wird bei dieser Schaltung der Kondensator räumlich möglichst nahe beim Betriebsmittel angeordnet. Bei diesem Anwendungsfall ist das Schütz in der Regel nicht trafo-nah – z.B. im Hauptverteiler – angeordnet, sondern in einem Unterverteiler.

Nach Bild 1 sind auf dem Stromweg vom MS-Trafo bis zum Kondensator zahlreiche Einzelimpedanzen vorhanden, die

### Dipl.-Ing. Dirk Meyer

Produktsupport elektromechanische Motorstarter

Geschäftsbereich Leistungsschalter, Motorstarter und Drives  
Eaton Industries GmbH, Bonn

aufaddiert bewirken, dass die Einschaltspitzenströme in der Regel  $< 30 \times I_N$  des Kondensators bleiben. Damit bleiben die Einschaltspitzenströme, die für wenige Millisekunden beim Einschalten fließen, im Rahmen des Einschaltvermögens der normalen Motorschütze DIL M.... Normalerweise werden bei der Einzelkompensation die Kondensatoren zum Verbraucher direkt parallel geschaltet. Das bedeutet, dass der Kondensator mit dem gleichen Schütz wie der Motor geschaltet wird.

Entsprechend Bild 2 ist der Motorschutz unterschiedlich einzustellen, je nachdem, ob der Kondensator vor oder hinter dem Motorschutzrelais angeschlossen ist, ob also der Blindstrom über den thermischen Auslöser fließt oder nicht.

Aus Sicht der Beanspruchung des Schützes können bei der Einzelkompensation normale Leistungsschütze DIL M... verwendet werden.

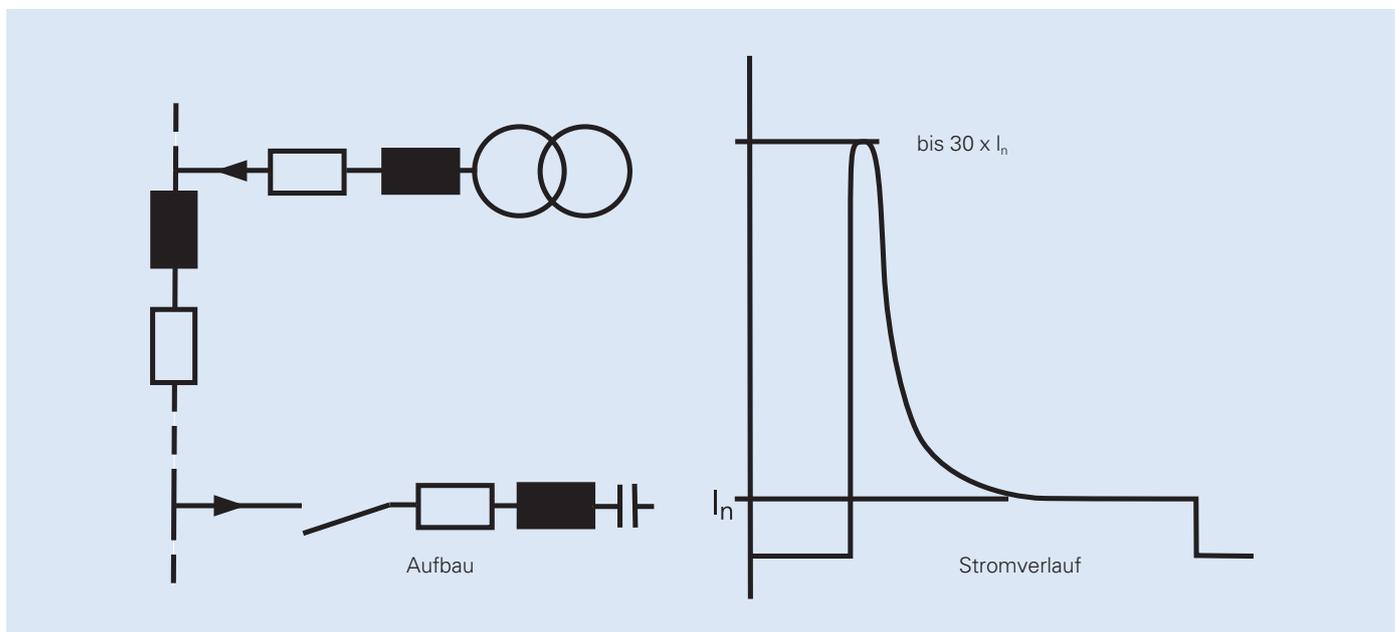
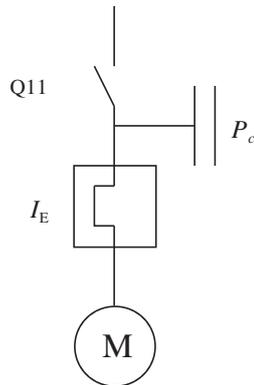


