

Компенсация на реактивна енергия

Красимир Червенков



Съдържание

- Теория
- Възможности пред компенсацията на реактивна енергия
- Методи на компенсиране
- Изчисляване на компенсираща уредба
- Хармоници
- Компенсиращи уредби от SCHRACK

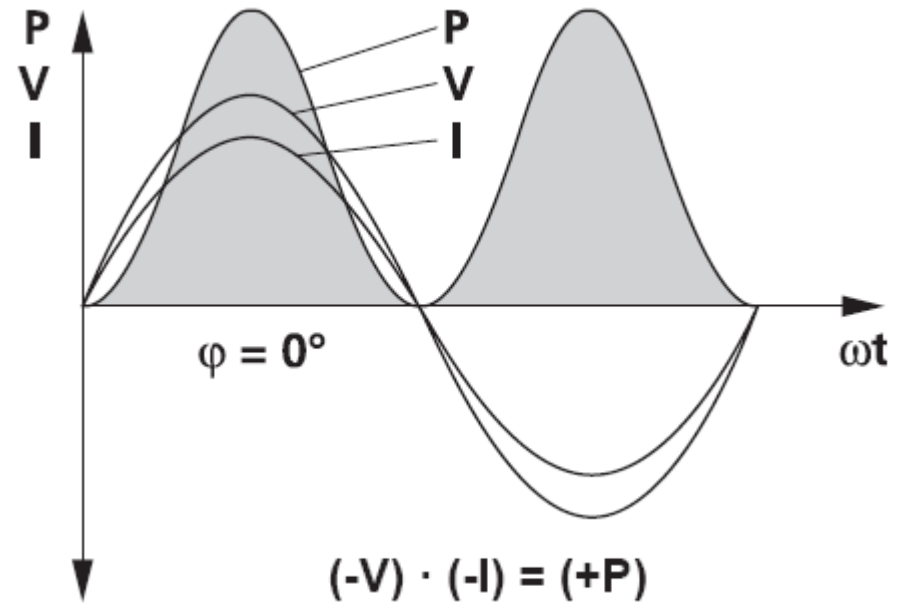
Теория

■ Активен товар

Активните товари са такива товари, които нямат индуктивна или капацитивна съставка – нагреватели

Пример:

- $\varphi = 0^\circ$ ($\cos \varphi = 1$)
- Тока и напрежението са във фаза и пресичат нулата в една точка.
- Активната мощност се получава при умножение на моментните стойности на тока и напрежението
 $(-V) \times (-I) = (+P)$



$$P = V \cdot I$$

[W] [V][A]

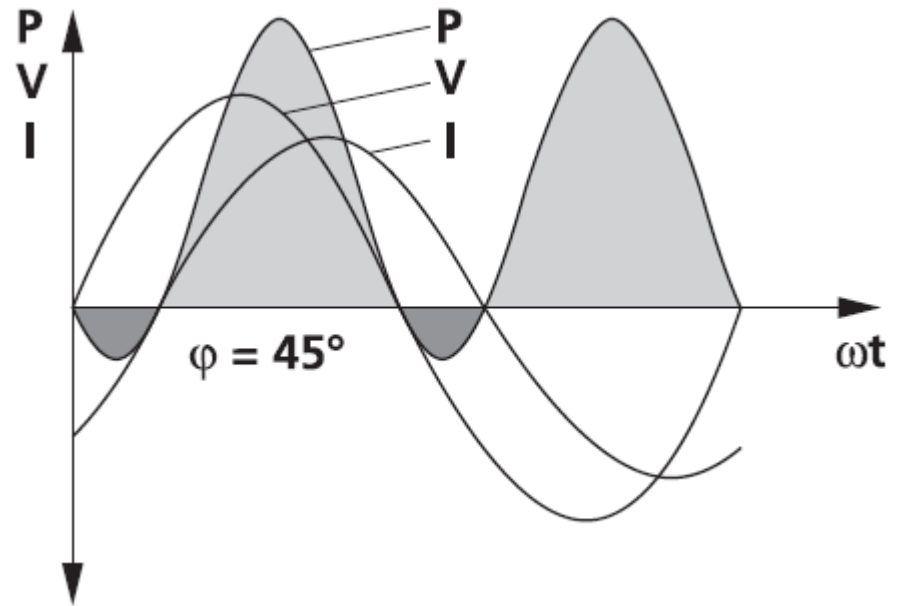
Теория

■ Активен и индуктивен товар

В практиката това са най-често разпространените консуматори – мотори, трансформатори, реактори и др. Те се нуждаят от реактивна енергия за създаване на електромагнитно поле.

Пример:

- $\varphi = 45^\circ$ ($\cos \varphi = 0,707$)
- Тока и напрежението са изместени с 45° едно спрямо друго.
- Отрицателните стойности на активната мощност се получават, само когато единият от двата фактора (U или I) са отрицателни

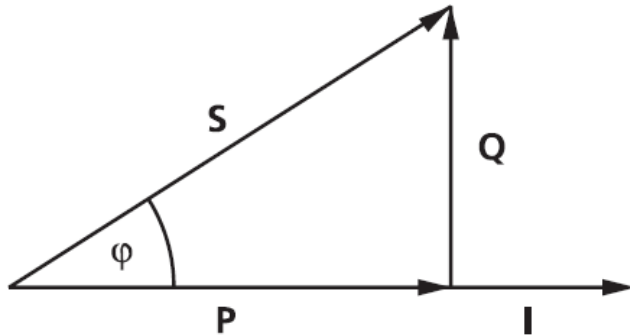


$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

[W] [V][A]

Теория

Триъгълник на мощностите

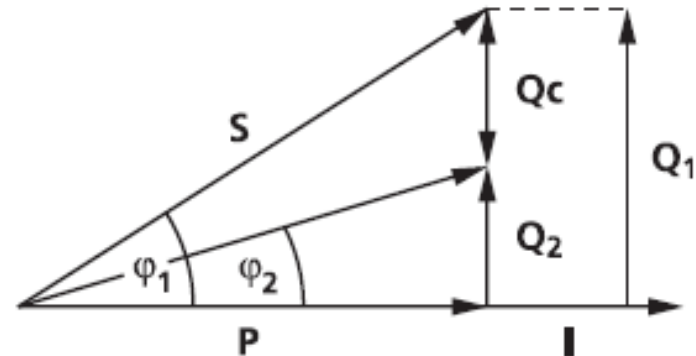


$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

[VA] [W] [var]

