

# Fasfaktor Kompensering



**GUIDEN**

<b>Generellt om fasfaktorkompensering och elektriska installationer</b>	2
■ Varför är faskompensering nödvändig?	3
■ Vad är övertoner?	4
■ Påverkan från övertoner vid faskompensering samt filter	6
■ Påverkan av resonanser	7
■ Uppskattning av parallell resistans	8
■ Vad är fasvriden effekt?	10
<b>Faskompenseringstekniken</b>	11
■ Säkerhetskapacitans	12
■ Välj rätt korrigeringstyp	13
■ Var ska kompenseringen installeras	14
■ Variabelt kondensatorbatteri	15
■ Installation av variabelt kondensatorbatteri	16
■ Installation av strömtransformatorer	17
<b>Dimensionering av faskompenseringsutrustning</b>	18
■ 3 steg för att definiera din effektfaktorkompensering	19
■ Definiering av k-faktor	20
■ Dimensionering med hjälp av riktiga mätningar av övertonshalten	21
<b>Applikationer effektfaktorkompensering</b>	23
■ Kompensering av asynkrona elmotorer och transformatorer	24
<b>Kompensering och dämpning av övertoner</b>	27
■ Filter och teknologi	28
■ Var ska filtret installeras	29
■ Enerdis produkter	31

# Generellt

om Fas-

kompensering

och elektriska installationer

# VARFÖR ÄR FASKOMPENSERING NÖDVÄNDIG?

Elektrisk utrustning konsumerar reaktiv effekt för att generera elektromagnetiska fält (elmotorer, transformatorer, ballaster till lampor, mm.).

Att kompensera reaktiv effekt betyder att installation av en kapacitans, ett kondensatorbatteri, i installationen görs som en källa för reaktiv effekt  $Q_c$ .

## Vilket ger en mängd fördelar:

- **rätt dimensionerat** nätverk för att mindre effekt går åt
- **ökad aktiv effekt** på sekundärsidan på transformatorn
- **minskat spänningsfall** samt mindre linjeförluster
- **sparar pengar** minskar den reaktiva effekten i anläggningen
- **betalar sig på i genomsnitt 18 månader**

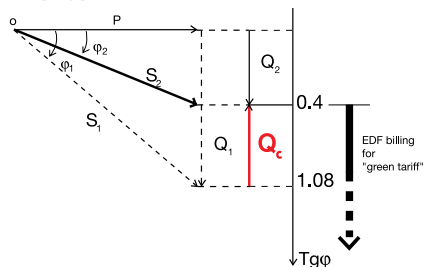
Faskompenseringen installeras så nära lasten som möjligt, för att höja effektfaktorn ( $\cos \varphi$ ).

## Sammanfattning

När en energileverantör levererar reaktiv effekt, lastas linjen samt transformatorn i onödan. I några länder används även olika tariffer, för vilka effektfaktorkompensering kan installeras, detta exempel gäller Frankrike:

- Gul tariff med S mellan 36 och 252 kVA): reaktiv effekt faktureras inte men hög konsumtion av reaktiv effekt från maskiner resulterar i ett dåligt  $\cos \varphi$  värde vilket leder till en hög skenbar effekt, detta kan innebära att nätet överskrider kapacitansen på nätet.
- Grön tariff ( $S > 252$  kVA), reaktiv effekt faktureras under normaltid samt toptider, över följande gränsvärden:
  - ▶  $\tan \varphi > 0,40$  ger  $\cos \varphi < 0,928$  på transformatorns primärsida
  - ▶  $\tan \varphi > 0,31$  ger  $\cos \varphi < 0,955$  på transformatorns sekundärsida

## Effekter



$P$  = Aktiv effekt

$Q_1$  = Reaktiv effekt utan effektfaktor kompensering

$S_1$  = Skenbareffekt innan effektfaktor kompensering

$\varphi_1$  = Fasvridding utan kompensering

$Q_2$  = Reaktiv effekt med effektfaktor kompensering

$S_2$  = Skenbar effekt efter effektfaktor kompensering

$\varphi_2$  = Fasvridding med kompensering

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P (Tg\varphi_1 - Tg\varphi_2)$$

$$= P \times K$$

## Exempel

### Före

En installation med:

- ▶ en 630 kVA transformator
- ▶ 500 kW aktiv effekt
- ▶ effektfaktorn 0,75

### Efter

- ▶ Med en 275 kVAr kapacitans

### Får vi:

- ▶ 21 % minskning av den skenbara effekten
- ▶ 16 % ökning i förhållande till märkeffekten på transformatorn
- ▶ 38 % minskning av joule förluster (av 3 % transformatorförluster)
- ▶ 2,6 % minskat spänningsfall

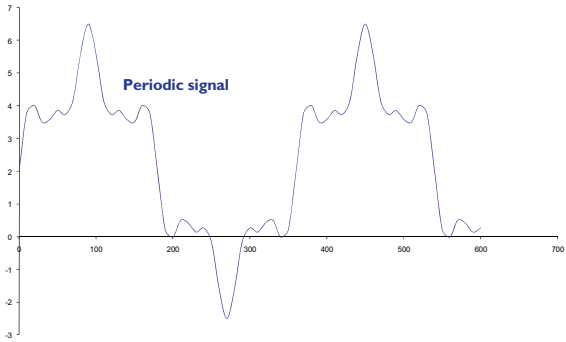
# VAD ÄR ÖVERTONER?

Olinjära laster (likriktare, frekvensstyrningar, ljusbågsvakter, invertrar, switchade aggregat mm.) genererar icke-sinus strömmar. Dessa strömmar skapas av 50 Hz eller 60 Hz (beroende på land) grundton samt en mängd överlagrade strömmar som kallas övertoner (samt även med en D-komponent i vissa fall) med frekvenser som är multiplar till grundtonen.

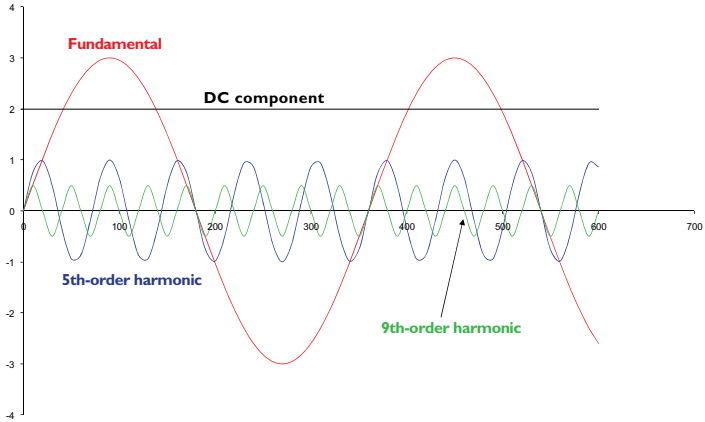
Resultatet är en distorsion på spänningen och strömmen som ger en serie av relaterade sekundära effekter. För att kunna mäta övertoner måste en mängd parametrar kännas till;

$$\beta_{\text{eff}} = \beta_o + \sqrt{\beta_1^2 + \sum_{h=2}^n \beta_h^2}$$

$\Sigma$  = Sum of all the harmonic signals from the 2nd order through to the last order (50 Hz or 60 Hz x n).



Fourier vågform



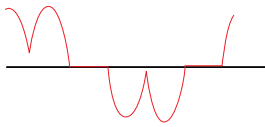
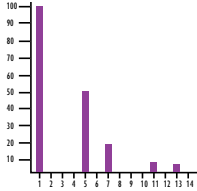
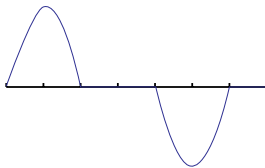
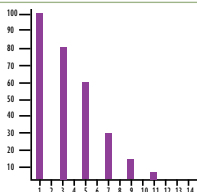
Eftersom vårt elnät har 50 Hz, så är det grundtonen ( $f_1$ ).