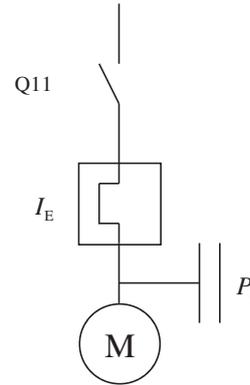
Bild 1

## Kondensator angeschlossen

an den Schützklemmen



an den Motorklemmen



## Einstellung des Motorschutzrelais

$$I_E = I_N$$

$$I_E = \sqrt{I_W^2 + (I_B - I_C)^2}$$

### Hinweise

Kondensator entlastet Leitung vom Schütz zum Motor nicht

Kondensator entlastet Leitung vom Schütz zum Motor, übliche Anordnung

$I_N$	= Motornennstrom	[A]
$I_W$	= Wirkstrom des Motors	[A]
$I_B$	= Blindstrom des Motors	[A]
$I_C$	= Kondensatorstrom	[A]
$I_E$	= Einstellstrom des Schutzrelais	[A]
$\cos \varphi$	= Leistungsfaktor des Motors	
$U_N$	= Nennspannung	[V]
$P_C$	= Kondensatornennleistung	[kvar]
$C$	= Kapazität des Kondensators	[ $\mu$ F]

$$I_W = I_N \times \cos \varphi$$

$$I_B = \sqrt{I_N^2 - I_W^2}$$

$$I_C = \sqrt{3} \times U_N \times 2\pi f \times C \times 10^{-6}$$

$$I_C = \frac{P_C \times 10^3}{\sqrt{3} \times U_N}$$

Bild 2

### Zentralkompensation

Bei der Zentralkompensation erfolgt die räumliche Anordnung der Schütze und Kondensatoren in den meisten Fällen in der Nähe des NS-Transformators, z.B. im Niederspannungshauptverteiler. An dieser Stelle ist zu beachten, dass die Betriebsspannung und ebenfalls die Kurzschlussleistung im Fehlerfall höher sind.

Die höhere Spannung wurde von den Kondensatorherstellern durch die höhere Nennbetriebsspannung der Kondensatoren berücksichtigt. Auf diese Spannungen

gen sind auch die Leistungsangaben der Schütze zum Schalten von Kondensatoren bezogen.

Bei der Zentralkompensation wird der Ladestrom der Kondensatoren nun nicht mehr nur über den impedanzbehafteten Weg aus dem Netz, sondern auch impedanzarm von den benachbarten, bereits geladenen Kondensatoren gespeist. Damit liegen nun die Einschaltspitzenströme in der Größenordnung  $> 150 \times I_N$ .

Damit ist das Einschaltvermögen normaler Motorschütze überschritten.

Physikalisch gesehen lösen die hohen, nadelförmigen Stromspitzen aus dem Kontaktmaterial die Legierungsbestandteile heraus, die das Verschweißen verhindern. Es bleibt nach wenigen hundert Schaltungen das reine Silber übrig und die Kontakte verschweißen. Hier werden besondere Geräte oder entsprechende Maßnahmen erforderlich.

### a) Spezial-Kondensatorschütze DILK...

Diese Kondensatorschütze sind aus den Leistungsschützen DILM... entwickelt worden und passen in Bezug auf Handhabung und Zusatzausrüstung vollkommen zu dem Produktsystem xStart. Diese Schütze beinhalten neben einem speziellen, verschweißsicheren Kontaktmaterial Vorwiderstände. Über einen voreilenden Spezialhilfsschalter und die Vorwiderstände werden die Kondensatoren vorgeladen. Danach schließen die Hauptkontakte und führen den Dauerstrom.