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad [\text{W}] / [\text{VA}]$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad [\text{var}] / [\text{W}]$$



$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

[var] [W]

- Q_c – необходима компенсационна мощност
- P – Активна мощност
- $\tan \varphi_1$ – без компенсация
- $\tan \varphi_2$ – желан

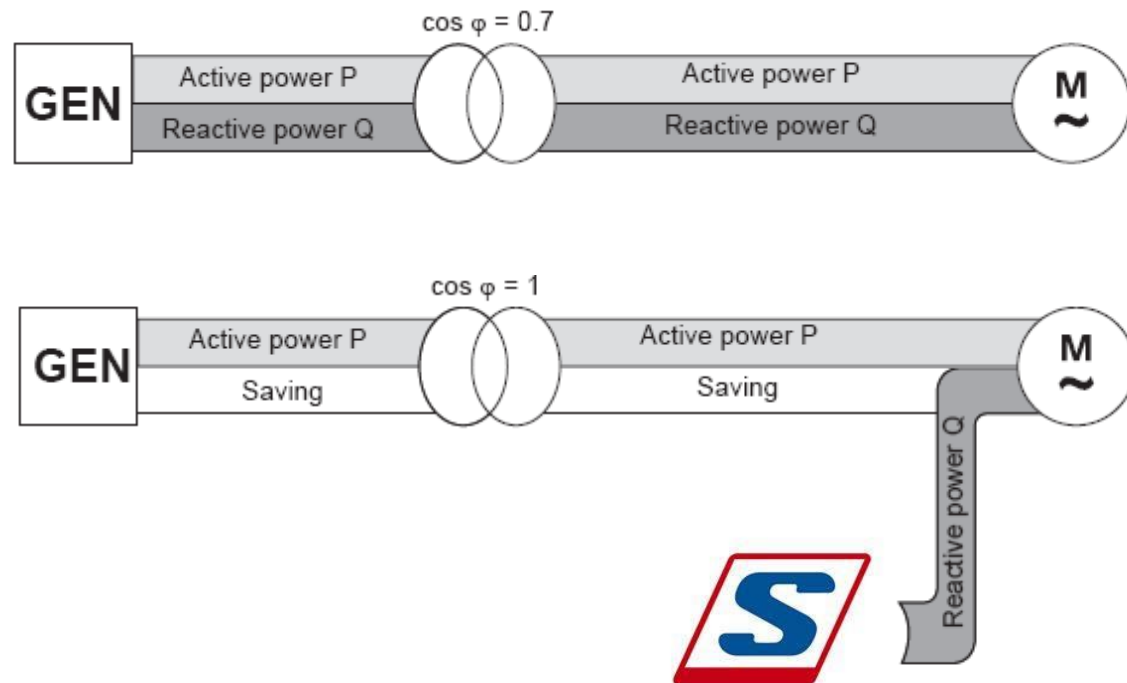
Възможности пред компенсацията на реактивна енергия

■ Оптимизирано използване на електрическата система:

- Генератори
- Трансформатори
- Захранващи линии
- Комутационна апаратура

■ Намалени загуби при преноса и трансформацията на енергията

■ Ниски падове на напрежение



Методи на компенсирание

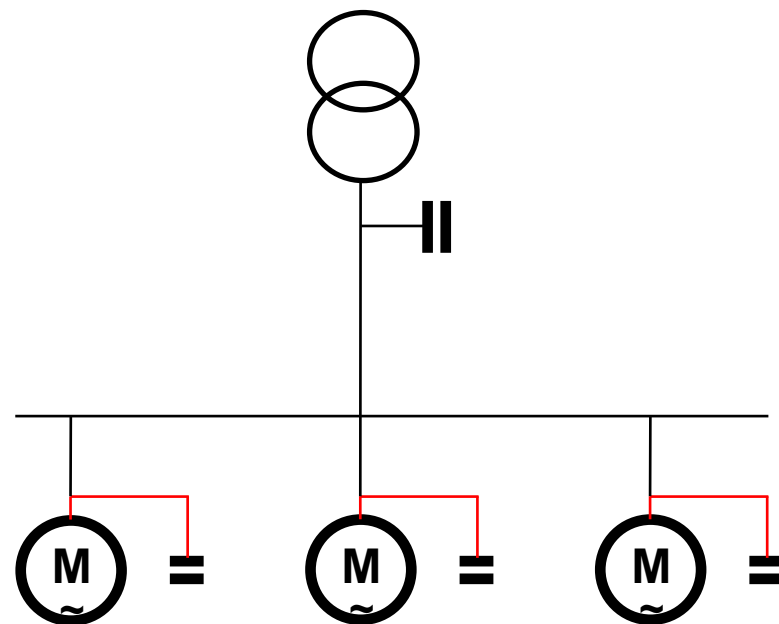
Индивидуална компенсация

Приложение:

- Компенсация на реактивната енергия при празен ход на трансформаторите
- Двигатели работещи в продължителен режим на работа
- Двигатели захранени чрез дълги захранващи линии

Предимства:

- Тотално елиминиране на реактивната енергия в разпределителната система
- Ниска цена за kVARh (не се използват контактори и контролери за управление)



Недостатъци:

- Компенсацията е разпределена по цялата инсталация
- Голяма сумарната мощност на кондензаторите
- Скъпоструващи промени
- Липса на мониторинг (повередите в кондензаторите не се индикират)