## Övertonsordning (n)

Övertoner är en komponent vars frekvens ( $f_n$ ) är en multipel av grundtonen ( $f_1 = 50$  Hz).

$$f_n = n \times f_1$$

Dessa övertoner orsakar distorsion på sinus vågformen. Tabellen nedan identifierar de vanligaste övertonerna i ett elektrisk nätverk som har olinjära laster.

Typ av last	Vågform	Övertonsspektra för olinjär last
3-fas omvandlare: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ frekvensstyrningar</li> <li>▶ UPS-enheter</li> <li>▶ likriktare</li> </ul>		
1-fas omvandlare: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ frekvensstyrningar</li> <li>▶ urladdningslampor</li> <li>▶ invertrar</li> </ul>		

Den tredje övertonen är den vanligaste och består av 1-fas diodlikriktare med kapacitiv filtrering. Balanserade 3-fas laster utan anslutning till nollan som är symmetrisk men olinjär, genererar inte någon tredje eller någon trippel överton (överton nr 3).

Balanserade 3-fas laster med anslutning till nollan som är symmetrisk men olinjär orsakar inte heller någon tredje överton, eller någon trippel överton i ledaren.

RMS-värdet på nollans ström, kan vara större än värdet på fasströmmen.

Därför måste nollans ledare väljas med dubbelt så stor area som den på fasledaren.

Andra lösningar kan göras, med reaktanser, eller filter för den tredje övertonen.

## Total övertonshalt

När sinussignalen är distorerad, måste den distorsionen kunna kvantifieras med följande formel nedan:

### Individuell THD

$A_1$  = RMS värdet av grundtonen  
 $A_n$  = RMS värdet av överton ordningen  
 RMS värden kan både vara ström och spänning

$$\overline{G_n}(\%) = \frac{A_n}{A_1} \times 100$$

### Total THD

$$THD-U(\%) = \sqrt{\sum_{n=2}^n U_n^2} \times 100 \quad THD-I(\%) = \sqrt{\sum_{n=2}^n I_n^2} \times 100$$

Exempel	I U	Grundton	5:e	7:e	11:e	13:e	THD (%)
		327 A 440 V	224 A 20 V	159 A 17 V	33.17 A 6 V	9 A 2 V	84,66 % 6,75 %

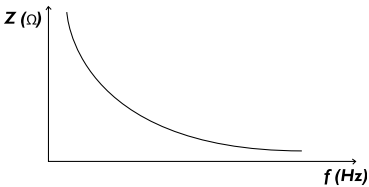
# HUR ÖVERTONER OCH EFFEKTFAKTORN PÅVERKAS AV ETT FILTER

När övertoner finns på grundsignalen, orsakas:

- förtida åldrande på kondensatorn
- elektrisk resonans
- uppvärmning av elmotorer
- jordfelsbrytare löser ut
- störningar på elektrisk utrustning (kontrollsystem, datorhallar)
- effektfaktorn (PF) minskas

## Huvudorsaker och lösningar

### Eventuella effekter på kapacitansen



$$Z_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C 2\pi f}$$

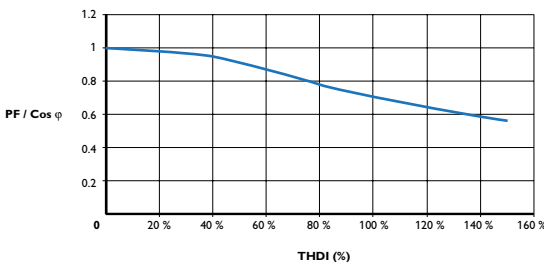
Denna kurva visar att en kapacitans impedans minskar med frekvensen. **Detta ger en ökning av strömmen genom kapacitansen, vilket leder till värmeförluster samt kortare livslängd.**

Huvudorsaker och lösningar:

- en överspänning med 1,1  $U_n$  (max. längd  
 $U_n = 400$  V (standard kapacitans)  
 $U_n = 440$  V eller  $500$  V (kraftigare kapacitans)
- en permanent överström med 1,3  $I_n$  vid 50 Hz

Dessa kapacitanser gäller enligt standard **IEC 831**.

## Influens av THD-I för förhållandet till PF/Cos $\varphi$



Variation av  $\frac{PF}{\cos \varphi}$  enligt

**THD-I**

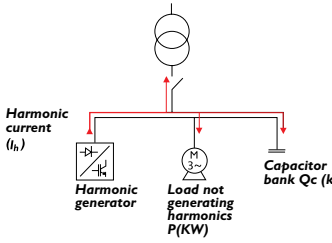
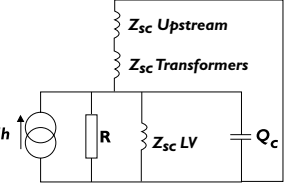
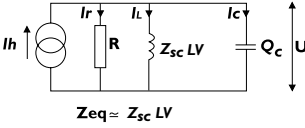
där **THD-U = 0 %**

$$PF \approx \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + \text{THD-I}^2}}$$

# EFFEKTER AV RESONANS

När en kapacitans installeras i en elektrisk installation, kan det bli förstärkning av de existerande övertonererna. Alltså att både spänning och strömövertonererna förstärks. Denna förstärkning beror på elektrisk resonans mellan kapacitansen samt linjen och källans induktanser.

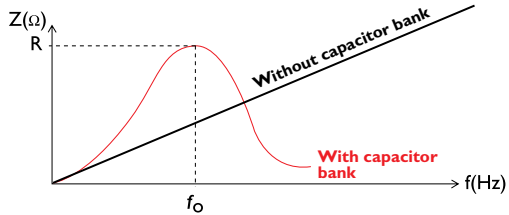
För att förstå dessa problem kan vi studera en typisk installation. Detta enkla linjediagram nedan, gjorda som en ekvivalent elektrisk krets, kan användas för att studera effekterna av förstärkningen på tre typer av utrustning: övertongsgenererare, utrustning som inte genererar störningar på elektriska installationer och kapacitanser.

 <p>Harmonic current (<math>I_h</math>)</p> <p>Harmonic generator</p> <p>Load not generating harmonics P(KW)</p> <p>Capacitor bank <math>Q_c</math> (k)</p> <p>Tre-fas diagram</p>	 <p><math>Z_{sc}</math> Upstream</p> <p><math>Z_{sc}</math> Transformers</p> <p><math>I_h</math></p> <p>R</p> <p><math>Z_{sc}</math> LV</p> <p><math>Q_c</math></p> <p>Ekvivalent diagram på en 1-fas modell med övertongsgenererare</p>	 <p><math>I_h</math></p> <p><math>I_r</math></p> <p>R</p> <p><math>I_L</math></p> <p><math>Z_{sc}</math> LV</p> <p><math>I_C</math></p> <p><math>Q_c</math></p> <p><math>U</math></p> <p><math>Z_{eq} \approx Z_{sc}</math> LV</p> <p>Diagram som en parallell krets med en enkel induktans ekvivalent med alla andra induktanser i kretsen.</p>
--	---	--

Då kan impedansen definieras i installationen med:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Förstärkningen kan ses genom att observera grafen med systemets egenimpedans, som en funktion av frekvensen. Den visar värdet jämfört med det initiala värdet på nätverket utan kapacitans.