### b) Verdrosselung der Kompensationsstufen

Durch den immer höher werdenden Anteil an „nicht-linearen Verbrauchern“ (z.B. Leistungselektronik, Schaltnetzteile ...) steigt im Netz der Anteil der Oberschwingungen. Dies kann u.U. zur thermischen Überlastung der Kondensatoren führen, da die Resonanzfrequenz des aus Netzinduktivität und Kompensationskapazität gebildeten Schwingkreises in der Höhe der Frequenz einer Oberschwingung liegen kann. Bei geregelten Kompensationsanlagen können, je nach Größe und Anzahl der Stufen, viele Resonanzfrequenzen durchlaufen werden.

Um Schäden zu vermeiden, werden deshalb Kompensationsanlagen Drosseln vorgeschaltet. Weiterhin verhindern die Drosseln, dass die Rundsteueranlagen der EVUs gestört werden, und sind des-

halb in den technischen Abschlussbedingungen (TAB) häufig vorgeschrieben.

Verdrosselte Kompensationsanlagen

- kompensieren Blindleistung
- saugen unerwünschte Oberschwingungen aus dem Betriebsnetz
- vermeiden Resonanzerscheinungen mit den Oberschwingungen
- sind auch für Netze mit Rundsteueranlagen geeignet

Verdrosselte Anlagen haben auch noch einen weiteren Vorteil:

Die Einschaltstromspitze beim Einschalten einer Kondensatorstufe wird erheblich gedämpft. Somit können zum Schalten der verdrosselten Kompensationsstufen normale Leistungsschütze DIL M... zum Einsatz kommen. Dasselbe gilt auch bei unverdrosselten Anlagen, wenn zwischen Schütz und Kondensator eine Zusatzinduktivität  $> 5 \mu\text{H}$  eingefügt wird (das entspricht einer Luftspule mit 4 Windungen und einem Durchmesser von 14 cm). Die verwendeten Leistungsschütze müssen allerdings richtig dimensioniert werden. So sollte das Schütz nach EN 60931-1 den 1,5fachen Kondensatorbetriebsstrom dauerhaft führen können. Damit kann man die maximale Kondensatornennleistung einer verdrosselten Kondensatorbatterie, die ein Leistungsschütz schalten soll, nach [kvar] bestimmen.

$$P_C = \sqrt{3} U_N \times 0,66 \times I_{AC-1} \times 10^{-3}$$

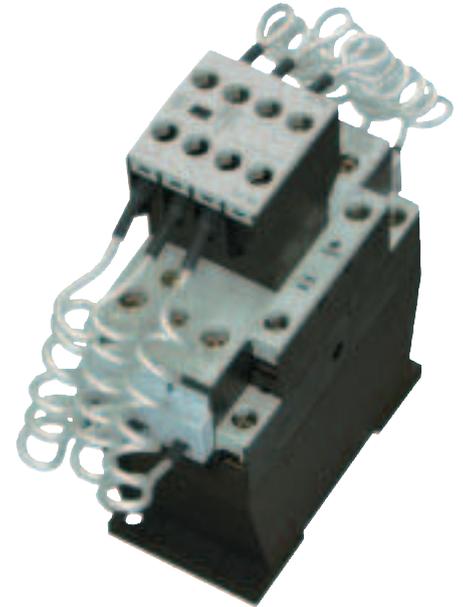


Bild 4

### c) Schaltungsmaßnahmen bei der Schützensteuerung

Wenn man die Schaltvorgänge einer Kondensatorbatterie beobachtet, sieht man, dass oft mehrere Schütze ständig eingeschaltet bleiben und einige wenige die Regelaufgabe übernehmen. Es ist also für die Lebensdauer der Schütze günstiger, dafür zu sorgen, dass die Anzahl der Schaltungen gleichmäßig auf alle Schütze einer Kompensationsanlage verteilt wird. Verschiedene Hersteller von Blindleistungsreglern bieten zu diesem Zweck so genannte Ringregler an, die die Schaltfolge der Schütze zyklisch vertauschen.