Методи на компенсиране

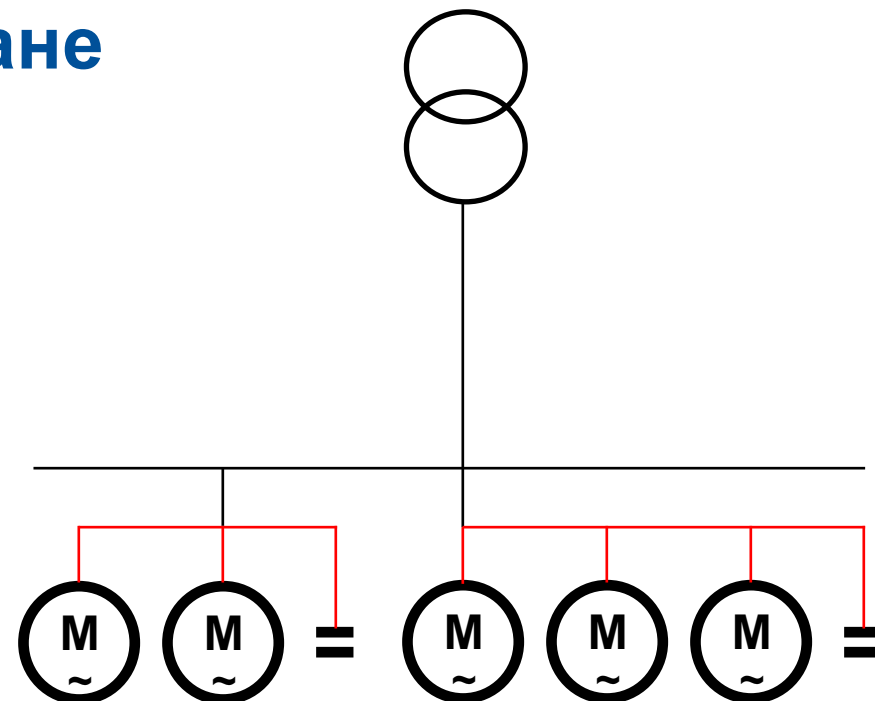
Групова компенсация

Приложение:

- При няколко индуктивни товара работещи заедно и разположени близо един до друг.

Предимства:

- Тотално елиминиране на реактивната енергия в разпределителната система
- Ниска цена за kVARh (не се използват контактори и контролери за управление)
- По ниски разходи от тези при индивидуалната компенсация



Недостатъци:

- Използва се само при групи товари, работещи заедно.
- Отпадането на някой от консуматорите в групата, може да доведе до прекомпенсиране
- Скъпоструващи промени
- Липса на мониторинг (повередите в кондензаторите не се индикират)

Методи на компенсирание

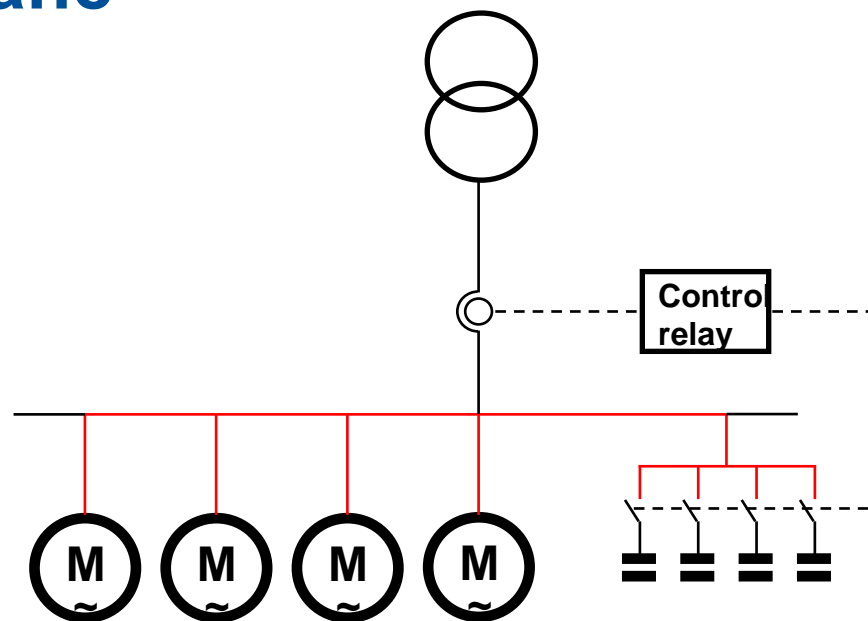
Централна компенсация

Приложение:

- При компенсирание на цяла сграда или индустриално предприятие.

Предимства:

- Концепция лесна за мониторинг и следене състоянието на кондензаторите и параметрите на мрежата.
- Висока използваемост на кондензаторите
- Проста инсталация и лесна поддръжка
- Оптимално решение за мрежи замърсени с хармоници.



Недостатъци:

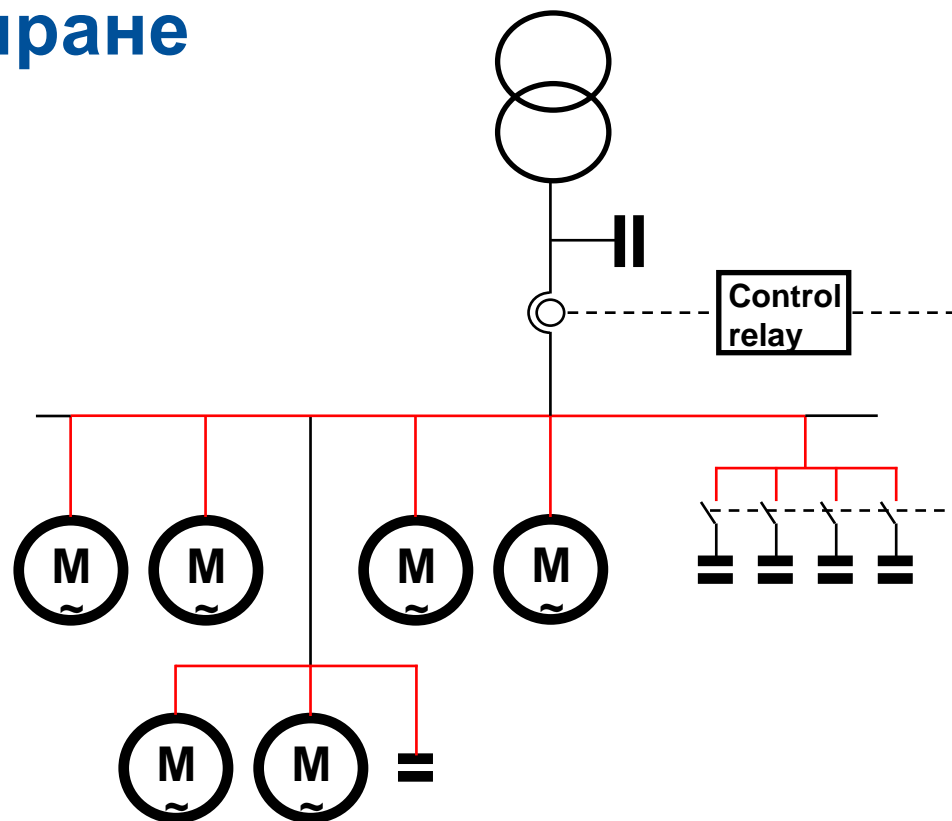
- Реактивните токове вътре в инсталацията остават същите.
- Себестойността на автоматизираната система е по-висока в сравнение с единичните кондензатори при индивидуална компенсация.