Vid resonansen  $F_0$ , har alla strömövertoner  $I_0$  i ordningen genererats av kretsen därför att distorsionen strömmar in i resistansen R, vilket betyder att all denna ström absorberas av laster som konsumerar aktiv effekt.

**Den direkta konsekvensen av denna resonans är en ökning av övertonsspänningar och strömmar**



# BERÄKNING AV PARALLEL RESONANS

De uppkomna resonanserna beror på:

- Övertonsfrekvens, ordning ( $f_n$ ) vid vilken systemet får resonans

$$f_n = f_1 \times \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}}$$

$S_{sc}$  : kortslutningseffekten på transformatorn

$Q_c$  : reaktiv effekt på kapacitansen

$f_n$  : frekvens på övertonen i vilket systemet får resonans

$f_1$  : grundtonen (50 Hz)

Högre kortslutningseffekt ( $S_{sc}$ ), ger högre resonansfrekvens.

- Som med övertoner vid resonansfrekvensen
- Var de andra lasterna i nätverket förbrukar (den aktiva förbrukade effekten)

Om de första 2 kriterierna är uppfyllda, är det att beräkna övertonernas förstärkning faktor  $F_a$ .

$$F_a = \frac{\sqrt{S_{sc} \times Q_c}}{P}$$

$S_{sc}$  : kortslutningseffekten på transformatorn

$Q_c$  : reaktiv effekt på kapacitansen

$P$  : aktiv effekt på förbrukare som inte genererar övertoner

Övertonegens förstärkningsfaktor kan dämpas genom att använda fler förbrukare som inte genererar övertoner.

## ENERDIS lösningar

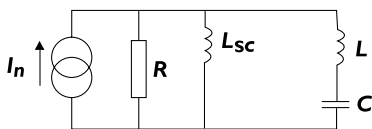
På installationer, kan resonans strömövertoner vara intensiva, vilket är en risk för kapacitansen. ENERDIS har lösningar beroende på nivå av störningar:

- Standard 400V kapacitanser och förstärkta 440V eller 500V kapacitanser rekommenderas för installationer med låga eller medelstora störningar.
- Kapacitanser med en anti-övertons induktivkrets för kraftigt störda installationer.

## Skydda kapacitanser med anti-övertons induktiva kretsar

Om det är mycket övertons överlast, ger ENERDIS batterikondensatorer med anti-övertons induktiva kretsar extra skydd.

I föregående stycke, såg vi att kapacitanser och induktanser på elektriska installationer genererar resonanser. Här nedan finns ett ekvivalent system ritat:



- Parallell resonansfrekvens känd som anti-resonans frekvens

$$f_{ar} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_{sc} + L)C}}$$

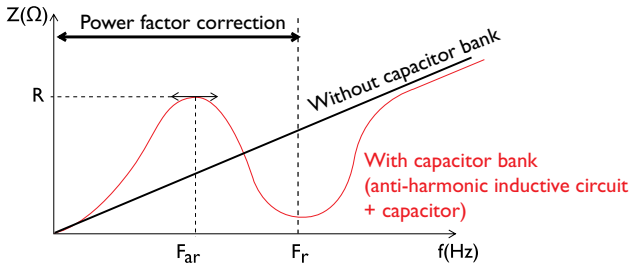
- Serie resonansfrekvens för LC

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Induktansen från denna övertonsinduktiva krets (L) måste beräknas så att resonansfrekvens inte finns i den elektriska installationen. Detta är en fördel för att minska risken för höga strömövertoner i kapacitansen (ökning av impedansen på kapacitansen i förhållande till övertonerna.)

Valet av anti-resonans frekvens ( $f_{ar}$ ) beror på nätverkets kortslutningsimpedans ( $L_{sc}$ ) samt på kretsen L-C, där seriefrekvensen ( $f_r$ ) endast beror på L och C.

I grafen nedan visas impedansen som en funktion av frekvensen.



För en frekvens mindre än  $f_r$ , ger det att den anti-övertons induktiva kretsen samt kapacitansen fungerar som en kapacitans vilket medgör reaktiv effekt-korrigerig.

För en frekvens högre än  $f_r$ , ger det att den anti-övertons induktiva kretsen samt kapacitansen fungerar som en induktans och skyddar mot förstärkning av övertoner.

Serie-frekvensen ( $f_r$ ) kommer att vara den första övertonen i kretsen. Med denna lösning försvinner resonansen utanför spektrat av strömövertoner. ENERDIS har valt frekvensen  $f_r = 210 \text{ Hz}$  (nummer 4,03).

### VIKTIGT

Undvik att sätta upp anti-övertons induktanser med ett montage parallellt. Detta kommer att ge parallella resonanser vilket förstärker existerande övertoner i kretsen samt i skåp utan anti-övertons induktanser.

### Exempel på beräkning

$$\text{Transformator (S)} = 630 \text{ kVA} \cdot U_{sc} = 6 \% \cdot P = 500 \text{ kW} \cdot Q_c = 275 \text{ kVAr}$$

Kortslutningseffekten blir:

$$S_{sc} = \frac{S}{U_{sc}} \times 100 = \frac{630}{6} \times 100$$

$$S_{sc} = 10\,500 \text{ kVA}$$

Resonanseffekten blir då:

$$f_n = 50 \times \sqrt{\frac{10\,500}{275}} \approx 308.96 \text{ Hz}$$

Systemet får resonans vid överton **6,18**

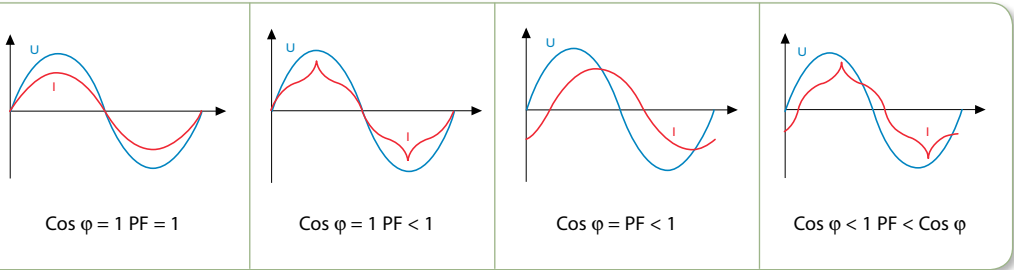
$$F_d = \frac{\sqrt{10\,500 \times 275}}{500} = 3.39$$

Förstärkningen av övertonen blir:

# VAD ÄR OLINJÄR LAST?

Vid mätning av elektriska storheter, kan du mäta en reaktiv effekt med eller utan övertoner: Denna mätning påverkar effektfaktorn. Glöm inte att i icke-sinusformade system är en skillnad mellan effektfaktorn (PF) samt effektfaktorn (DPF eller  $\text{Cos } \varphi$ ).

**När det finns övertoner är det viktigt att inte blanda ihop dessa två termer vilka inte är lika när ström eller spänning inte är sinusformad.**



Det går att kvantifiera effekter som är genererade av övertoner. Detta effektvärde heter (**D**) och är länkad till distorserad ström. Storheten är (VAd); Denna effekt har en omedelbar effekt på vågformen samt på THD på strömmen. Effektfaktor korrigeringsutrustning är i dessa fall inte en lösning därför att de endast påverkar DPF. Korrigerig av reaktiva effekter genererade av övertoner med sån utrustning, gör att de utsätts för problem. Övertonerna kommer visserligen att visas, vilket innebär att det inte kompenseras i rätt tid.

För att minska strömövertoner måste filterutrustning installeras. Om ett passivt filter används, kommer det att kortsluta övertonen. Om ett aktivt filter används kommer en ström från andra hållet sändas för att eliminera övertonen. Innan installation av filterutrustning, måste en noggrann analys göras så att filter med rätt strömstyrka används.