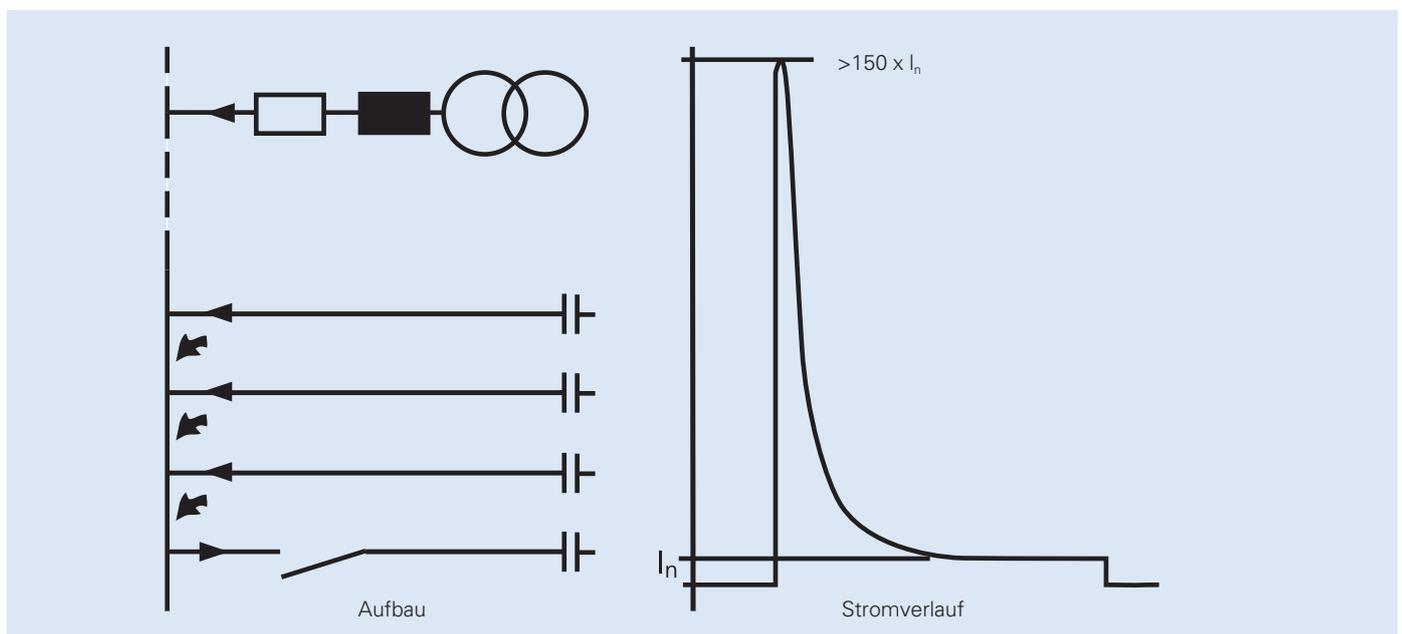


Bild 3

## Projektierungshinweise

Leistungsschütze für Blindleistungskompensation

Typ	230V kvar	400V 420V 440V kvar	525V kvar	690V kvar
<b>Einzelkompensation</b>				
DILM7	1.5	3	3.5	5
DILM9	2	4	4.5	6
DILM12	2.5	4.5	5.5	7
DILM15	2.5	4.5	5.5	7
DILM17	6.5	12	14.5	19
DILM25	7	13.5	16	21
DILM32	7.5	14.5	17	22.5
DILM40	11	20.5	24.5	32
DILM50	11.5	22	26	34.5
DILM65	12.5	23.5	28	37
DILM80	16	30.5	36.5	48
DILM95	18	34	41	54
DILM115	24	46	54.5	72
DILM150	28	53	63.5	83.5
DILM185	87	150	190	150
DILM300	115	200	265	200
DILM580	175	300	400	300
<b>Zentralkompensation, verdrosselt</b>				
DILM7	4	7	7.5	12
DILM9	5	8	10	14
DILM12	5.5	10	12	16
DILM15	5.5	10	12	16
DILM17	7.5	16	20	28
DILM25	9	18	23	30
DILM32	10	20	24	32
DILM40	13	25	30	40
DILM50	16	30	36	48
DILM65	19	36	43	57
DILM80	30	58	68	90
DILM95	34	66	79	104
DILM115	44	80	100	125
DILM150	50	97	115	152
DILM185	80	150	200	260
DILM225	100	175	230	300
DILM250	110	190	260	340
DILM300	130	225	290	390
DILM400	160	280	370	480
DILM500	220	390	500	680
<b>Zentralkompensation, unverdrosselt</b>				
DILK12	7.5	12.5	16.7	20
DILK20	11	20	25	33.3
DILK25	15	25	33.3	40
DILK33	20	33.3	40	55
DILK50	25	50	65	85
DILM185	66	115	145	115
DILM300	85	150	195	150
DILM580	145	250	333	250