Методи на компенсиране

Хибридна компенсация

Приложение:

- При големи предприятия или сгради, често е най-икономически изгодно да се използва комбинация от различните методи за компенсация



Предимства:

- Съчетава предимствата на всички методи за компенсация.

Недостатъци:

- Избягва недостатъците на останалите методи

Изчисляване на компенсираща уредба

Методи за изчисляване на необходимата компенсираща мощност

- Измерване на тока и фактора на мощността – амперметър и $\cos\varphi$ метър
- Измерване на активна и реактивна енергия – мрежов анализатор, електромер
- Разчитане на сметката за потребление на активна и реактивна енергия

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_s \cdot \cos\varphi \cdot 10^{-3}$$

[W] [V] [A]

$$Q_C = P \cdot (\tan\varphi_{\text{actual}} - \tan\varphi_{\text{target}})$$

[var] [W]

$$Q_C = P \cdot f$$

[var] [W]

f – Корекционен фактор

$$f = (\tan\varphi_{\text{actual}} - \tan\varphi_{\text{targeted}})$$

Изчисляване на компенсираща уредба

Пример:

Активна мощност – 300 kW

Текущ $\cos\phi$ – 0,70

Желан $\cos\phi$ – 0,95

$f = 0,69$

$Q_c = P \cdot f$ [kVAr]

$Q_c = 300 \cdot 0,69 = 207$ kVAr

Uncorrected tan φ	cos φ	Target cos φ					←Inductive (i)→		←Capacitive (c)→				
		0.80i	0.85i	0.90i	0.92i	0.95i	0.98i	1.00	0.98c	0.95c	0.92c	0.90c	
3.18 ↔ 0.30		2.43	2.56	2.70	2.75	2.85	2.98	3.18	3.38	3.51	3.61	3.66	
2.96 ↔ 0.32		2.21	2.34	2.48	2.53	2.63	2.76	2.96	3.16	3.29	3.39	3.45	
2.77 ↔ 0.34		2.02	2.15	2.28	2.34	2.44	2.56	2.77	2.97	3.09	3.19	3.25	
2.59 ↔ 0.36		1.84	1.97	2.11	2.17	2.26	2.39	2.59	2.79	2.92	3.02	3.08	
2.43 ↔ 0.38		1.68	1.81	1.95	2.01	2.11	2.23	2.43	2.64	2.76	2.86	2.92	
2.29 ↔ 0.40		1.54	1.67	1.81	1.87	1.96	2.09	2.29	2.49	2.62	2.72	2.78	
2.16 ↔ 0.42		1.41	1.54	1.68	1.73	1.83	1.96	2.16	2.36	2.49	2.59	2.65	
2.04 ↔ 0.44		1.29	1.42	1.56	1.61	1.71	1.84	2.04	2.24	2.37	2.47	2.53	
1.93 ↔ 0.46		1.18	1.31	1.45	1.50	1.60	1.73	1.93	2.13	2.26	2.36	2.41	
1.83 ↔ 0.48		1.08	1.21	1.34	1.40	1.50	1.62	1.83	2.03	2.16	2.25	2.31	
1.73 ↔ 0.50		0.98	1.11	1.25	1.31	1.40	1.53	1.73	1.94	2.06	2.16	2.22	
1.64 ↔ 0.52		0.89	1.02	1.16	1.22	1.31	1.44	1.64	1.85	1.97	2.07	2.13	
1.56 ↔ 0.54		0.81	0.94	1.07	1.13	1.23	1.36	1.56	1.76	1.89	1.98	2.04	
1.48 ↔ 0.56		0.73	0.86	1.00	1.05	1.15	1.28	1.48	1.68	1.81	1.91	1.96	
1.40 ↔ 0.58		0.65	0.78	0.92	0.98	1.08	1.20	1.40	1.61	1.73	1.83	1.89	
1.33 ↔ 0.60		0.58	0.71	0.85	0.91	1.00	1.13	1.33	1.54	1.66	1.76	1.82	
1.27 ↔ 0.62		0.52	0.65	0.78	0.84	0.94	1.06	1.27	1.47	1.59	1.69	1.75	
1.20 ↔ 0.64		0.45	0.58	0.72	0.77	0.87	1.00	1.20	1.40	1.53	1.63	1.68	
1.14 ↔ 0.66		0.39	0.52	0.65	0.71	0.81	0.94	1.14	1.34	1.47	1.56	1.62	
1.08 ↔ 0.68		0.33	0.46	0.59	0.65	0.75	0.88	1.08	1.28	1.41	1.50	1.56	
1.02 ↔ 0.70		0.27	0.40	0.54	0.59	0.69	0.82	1.02	1.22	1.35	1.45	1.50	
0.99 ↔ 0.71		0.24	0.37	0.51	0.57	0.66	0.79	0.99	1.19	1.32	1.42	1.48	
0.96 ↔ 0.72		0.21	0.34	0.48	0.54	0.64	0.76	0.96	1.17	1.29	1.39	1.45	
0.94 ↔ 0.73		0.19	0.32	0.45	0.51	0.61	0.73	0.94	1.14	1.26	1.36	1.42	

Изчисляване на компенсираща уредба

Избор на броя и големината на стъпките на кондензаторната уредба

- Нормален товар с компенсиране до $\cos\phi = 0,95$
Необходими са 6-8 стъпки
- Нормален товар с компенсиране до $\cos\phi = 1,0$
Необходими са поне 10 стъпки
- Предприятия с много на брой електро двигатели
Необходими са поне 10 стъпки
- Големината на стъпките се избира в зависимост от големината на инсталираните консуматори и в зависимост от желаната прецизност