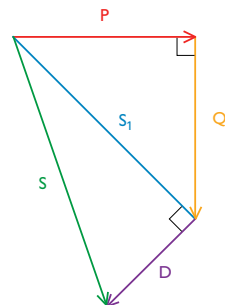
För passiva filter är induktansen helt annorlunda. Från anti-övertons induktanser monterade i effektfaktor korrigeringsutrustningar vilken inte är inställd för en av övertonerna. Vars syfte är att användas för effektfaktor korrigerig.

I matematiska termer gäller detta:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} = \sqrt{S_1^2 + D^2} \text{ där } S_1^2 = P^2 + Q^2$$

**Q** = reaktiv effekt utan övertoner

Förhållandet kan även visas som ett diagram.



# Effektfaktor korrigering Skåpbyggande

# ENERDIS KONDENSATORBATTERIER

## Tillverkningsprincip

ENERDIS kondensatorbatterier görs av en mängd olika kapacitiva element som är anslutna i triangel eller stjärnarrangemang, beroende på spänningsnivå.

## Livstid på en kapacitans

Med utmärkt kvalite har, ENERDIS en lång livslängd. Kapacitansernas livslängd beräknas med extrapoloteriing på åldringstester. IEC 61049 standard är vår norm. Följande beräkningsmetod används:

$$L = L_{\text{Test}} \left( \frac{U_{\text{Test}}}{U_n} \right)^K$$

med

- L: beräknad livslängd
- $L_{\text{Test}}$ : antal testtimmar
- $U_{\text{Test}}$ : provspänning

- $U_n$ : nominell spänning
- K: denna coefficient beror på kapacitansdesign

Åldringstesten görs med en provspänning som är högre än nominell spänning under en given tid vid maximal operatörstemperatur.

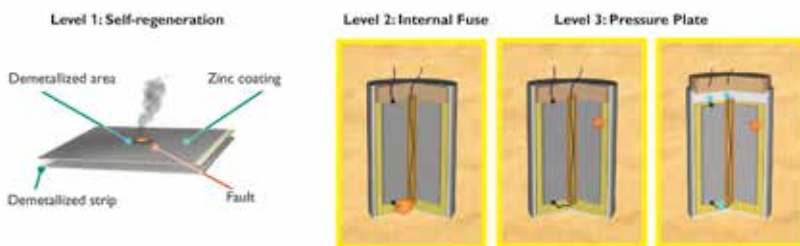
IEC 60831 standard säger att kapacitansen måste kunna klara 1 500 h med en spänning som är 25% högre än nominell spänning, utan att kortslutning uppkommer samt en förlust under 5%. Som exempel, för en 400 V kapacitans, görs testet med en provspänning om 500 V.

Med en 5% kapacitansförlust, då kan den förväntade livslängden vara 10 år. Om kapacitansen endast används 18 h om dagen, är livslängden längre.

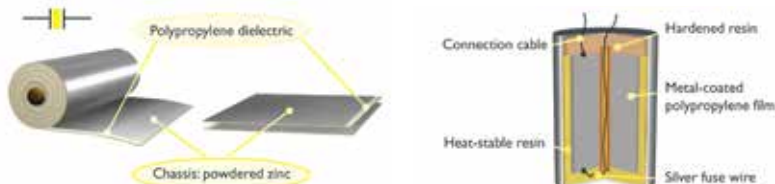
**Denna beräkningsmodell förutsätter att den nominella spänningen är konstant samt att användningstemperaturen är innanför den av tillverkan angivna.**

Om så inte är fallet minskar livstiden. Vi rekommenderar att årliga prov görs.

## Nivå av skydd



## Teknik



# ATT VÄLJA KORRIGERINGSTYP

---

## Fast korrigerering

Används när:

- den reaktiva effekten som ska kompenseras är konstant, oberoende av installationens reaktiva effektförbrukning
- storleken på den reaktiva effekten som ska kompenseras är liten
- det är stora laster på installationen vilka behöver kompenseras individuellt för att minska energimängden som transporteras i installationen

Denna typ av korrigerering används generellt på asynkrona motorer och transformatorer.

## Automatisk korrigerering

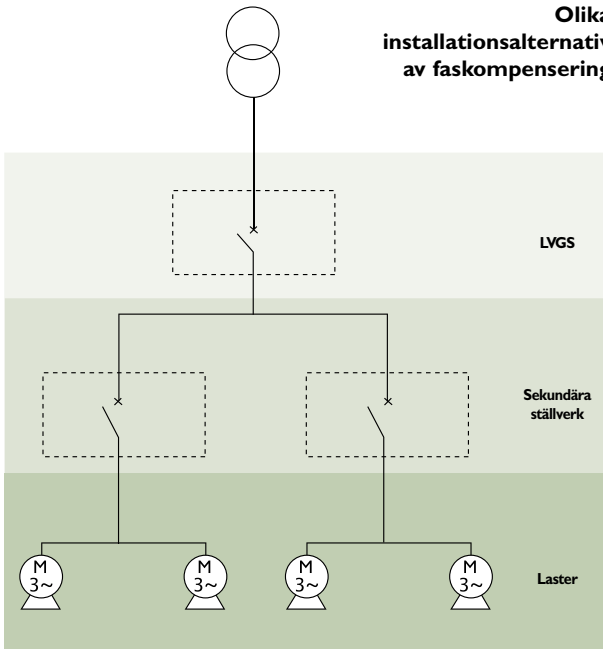
Används när den reaktiva effekten ska användas i installationens reaktiva effektkonsumtion

Kapacitansen delas in i flera effektsteg som kontrolleras av en variabelt kondensatorbatteri. Utrustningen måste ha en steginkoppling med en responstid som matchar variationerna på effekten i installationen.

Om effekten varierar i cykler kortare än 1 s (hissar, svetsaggregat mm.) måste DPF-faktorn utrustas med kontaktorer som kopplar in de olika kondensatorbankerna. Med dessa typer av kontaktorer fås en effektiv minskning av transienter och startströmsförlopp.

Om cykeln av effektvariationer på installationen är längre än 1s lång, utrustas effektfaktor korrigeringsutrustningen vanligen med effektkontaktorer.

**Olika installationsalternativ av faskompensering**



Det finns två kriterier var kondensatorbatteriet ska installeras:

**Storlek på installationen:**

- installation med en LV-ställ om det är relativt kort väg till de sekundära ställverken
- dela upp installationen i flera grupper, olika grupper om det är långa distanser

Finns stora effektförbrukare?

Om så undersök effektkonsumtionen och övertonshalterna på varje last.

På basis av detta summerar teckningen till vänster möjliga placeringar.

	<b>LV</b>	<b>Sekundärt ställverk</b>	<b>Laster</b>
<b>FÖRDELAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ reaktiva effekter försvinner</li> <li>▶ ökning av effekten på transformatorns sekundärsida</li> <li>▶ ekonomisk installationslösning, endast en kapacitans installeras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ reaktiva effekter försvinner</li> <li>▶ ökning av effekten på transformatorns sekundärsida om den sekundära sidan på alla sekundära nivåer är installerade</li> <li>▶ ekonomisk lösning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ reaktiva effekter försvinner</li> <li>▶ inget spänningsfall</li> <li>▶ mindre elektrisk utrustning kan användas</li> <li>▶ reaktiv effektkompensering så nära den konsumerade utrustningen</li> </ul>
<b>KOMMENTAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ingen minskning av linjeförluster (spänningsfall)</li> <li>▶ inget sparande på mindre utrustning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ utmärkt lösning för stora fabriksanläggningar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ dyr lösning</li> </ul>

# VARIABELT KONDENSATORBATTERI

The ENER<sup>phi</sup>+ (6 eller 12 reläer) reaktiv effektregulator kontrollerar automatiskt anslutningen samt frånslag av kapacitansen beroende på installationens effektfaktor.