**Eaton Electric GmbH**  
**Kunden-Service-Center**  
**Postfach 1880**  
**53105 Bonn**

**Auftragsbearbeitung**

Kaufmännische Abwicklung  
Direktbezug  
Tel. 0228 602-3702  
Fax 0228 602-69402  
E-Mail: Bestellungen-Bonn@eaton.com

Kaufmännische Abwicklung  
Elektrogroßhandel  
Tel. 0228 602-3701  
Fax 0228 602-69401  
E-Mail: Bestellungen-Handel-Bonn@eaton.com

**Technik**

Technische Auskünfte / Produktberatung  
Tel. 0228 602-3704  
Fax 0228 602-69404  
E-Mail: Technik-Bonn@eaton.com

Anfragen / Angebotserstellung  
Tel. 0228 602-3703  
Fax 0228 602-69403  
E-Mail: Anfragen-Bonn@eaton.com

Qualitätssicherung / Reklamationen  
Tel. 0228 602-3705  
Fax 0228 602-69405  
E-Mail: Qualitaetssicherung-Bonn@eaton.com

**Zentrale**

Tel. 0228 602-5600  
Fax 0228 602-5601

**Schweiz**  
**Internet: [www.moeller.ch](http://www.moeller.ch)**

**Lausanne**

Eaton Industries II Sarl  
Chemin du Vallon 26  
1030 Bussigny  
Tel. +41 58 458 14 68  
Fax +41 58 458 14 69  
E-Mail: lausanneswitzerland@eaton.com

**Zürich**

Eaton Industries II GmbH  
Im Langhag 14  
8307 Effretikon  
Tel. +41 58 458 14 14  
Fax +41 58 458 14 88  
E-Mail: effretikonswitzerland@eaton.com

**Österreich**

**Internet: [www.moeller.at](http://www.moeller.at) / [www.eaton.com](http://www.eaton.com)**

**Wien**

Eaton GmbH  
Scheydgasse 42  
1215 Wien, Austria  
Tel. +43 (0)50868-0  
Fax: +43 (0)50868-3500  
Email: InfoAustria@Eaton.com

**After Sales Service**

Eaton Industries GmbH  
Hein-Moeller-Straße 7-11  
53115 Bonn  
Tel. +49 (0) 228 602-3640  
Fax +49 (0) 228 602-1789  
Hotline +49 (0) 1805 223822  
E-Mail: AfterSalesEGBonn@Eaton.com  
[www.moeller.net/aftersales](http://www.moeller.net/aftersales)

**Eaton Corporation**

Eaton ist ein führendes Energiemanagement-Unternehmen. Weltweit ist Eaton mit Produkten, Systemen und Dienstleistungen in den Bereichen Electrical, Hydraulics, Aerospace, Truck und Automotive tätig.

**Eatons Electrical Sector**

Eatons Electrical Sector ist weltweit führend bei Produkten, Systemen und Dienstleistungen zu Energieverteilung, sicherer Stromversorgung und Automatisierung in der Industrie, in Wohn- und Zweckbauten, öffentlichen Einrichtungen, bei Energieversorgern, im Handel und bei OEMs.

Zu Eatons Electrical Sector gehören die Marken Cutler-Hammer®, Moeller®, Micro Innovation, Powerware®, Holec®, MEM® und Santak®.

**[www.eaton.com](http://www.eaton.com)**

**E-Mail: [info-bonn@eaton.com](mailto:info-bonn@eaton.com)**  
**Internet: [www.eaton.com/moellerproducts](http://www.eaton.com/moellerproducts)**  
**[www.eaton.com](http://www.eaton.com)**

Herausgeber:  
Eaton Corporation  
Electrical Sector – EMEA

Eaton Industries GmbH  
Hein-Moeller-Str. 7-11  
D-53115 Bonn

© 2004 by Eaton Industries GmbH  
Änderungen vorbehalten  
VER2100-934D ip 11/10  
Printed in Germany (11/10)  
Artikelnr.: 281534