Хармоници

Какво представляват хармониците

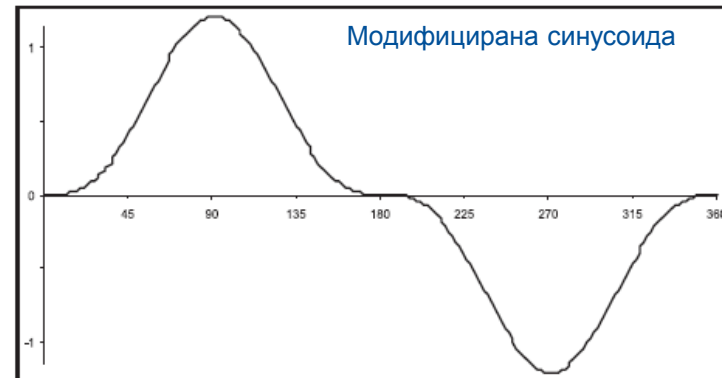
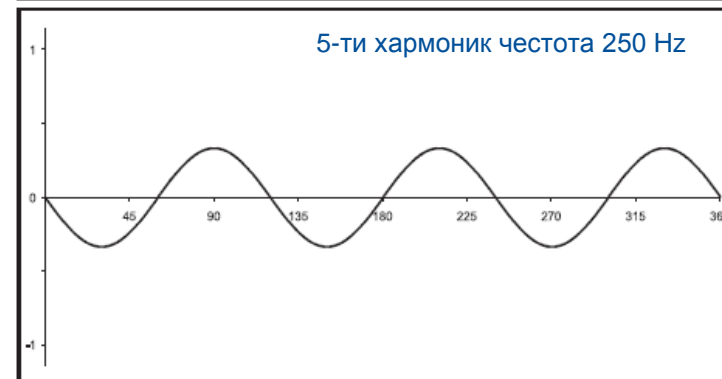
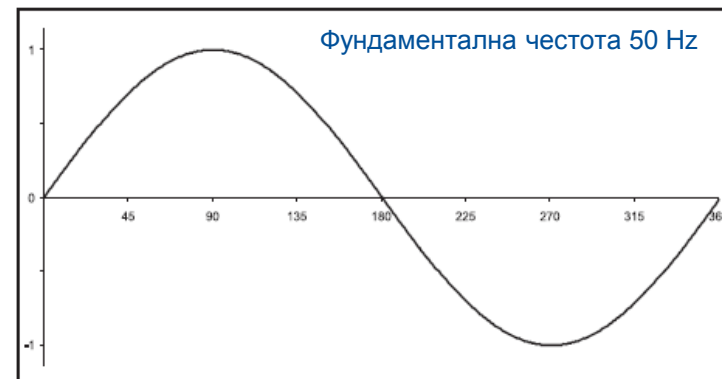
- Хармониците представляват смущения в синусиодата на основната честота умножени с цяло число “n” указващо реда на съответният хармоник

Пример:

Основна честота $f=50\text{Hz}$

5-ти хармоник $\rightarrow 50 \times 5 = 250\text{Hz}$

- Нелинейни товари (генериращи хармоници)
 - Електронни захранвания, Токоизправители
 - Луминисцентни осветители с ЕПРА
 - Честотни управления, Софтстартери
 - Индукционни пещи и заваръчни апарати
 - Непрекъсваеми захранвания (UPS)



Хармоници

Видове хармоници

- Четни хармоници (2-ри; 4-ти, 6-ти ит.н.)

Появяват се при резки промени в товара или при дефект в нелинейните товари. Нямаат постоянен характер

- Нечетни хармоници делими на 3 (3-ти; 9-ти, 15-ти и т.н.).

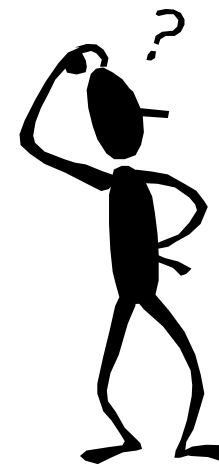
Появяват се при наличие на нелинейни монофазни товари. Най често в офисни сгради, болници, банки и др.

Проблем: хармониците в нулевият проводник се натрупват.

- Нечетни хармоници неделими на 3 (5-ти; 7-ми, 11-ти и т.н.).

Появяват се при наличие на нелинейни трифазни товари. Най често в индустриални предприятия.

Проблем: хармониците се предават през трансформаторите



- Хармоници по ток
Характеризират смущения предизвикани от товара

- Хармоници по напрежение
Характеризиран изкривяване на напрежението от доставчика на електроенергия (електроразпределително дружество, НЕК и т.н.)

Хармоници

Модифицирана синусоида

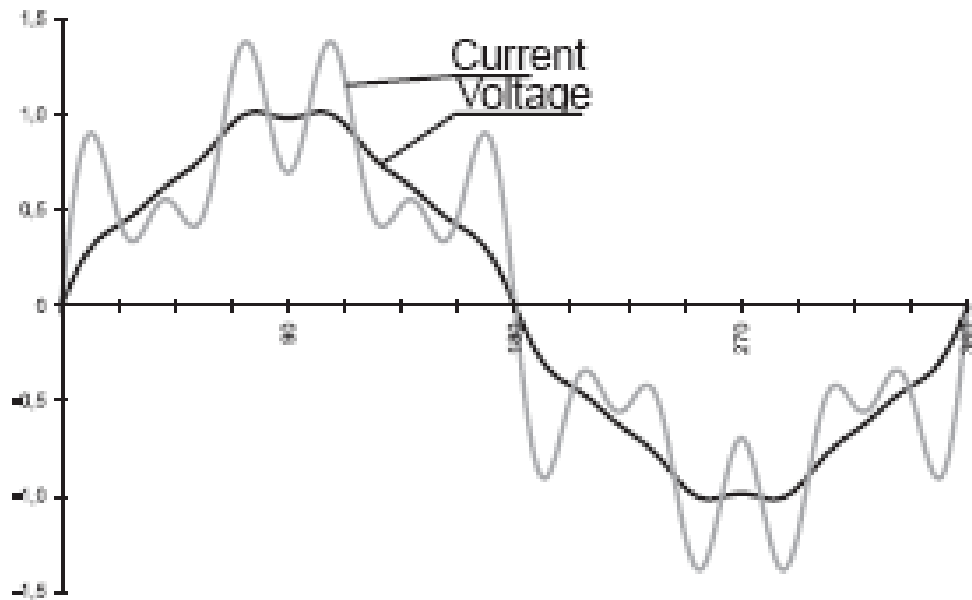
Пример за синусоида замърсена от:

- 5% от 5-ти хармоник
- 4% от 7-ми хармоник
- 2,5% от 11-ти хармоник

Изчисляване на общата замърсеност:

THD – Total Harmonic Distortion

$$V_{\text{thd}} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$



V_{thd} - общо изкривяване на напрежението

V_1 – напрежение на основната честота

V_2 - напрежение на 2-ри хармоник

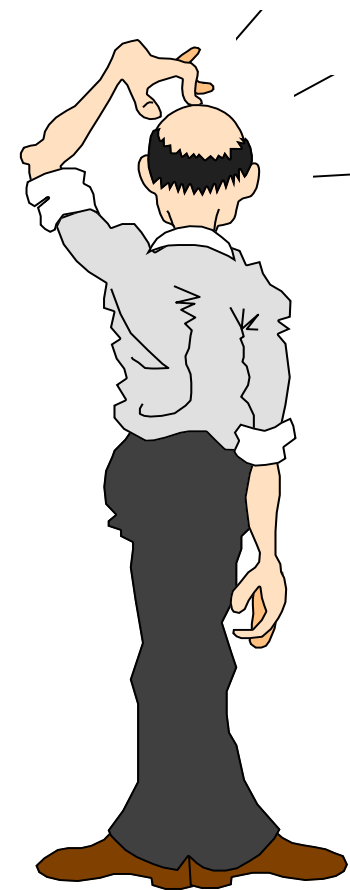
V_3 - напрежение на 3-ти хармоник

V_n - напрежение на n-ти хармоник

Хармоници

Проблеми създавани от хармониците

- Прегрявания и загуби в електро разпределителната система: кабели, трансформатори комутационна и защитна апаратура и др.
- Повишаване на напрежението и появата на циркулиращи токове при поява на резонанс
- Неправилна работа на консуматорите и погрешно сработване на защитите на прекъсвачите
- Грешки в измервателните апарати



Хармоници

Резонанс

Инсталирането на компенсаторна уредба без филтри (Реактори) води до формирането на резонансен кръг с индуктивността на мрежата:

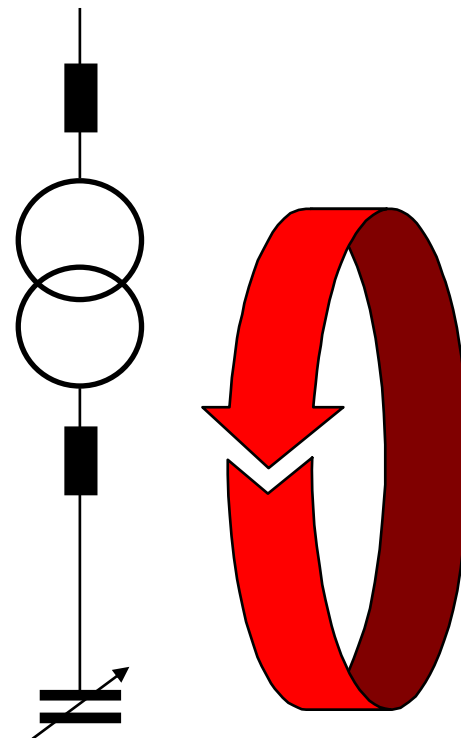
■ Резонансна честота f_r

$$f_r = 50\text{Hz} \cdot \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}}$$

S_k – мощност на късо съединение в точката на инсталиране на кондензаторната уредба

Q_c – Компенсираща мощност на кондензаторната уредба

S_k се определя от мощността на късо съединение на захранващия трансформатор S_n / u_k , намалена с импеданса в мрежата средно напрежение (около 10%) и силно намалена с импеданса на кабелите свързващи трансформатора с кондензаторната уредба!



Хармоници

Резонансни честоти - примери

Пример:

- Трансформатор 1000 kVA ; $u_k=6\%$
- Мощност на късо съединение в мрежа СрН – 150MVA ; $S_k \approx 12,5\text{MVA}$
- Инсталирана ККУ без реактори 400 kVAr ; 8 стъпки

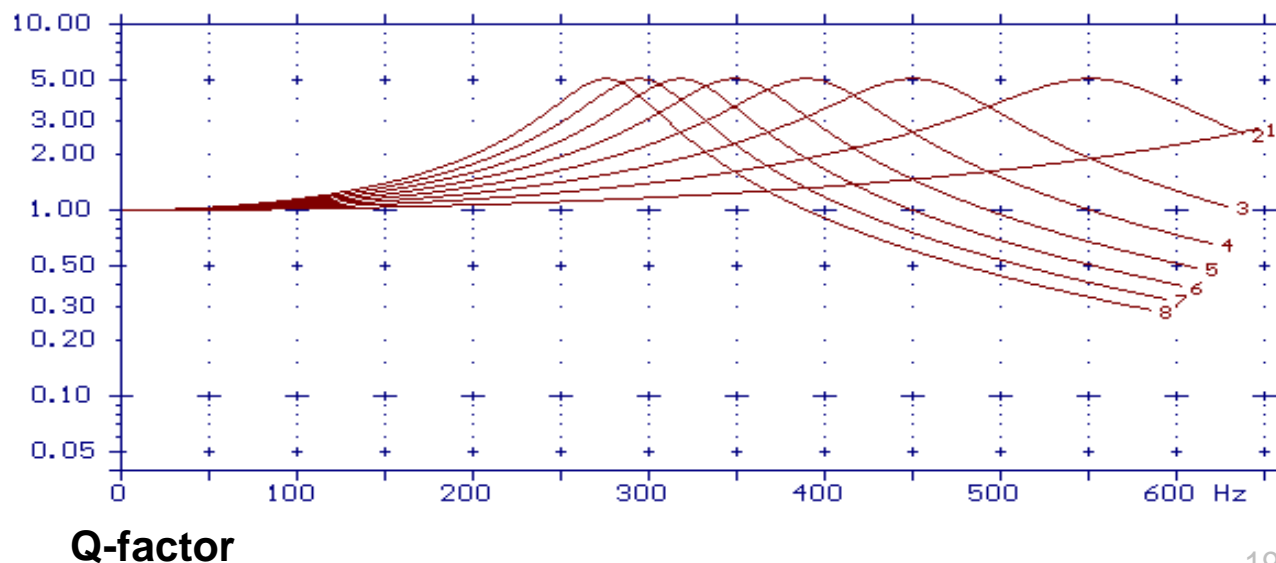
Capacitor
power rating (Q_c)

Resonant
frequency (f_r)

100 kVAr
250 kVAr
400 kVAr

562 Hz
355 Hz
281 Hz

В зависимост от броя и мощността на работещите стъпки, резонансната честота се променя и изпада в резонанс с различен ред хармоник!