Den används för att optimera och minimera tiden samt antalet cykler även för de aktiva kapacitanserna. Detta innebär att kapacitanserna används lika mycket och över längre tid.

**Bakgrundsbelyst LCD-skärm** för att se mätningar, status på den aktiva kapacitansen samt eventuell larm. Mätvärden som indikeras är spänningar och strömmar, aktiv och reaktiv effekt, THD på spänning och ström, intern temperatur, antal cykler, samt användningstid för respektive kapacitans, och manuellt eller automatiskt läge.

**Larm för:** övertoner, spänningsöverlast, övertoner, ström överlast, hög temperatur, under-korrigerig, toppspänningsvärde, RMS-spänning, omedelbart frånslag om spänningsfall >10 ms och < 50% U<sub>n</sub>

Frånslagstid mellan två anslutningar, programmerbara mellan 5 till 300 s.

**RS-485 kommunikation**, extra strömtransformator för mätning av strömmen i styrskåpet samt THD. Med denna mätning fås mer detaljerad övervakning av den reaktiva effekten, samt att den kan fås med larmfunktion.

- **Minimera antalet steg under användning** genom att justera anslutningstiden
- **Öka livslängden** på de ingående komponenterna
- **Öka responstiden** på effektfaktor korrigeringen
- **Få ett samtidigt åldrande på alla komponenter i systemet**

**Programmet** lagrar anslutningstider När det är en effektfaktor förändring, kopplas de till de steg som ej varit inkopplade på länge. Vilket ger ett jämnt utnyttjande på utrustningens olika steg.

## Exempel

Användningen nödvändig för en 100 % start från noll på en utrustning med totalt 6 steg.

### KLASSISKT SYSTEM

	1	2	2	2	2	2
Steg	x					
1°		x				
2°	x	x				
3°		x	x			
4°	x	x	x			
5°		x	x	x		
6°	x	x	x	x		
7°		x	x	x	x	
8°	x	x	x	x	x	
9°		x	x	x	x	x
10°	x	x	x	x	x	x
11°						

Totalt antal steg = 16

### OPTIMERAT SYSTEM

Steg	1	2	2	2	2	2
1°		x				
2°		x	x			
3°		x	x	x		
4°		x	x	x	x	
5°		x	x	x	x	x
6°	x	x	x	x	x	x

Totalt antal steg = 6

All kontrollutrustning har alarmvisning direkt på skärmen. Med ENER<sup>phi</sup>+ kontroll har en RUNTIME-funktion med vilken alla parametrar kan ändras även under drift.



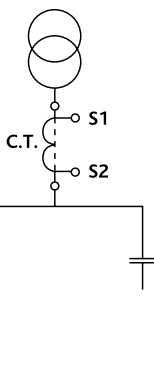
# INSTALLATION AV VARIERBART BATTERI

Utrustningen från Enerdis levereras färdig. Vid installationen behöver enbart drivspänningen anslutas:

- 230 Vac drivspänning på kontaktkretsen (beroende på typ av kapacitansbank, se specifik information)
- Anslutning av strömtransformator på fas 1

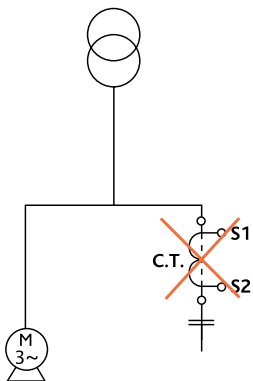
I och med detta kan beräkning göras för effektfaktorn. Strömtransformatorn installeras i en punkt i kretsen där hela installationens strömmar finns, även strömmen till kapacitansen.

## RÄTT

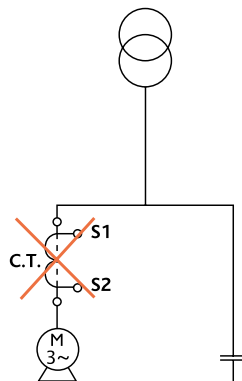


- Strömtransformatorn måste monteras innan kapacitansbanken samt innan förbrukaren (en motor).

## FEL



- Ingen kapacitans kommer att finnas med därför att strömtransformatorn inte kan ge någon utsignal.
- Kontrollera att strömtransformatorn inte är kortsluten eller installerad utan förbrukaren.

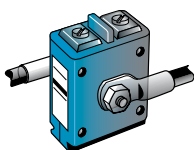


- Alla kapacitanser är anslutna, men de är inte möjligt att koppla ur dessa efter att lasten har minskat. Det finns risk för överkompensering av installationen utan att någon last finns.

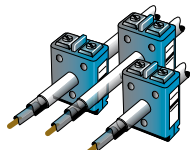
Normalt installeras en strömtransformator (vanligtvis  $I_n/5$  A) **den måste matcha den totala strömmen som är installerad**. Strömtransformatorns sekundärsida måste ha ett lämpligt avstånd mellan transformatorn och kontrollutrustningen.

## Typ av kabel/skena primärt och strömstyrka

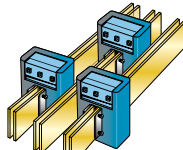
Vilken typ av strömtransformator som ska väljas beror på strömstyrka och monteringsätt:



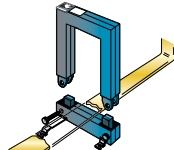
**GENOMGÅENDE PRIMÄR**  
för strömmar under 60 A



**KABEL PRIMÄR**  
för strömmar mellan 60 A och 2,500 A



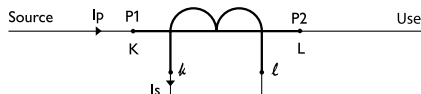
**SKEN PRIMÄR**  
för strömmar mellan 750 till 5,000 A



**ÖPPNINGSBÄR PRIMÄR**  
för enkel anslutning på en existerande installation både för skena och kabel

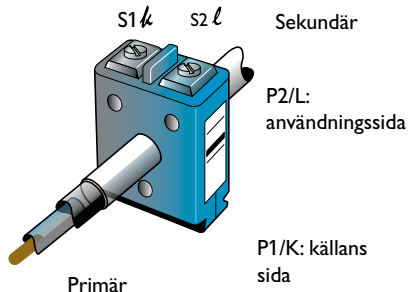
# INKOPPLING AV STRÖMTRANSFORMATOR

Transformatorns anslutningsriktning måste alltid respekteras, speciellt i 3-fas system, för att förhindra fasskiftningsfel på en eller flera faser.

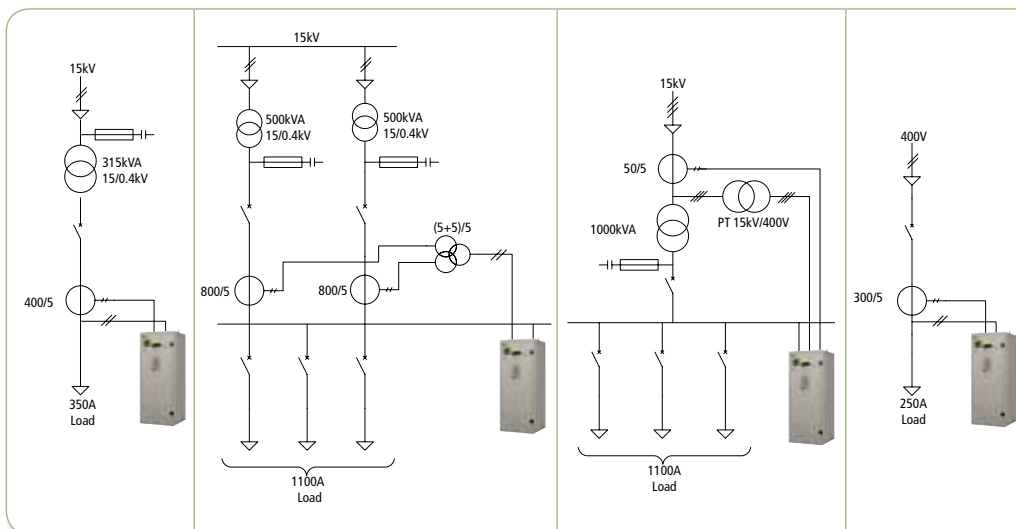


## Noggrannhetsklass

Noggrannhetsklassen är ett resultat av alla mätfel på varje element i kedjan. En strömtransformators noggrannhet måste vara mindre eller lika med det instrument den är inkopplad till, särskilt när det gäller energimätare som används för fakturering.



## Exempel på anslutningar



## Fördelar med ENERDIS kondensatorbatterier

Överdriven reaktiv effekt samt övertoner, genererar en merkostnad, det uppstår även uppvärmning samt ljudproblem.

Effektfaktor korrigerig för att kompensera reaktiv effekt och övertonsfiltrering är utmärkta investeringar för att minska energikostnaden, investeringen lönar sig inom några år.

# Definiera

din EFFEKTFAKTOR

KORRIGERINGSinallation

# 3 STEG FÖR ATT FINNA RÄTT TYP

## 1 / Beräkning av effekt "Q<sub>c</sub>"

Den reaktiva effekten **Q<sub>c</sub>**, som är nödvändig för korrigerig, beräknas genom den uppmätta aktiva effekten **P** och **tan φ** värdet som uppmäts. Mätningarna görs nedåt på transformatorn.

Formeln här indikerar att faktor **K** multipliceras med den aktiva effekten **P** på installationen för att beräkna den reaktiva effekten **Q<sub>c</sub>** på kapacitanserna som ska installeras. Sen visas även förhållandet mellan **tan φ** och **Cos φ**.

$$Q_c = P \times \underbrace{(\tan \varphi_{\text{uppmätt}} - \tan \varphi_{\text{önskad}})}_K = P \times K$$

## 2 / Fast eller automatisk korrigerig

Vid låga spänningar, kan båda systemen användas för reaktiv effektkorrigerig:

- fast korrigerig använder kapacitanserna vid fasta värden vilket ger en konstant reaktiv effekt.
- automatisk korrigerig använder kapacitanserna indelade i olika steg vilken sköts av en kontrollutrustning. Kontrollutrustningen ger rätt reaktiv effekt för installationens behov, vilket görs med effektfaktorn (**Cos φ**).

**Q<sub>c</sub>**: reaktiv effektkorrigerig på utrustningen i kVA

**S<sub>n</sub>**: skenbar effekt på installationens transformator i kVA.

- Q<sub>c</sub> / S<sub>n</sub> < 15 %** ► fast korrigerig
- Q<sub>c</sub> / S<sub>n</sub> ≥ 15 %** ► automatisk korrigerig

## 3 / Typ av föruttsättningar

**S<sub>h</sub>**: skenbar effekt (kVA) på förbrukare som producerar övertoner (switchade aggregat, elektronik mm.)

**S<sub>n</sub>**: skenbar effekt på installationens transformator i kVA

- S<sub>h</sub> / S<sub>n</sub> < 15 %** ► standard typ (spänning 400 V)
- S<sub>h</sub> / S<sub>n</sub> = 15 till 25 %** ► H type (högre spänning 440 V eller 500 V)
- S<sub>h</sub> / S<sub>n</sub> > 25 %** ► SAH typ (högre spänning + anti-övertons induktiva kretsar)

I och med att mer övertoner skapas, är det numera nödvändigt att använda och göra effektfaktor korrigerig installationer som är specifikt gjorda för att ta hand om dessa överlaster.

Fyra "typer av kapacitanser" är föreslagna, beroende på nivåerna av övertonerna (**S<sub>h</sub> / S<sub>n</sub>**):

- Standard typ: spänning 400 V
- H typ: högre spänning 440 V or 500 V
- SAH typ: högre spänning + anti-övertons induktiva kretsar
- FH typ: övertonsfilter. Samt kontinuerlig övervakning av installationen

## Exempel

Aktiv effekt på installationen	<b>P</b> = 614 kW
Cos φ uppmätt på installationen	<b>Cos φ</b> = 0.68 so <b>Tan φ</b> = 1.08
Cos φ som behövs för att korrigerig	<b>Cos φ</b> = 0.93 so <b>Tan φ</b> = 0.40
Koefficient från tabellen	<b>K</b> = 0.684
Reaktiv effekt att kompensera	<b>Q<sub>c</sub></b> = 614 x 0.684 = 420 kVA

# DEFINITION AV K-FAKTOR

uppmätt ▼	tan $\varphi$	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0	behövda ◀
tan $\varphi$	Cos $\varphi$	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1	
2.29	0.40	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288	
2.16	0.42	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164	
2.04	0.44	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041	
1.93	0.46	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929	
1.83	0.48	1.370	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826	
1.73	0.50	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732	
1.64	0.52	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644	
1.56	0.54	1.103	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559	
1.48	0.56	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480	
1.40	0.58	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405	
1.33	0.60	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334	
1.27	0.62	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265	
1.20	0.64	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200	
1.14	0.66	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138	
1.08	0.68	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079	
1.02	0.70	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020	
0.96	0.72	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963	
0.91	0.74	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909	
0.86	0.76	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855	
0.80	0.78	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803	
0.75	0.80	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750	
0.70	0.82	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698	
0.65	0.84	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645	
0.59	0.86	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593	
0.54	0.88	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538	
0.48	0.90	0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484	

# RÄTT STORLEK MED MÄTNING AV ÖVERTONER

## 1. Identifiera övertonshalten på installationen

## 2. Gör mätningar på installationen

### 1. Identifiera övertonshalten på installationen

Det är inte så lätt att uppskatta den skenbara effekten på förbrukare som ger övertoner, så här finns en tabell för att välja typ av korrigering.

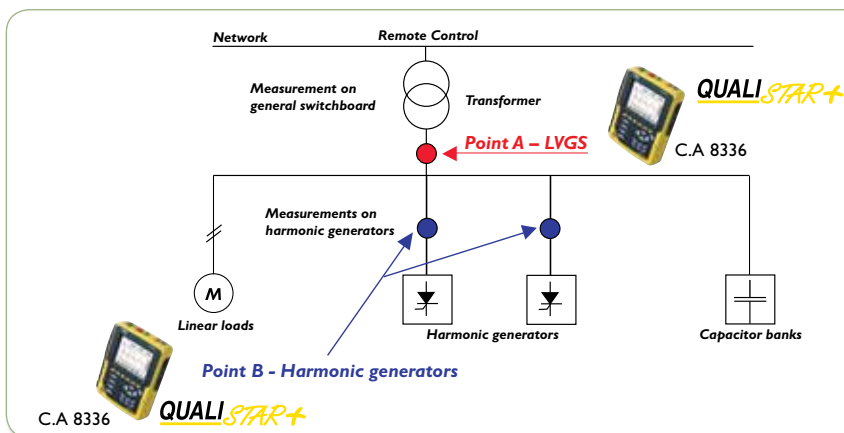
THD-U (%)	THD-I (%)	Typ av spänning	Kommentar
< 2	< 15	spänning (400 V)	kontrollera resonansen
2 < THD-U < 3	15 < THD-I < 30	spänning (440 eller 500 V)	induktiva kretsen ställ 210 Hz
> 3	< 15	440 V eller 500 V spänning + anti-övertons induktiva kretsar	induktiva kretsen ställ till 210 Hz
> 3	> 30	övertonfilter	detaljstudera installationen

För installationer med stora övertonsproblem, kan CA Mätssystem AB göra detaljstudier och mätningar före installation.