Хармоници

Избор на реактори

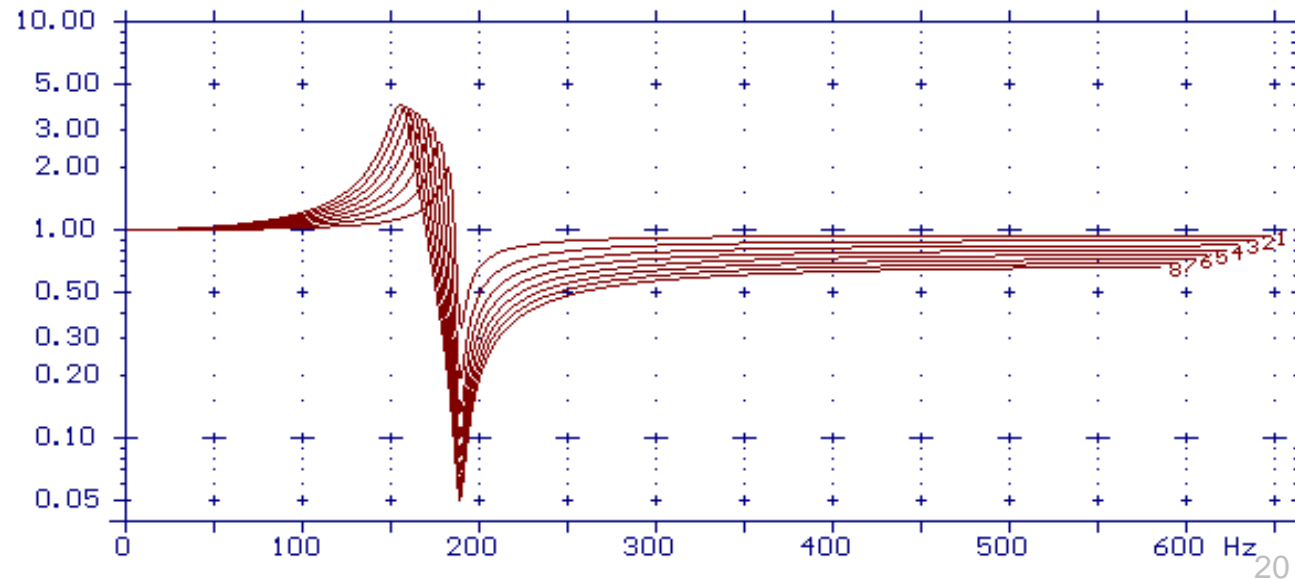
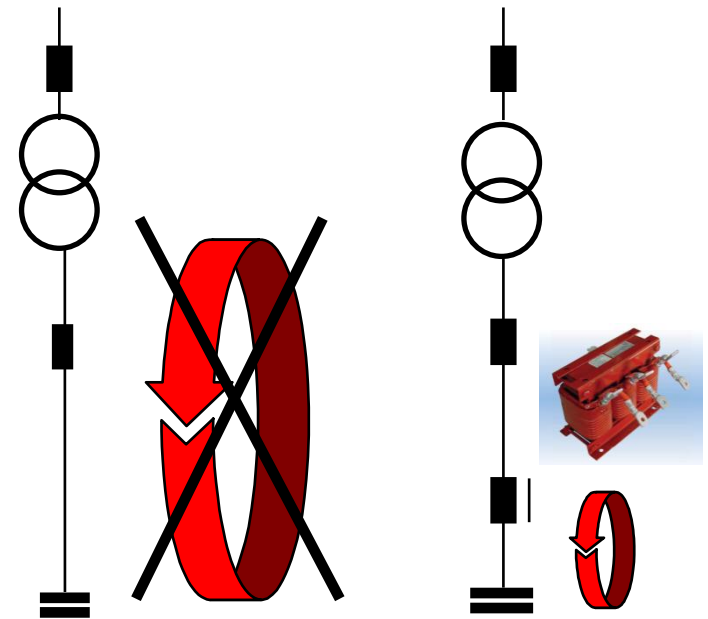
Реакторите се избират в зависимост резонансните честоти, които желаем да заглушим

$$f_r = 50 \text{ Hz} \cdot \sqrt{\frac{1}{p}}$$

$$p = 0.07 (7\%)$$
$$f_r = 189 \text{ Hz}$$

p – относителен пад на напрежение в реактора

f_r – резонансна честота



Хармоници

Какво трябва да запомним

- При индустриални инсталации замърсени с 5-ти, 7-ми, 11-ти и т.н. хармоници се препоръчва използването на кондензаторни батерии с реактор 7%, който подтиска резонанса в честоти над 189 Hz.
- При административни сгради замърсени с 3-ти, 5-ти, 7-ми, 11-ти и т.н хармоници се препоръчва използването на кондензаторни батерии с реактор 14% който подтиска резонанса в честоти над 134 Hz.
- Използването на кондензаторни батерии без реактори е желателно да бъде съпроводено с необходимият брой измервания и изчисления, доказващи липсата на хармоници.