## 2. Göra mätningar på installatonen

### a. Nedan visas:

- platser där mätningar måste göras med en CA 8336 tre-fas nätanalysator
- var lasterna är



### b. Generell information om installationen:

- Identifiera mätpunkterna
- Typ av industriprocess

Antal transformatorer	$S_n$
(transformatoreffekt)	kVA
$U_n$ (nominell spänning)	V
$U_{SC}$ (kortslutningsspänning)	%

Övertoner	1	3	5	7	11	13	THD
<b>THD-U</b>							
<b>THD-I</b>							
<b>I<sub>n</sub>(A)</b>							

### c. Vid inkopplingspunkten (A)

- Mätning av aktiv- och reaktiva effektvärden
- Mätning av övertoner

Med kapacitanser	Utan kapacitanser		
<b>THD-I</b>	%	THD-I	%
<b>THD-V</b>	%	THD-V	%
<b>Q (kapacitansbank)</b>			kVAr
<b>P (installation)</b>			kW

- Finns det redan kapacitanser?

Övertoner	1	3	5	7	11	13	THD
<b>THD-V</b>							
<b>THD-I</b>							
<b>I<sub>n</sub>(A)</b>							

### d. Förbrukare (B)

- Mätning på ingångarna av effektförbrukarna
- Mätning på ingångarna av förbrukarnas övertoner

Övertoner	1	3	5	7	11	13	THD
<b>THD-V</b>							
<b>THD-I</b>							
<b>I<sub>n</sub>(A)</b>							

### Beskrivning av laster:

- urladdningslampor
- svetsaggregat
- invertrar
- switchade aggregat
- likriktare
- UPS-enheter

CA Mätssystem AB kan hjälpa dig med dessa mätningar.

# Specifika applikationer på effektfaktor korrigeringar



# KOMPENSERA MOTORER OCH TRANSFORMATORER

## Kompensera en asynkron motor

När en motor driver en last med stor kraft och drivspänningen försvinner, fortsätter motorn att snurra beroende på den kinetiska energin.

**Med kapacitanser kan detta orsaka själv-svängning på motorn**, vilket gör att dessa kan förse motorn med tillräckligt mycket reaktiv effekt för att fungera som en asynkron generator.

**Denna själv-svängning kan orsaka överspänningar vilka kan vara betydligt högre än nominell spänning.**

Om installationen har stora motorer och kapacitanser installerade, måste kontrollutrustningen för kapacitansen vara konstruerad så att om spänningen försvinner, ska kopplingen mellan dessa motorer och kapacitansen brytas.

Om  $\cos \varphi$  på motorn är lågt när det inte är någon last, eller om det endast är en lätt last, kan det vara bra att installera en kapacitans på den.

### I fall med kapacitanser monterade på ingångarna på motorn;

För att undvika farliga överspänningar, kontrollera så att effekten på batteriet överensstämmer med följande beräkning:

$$Q_c \leq 0.9 \times \sqrt{3} \times U_n \times I_o$$

$I_o$ : Olastad motorström

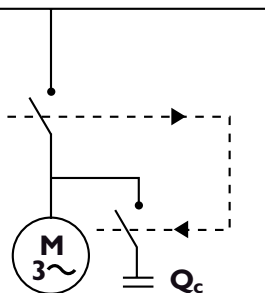
$I_o$  Kan uppskattas med denna beräkning:  $I_o = 2I_n \times (1 - \cos\varphi_n)$

$I_n$ : Märkström på motorn

$\cos \varphi_n$ :  $\cos \varphi$  på motorn vid angiven effekt

$U_n$ : Nominell spänning

Installation



I detta fall:  $Q_c \geq 0.9 \times \sqrt{3} \times U_n \times I_o$   
kan utrustningen anslutas enligt ritningen.

## Exempel

En asynkron motor har följande angivet på skylten:

■  $P_u = 37 \text{ kW}$  ■  $220/380 \text{ V}$  ■  $f = 50 \text{ Hz}$  ■  $N' = 1440 \text{ rpm}$  ■  $\eta = 0,91$  ■  $\text{Cos } \varphi_n = 0,85$

Vi behöver beräkna maximal effekt på kapacitansen.

Angiven ström ges med följande beräkning:

$$\text{Om } P_u = 3U_n I_n \text{Cos } \varphi_n \quad \rightarrow \quad I_n = \frac{P_u}{\sqrt{3}U_n \text{Cos } \varphi_n} \quad I_n = \frac{37 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85} = 66,14 \text{ A}$$

För att beräkna effekten på kapacitansen, behövs den olastade motorströmmen på motorn:

$$\text{Därför } I_0 = 2I_n \times (1 - \text{Cos } \varphi_n) \quad Q_c \leq 0,9 \times \sqrt{3} \times 380 \times 19,84$$

$$I_0 = 2 \times 66,14 \times (1 - 0,85) = 19,84 \text{ A} \quad Q_c \leq 11\,752 \text{ VAR}$$

$$\mathbf{Q_c \leq 11.752 \text{ kVAR}}$$

En kapacitans med 11 kVAR (max) behövs för en 37 kW motor med en rotationshastighet om 1 500 rpm för att förhindra självsvängning av motorn.

## Nödvändiga försiktighetsåtgärder:

- När motorn startas: Om motorn startas med hjälp av en yttre källa (resistans, induktans, Y / D start, transformator) ska kapacitansen aktiveras först efter start av motorn.
- För specialmotorer: det rekommenderas att dessa inte kompenseras (stegmotorer, två-vägs motorer mm.).

### 400 V TRE-FAS MOTORER

Nominell effekt		Max. effekt (kVAR)			
		Max. rotationshastighet (rpm)			
kW	hästkrafter	3,000	1,500	1,000	750
8	11	2	2	3	
11	15	3	4	5	
15	20	4	5	6	
18	24	5	7	7,5	
22	30	6	8	9	10
30	41	7,5	10	11	12,5
37	50	9	11	12,5	16
45	61	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	102	17	22	25	28
90	122	20	25	27	30
110	149	24	29	33	37
132	179	31	36	38	43
160	217	35	41	44	52
200	272	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	543	78	82	97	106
450	611	87	93	107	117

## Kompensering av transformatorer

En transformator konsumerar reaktiv effekt för att säkerställa att dess lindning är magnetiserad. Tabellen nedan visar de normala konsumtionsnivåerna.

### Exempel

Om  $\text{Cos } \varphi = 0.7$ , betyder det att 30 % av transformatorns effekt inte finns tillgänglig, eftersom den tillverkar resten som reaktiv effekt.

Transformator nominell effekt	Kompensering effekt i kVAr		
	Transformatorn använder vid		
kVA	Ingen last	75% last	100% last
100	3	5	6
160	4	7.5	10
200	4	9	12
250	5	11	15
315	6	15	20
400	8	20	25
500	10	25	30
630	12	30	40
800	20	40	55
1000	25	50	70
1250	30	70	90
2000	50	100	150
2500	60	150	200
3150	90	200	250
4000	160	250	320
5000	200	300	425

# Kompensering samt dämpning av övertoner

Övertoner i elektriska installationer reducerar kvaliteten på spänningen. Det beskrivs till huvuddelen på sid 6. Vid sidan av dessa finns det dessutom en ekonomisk sida.

- **Energiförluster:** extra kWh går till spillo.
- **Extrakostnad på grund av för hög säkring:** den olinjära effekten som orsakas av övertonerna ökar den totala skenbara effekten, vilket leder till att ett abonnemang för en högre ström behövs.
- **För stor utrustning : i mindre utrustning med för stora kablar ges utrymme för övertoner.**
- **Kortare livslängd:** en THD-U om cirka 10 % minskar märkbart livslängden.
- Jordfelsbrytare som löser ut och stänger ner hela installationen.

Det finns flera olika standarder och krav på övertonshalt (för respektive standard för det elektriska nätverket, övertonsregler för utrustning som genererar övertoner, samt rekommendationer och krav från elproducerande företag.)

Till exempel, för elkvalitet för mellan- och lågspänning finns EN50610 standard, eller olika nationella standarder. För EN 50160 standard specificeras de maximala övertonshalterna. I den står att THD-U inte får överstiga 8%.

Udda övertoner				Jämna övertoner	
Ej tredje övertoner		Tredje övertoner			
Övertons nr spänning	Nominell spänning	Övertons nr	Nominell spänning	Övertons nr	Nominell
5	6.0 %	3	5.0 % <sup>(1)</sup>	2	2.0 %
7	5.0 %	9	1.5 %	4	1.0 %
11	3.5 %	15	0.5 %	6...24	0.5 %
13	3.0 %	21	0.5 %		
17	2.0 %				
19	1.5 %				
23	1.5 %				

Övertoner på spänning upp till den 25:e i ordningen, uttryckt som en procentenhet av den nominella spänningen (U<sub>c</sub>)

(1) Beroende på hur nätverket är utformat, kan värdet på den 3:e övertonen vara mycket lägre.

**OBS:** om värden överensstämmer med en överton över den 25:e, är de vanligtvis svåra att se beroende på resonanseffekter, de visas inte i denna tabell.

För att välja den bästa platsen för filtret, tänk då på dessa punkter:

- Vilka typer av störningar finns på installationen, definierar vilket filter som behöver installeras
- Vilken konfiguration:
  - Det finns kapacitansbanker
  - Det finns stora laster som orsakar störningar
  - Effekt och lokalisering av belysning eller datakablar

Det finns 3 punkter i en installation där filter kan anslutas för att minska störningar:

### ■ På lågspänningssidan vid inkopplingspunkten

Där störningar har eliminerats eller dämpats direkt på lasten eller på en undercentral, kan de återstående störningarna tas bort eller helt minskas genom att ansluta filterutrustning på huvudcentralen. På detta sätt kan det säkerställas att den spänningen är tillräckligt bra för energiproducenten.

### ■ På den andra undertavlan

När det finns flera laster anslutna till ett sekundärt nätverk: Eliminering av störningar förhindrar urladdning på linjerna anslutna till huvudcentralen.

### ■ På ingångarna för den last som orsakar övertoner

Den bästa lösningen för att eliminera störningar direkt vid den punkt där de är genererade.

## Teknik

I fall där det förebyggande skyddet inte är tillräckligt, måste filter installeras. Det finns 3 typer av filter:

### ■ Passivfilter

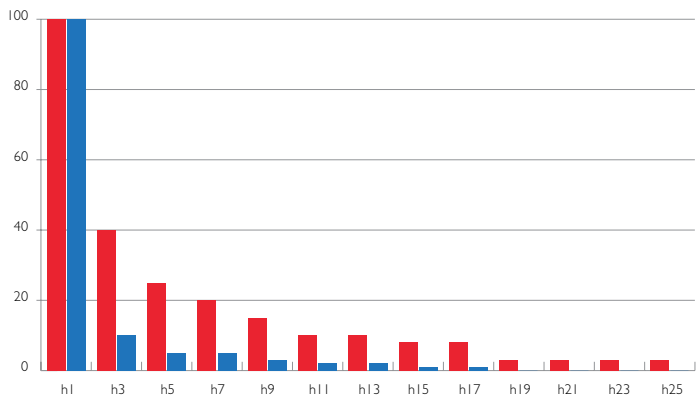
Detta är en LC-krets inställd på den övertonsfrekvens som ska filtreras. Detta filter monteras på en bypass-krets, och absorberar övertonen samt förhindrar dem från att fortsätta ut på installationen. Men, för en stor reduktion av THD-I ( $S_n < 200$  kVA) på flera övertoner, måste fler filter användas.

### ■ Aktivfilter

Detta är ett elektroniskt effektsystem utvecklat för att kompensera både spännings och strömövertoner som genereras av laster. Denna filtertyp, sänder ut samma överton, som en motfas, så övertonerna som finns på lasten gör att strömmen förblir sinus ( $S_n < 200$  kVA).

### ■ Hybridfilter

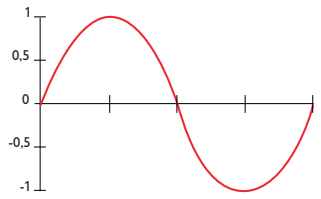
Detta innebär en kombination av de båda teknikerna beskrivna ovan, för ett brett effektområde.



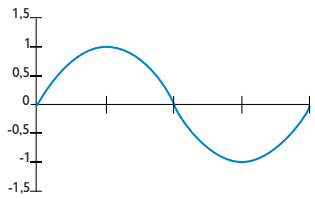
Övertonekstr här intill visar en typisk före och efterinstallation av en aktiv övertonekstrkompensator. Detta förbättrade spektra ger även bättre kurvformer för både spänning och ström.

### Övertonekstrnummer

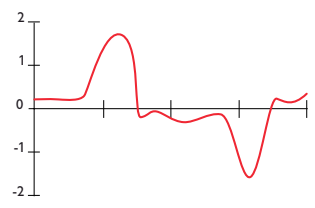
- Innan aktiv kompensering
- Efter aktiv kompensering



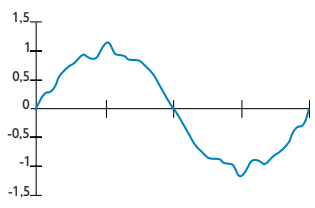
Spänningens kurvform innan filtrering



Spänningens kurvform efter filtrering



Strömmens kurvform innan filtrering



Strömmens kurvform efter filtrering

Effekten av den aktiva kompenseringen visas tydligt med dessa kurvformer: **minskat RMS-värde, minskad crest-factor efter korrigering samt bättre effektfaktor**. Dessa grafer visar att aktiv korrigering även dämpar **THD-I** betydligt.

## Kompensering

### Fasta kondensatorbatterier

ENER<sup>pack</sup>

H och SAH-typer



Kondensatorbatterier

ENER<sup>cap</sup> produkter

230 V, standard och H-typer

SAH-typ



## Tillbehör



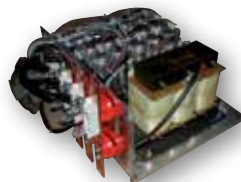
CONDO

ENERPHI+ 6 och 12



Kapacitanser

Tillbehör





**Enerdis är en leverantör av total lösningar för effekt och energieffektivitet, med ett brett utbud av fast utrustning för mätning, kontroll, analys, övervakning och styrning av energianvändning.**



Mer information finns på mjukvaror, produkter finns, kontakta oss för mer information.

Läs mer om tekniska lösningar på företag vi hjälpt att effektivisera sin energiförbrukning