Компенсирани уредби от SCHRACK

Готови асемблирани батери (ККУ)

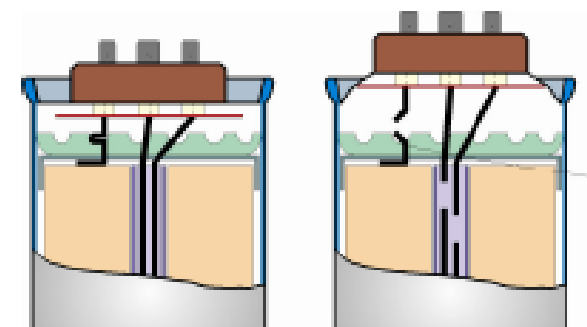
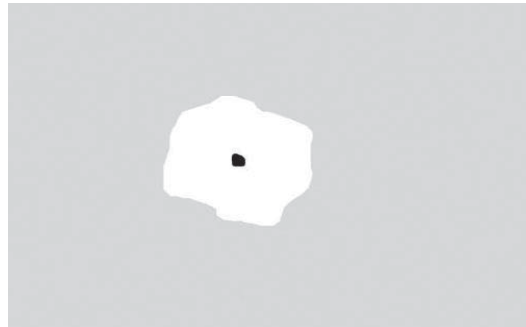
- Асемблирани и тествани в заводски условия
- Лесно инсталиране и настройка
- Вградена защита на кондензаторите
- Охлаждане изчислено за типа кондензаторна батерия
- Пълна документация
- Лесна поддръжка



Компенсирани уредби от SCHRACK

Компоненти за кондензаторни уредби

- Самовъзстановяващо се сегментирано фолио
- Вграден разединител за налягане
- Сегментирано фолио
- Висока допустима работна температура и температура околната среда
- Голямо претоварване по ток (до 2,7 пъти)
- Дълъг живот



Компенсирани уредби от SCHRACK

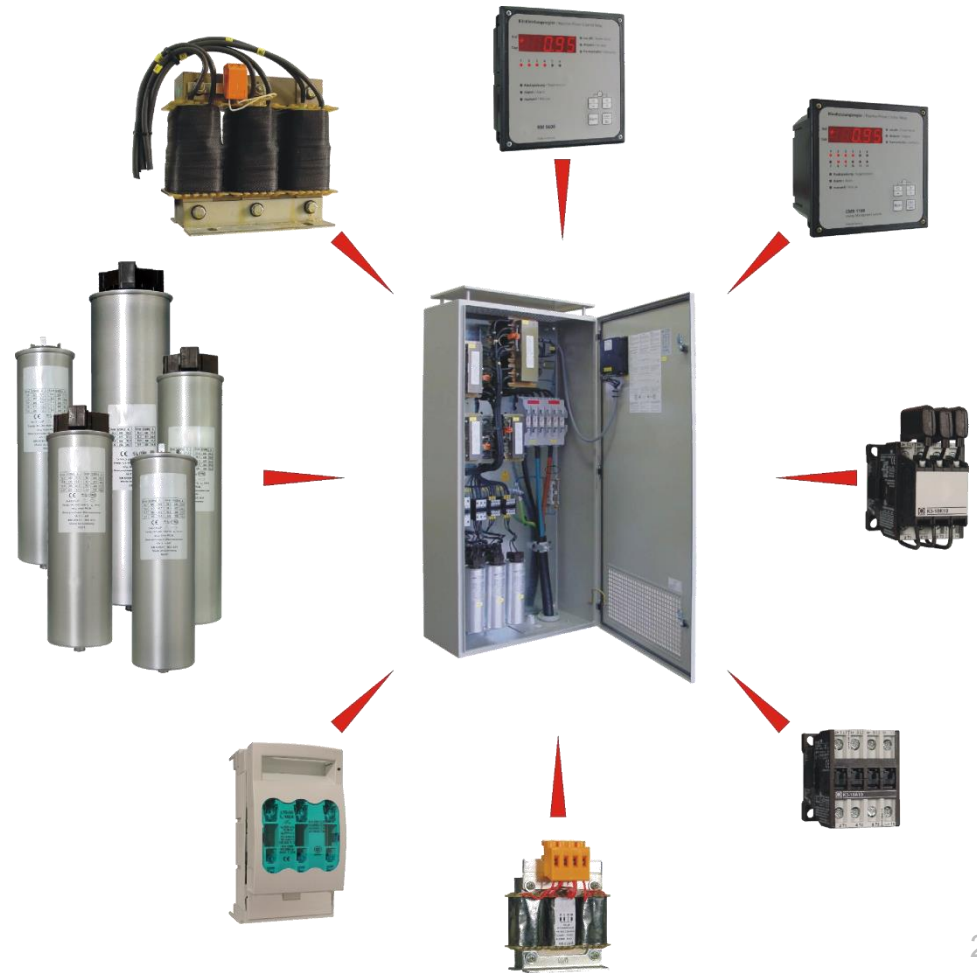
Характеристики на кондензаторите

Category	Basic Capacitor	Standard Capacitor	Premium Capacitor		Heavy Duty Capacitor
Mode of operation	Basic	Standard	Premium	Standard*	Heavy Duty
Rated voltage	208...525 V	208...800 V	208...525 V	208...615 V	208...525 V
Max. overcurrent capability at rated voltage (permanent)	$1.5 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $1.25 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$1.8 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $1.5 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$2.2 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $1.8 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$2.0 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $1.65 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$2.7 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $2.25 \times I_N / 60 \text{ Hz}$
Max. inrush current capability at rated voltage	$200 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $167 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$250 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $208 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$300 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $250 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$300 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $250 \times I_N / 60 \text{ Hz}$	$450 \times I_N / 50 \text{ Hz}$ $375 \times I_N / 60 \text{ Hz}$
Temperature class	-25 °C / D** (-13 °F / D**)	-40 °C / +60 °C (-40 °F / +140 °F)	-40 °C / +65 °C (-40 °F / +149 °F)	-40 °C / +60 °C (-40 °F / +140 °F)	-40 °C / +68 °C (-40 °F / +154 °F)
Min. / max. temperature (permanent)	-25 °C / +55 °C (-13 °F / +131 °F)	-40 °C / +60 °C (-40 °F / +140 °F)	-40 °C / +65 °C (-40 °F / +149 °F)	-40 °C / +60 °C (-40 °F / +140 °F)	-40 °C / +68 °C (-40 °F / +154 °F)
Maximum case temperature	70 °C (158 °F)	75 °C (167 °F)	78 °C (172.4 °F)	75 °C (167 °F)	78 °C (172.4 °F)
Dielectric power loss	0.2 W/kvar				
Mean life expectancy	100 000h	130 000h	170 000 h	130 000h	200 000h

Компенсирани уредби от SCHRACK

Компоненти за кондензаторни уредби

- Контролери
- Реактори
- Контактори
- Разединители със стопяеми предпазители
- Шинни системи
- Индустириални шкафове
- Охлаждане на табла



Благодаря Ви за вниманието!

Красимир Червенков
sofia@schrack.bg



*Get Ready. **Get Schrack.***