

inż. Tomasz Wałędzik
ELMA energia, Olsztyn

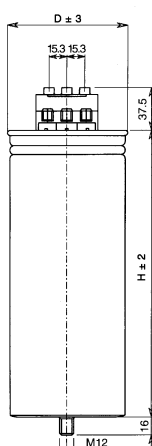
Kondensatory energetyczne niskich i średnich napięć

Kondensatory energetyczne niskich napięć

Kondensatory energetyczne (mocy) stosowane są w elektroenergetyce od końca XIX wieku, kiedy to uruchomiono pierwsze trójfazowe sieci prądu zmiennego (1891).

Z elektrycznego punktu widzenia, od tamtego czasu rola i funkcje kondensatora pozostały takie same. Zmieniły się jedynie technologie wytwarzania, a co za tym idzie jego wydajność.

Rozwój technologiczny dąży do zmniejszenia rozmiarów jednostek kondensatorowych, ich strat mocy czynnej oraz do zwiększenia maksymalnej mocy pojedynczej jednostki kondensatorowej i wydłużenia jej przewidywanej żywotności. Przykładowo w latach 70-tych jednostka kondensatorowa typu CO 380-3/20 o mocy 20kVar na napięciu 380 V miała wysokość 485 mm, szerokość 350 mm i masę 26kg. Wymiary obecnie stosowanego kondensatora o tej samej mocy i na to samo napięcie przedstawiono na rys.1



Rys. 1. Wymiary stosowanego obecnie kondensatora typu Modulo25 firmy DUCATI o mocy 20kVar na napięciu 380V. Wymiar $H = 260$ mm, $D = 100$ mm. Masa: 2,5kg

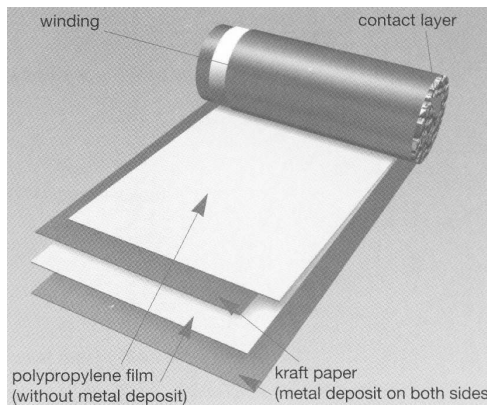
Kondensator mocy niskich napięć składa się z elementów pojemnościowych, umieszczonych w obudowie z wyprowadzonymi zaciskami i izolowanych od siebie oraz od obudowy.

Podstawowe właściwości konstrukcyjne kondensatorów mocy niskich napięć:

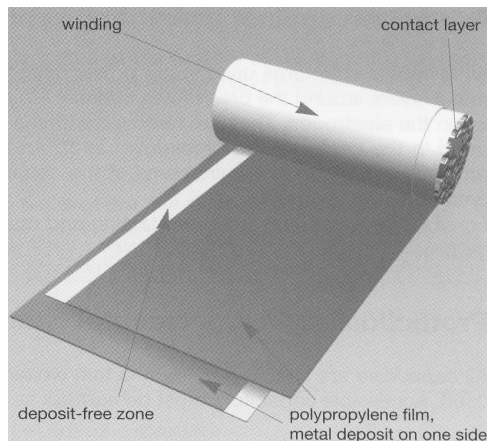
- **technologia wykonania elementów pojemnościowych tzw. zwijek**

Elementy pojemnościowe kondensatorów energetycznych wykonywanych dawniej składały się z kilku warstw papieru kondensatorowego, nasyconego odpowiednio przygotowanym olejem mineralnym lub syntetycznym, oraz cienkiej folii aluminiowej spełniającej funkcję okładzin kondensatora.

Obecnie stosuje się następujące technologie wykonania elementów pojemnościowych:



Technologia MPP (MKV) – zwijki złożone są z folii polipropylenowej oraz obustronnie metalizowanej taśmy papierowej służącej jako elektroda



Technologia MKP (MKK, MKF) – zwijki składają się z folii polipropylenowej, metalizowanej mieszanką cynku i aluminium.

Folia polipropylenowa posiada właściwość samoregeneracji. W przypadku lokalnego przebicia (w wyniku przeciążenia kondensatora lub procesów starzeniowych), powstaje mały łuk elektryczny, który powoduje wyparowanie metalicznej powłoki wokół miejsca uszkodzenia i odtworzenie izolacji. Dalsza praca przebiega z nieznacznie zmniejszoną pojemnością.

- **obudowa**

Wykorzystywane są dwa podstawowe rodzaje obudów kondensatorów niskich napięć:

- obudowy prostokątne,
- obudowy cylindryczne.

Do początku lat 80. stosowano praktycznie wyłącznie jednostki w stalowych obudowach prostokątnych. I choć dzisiejsze kondensatory różnią się od stosowanych w tamtym czasie, jednostki w obudowach prostokątnych stosowane są do dzisiaj, ze względu na łatwiejsze usadowienie oraz w celu wymiany starych jednostek. Elementy pojemnościowe mogą stanowić integralną część kondensatora (np. w kondensatorach typu EK60), jednakże najczęściej w tym celu stosowane są jedno- lub trójfazowe cylindryczne kondensatory mocy w obudowach aluminiowych (np. w kondensatorach typu EKM firmy ELMA energia).

W kondensatorach cylindrycznych, elementy pojemnościowe stanowią integralną część kondensatora.



Rys. 2. Trójfazowy kondensator mocy w obudowach prostokątnych EKM firmy ELMA energia.



Rys. 3. Trójfazowy kondensator mocy w obudowie prostokątnej EK60 firmy ELMA energia



Rys. 4. Kondensator mocy w obudowie cylindrycznej typu Modulo firmy DUCATI energia

- wykonanie jedno- lub trójfazowe

Jednostki w obudowach prostopadłościennych produkowane są jako jedno- i trójfazowe. Praktycznie rozwiązania przewidują możliwość umieszczenia w jednej obudowie mocy do 100kVar. Jednostki cylindryczne produkowane są w następujących podwariantach:

- jednofazowe małej mocy, o mocach do 4,17kVar, służące do składania jednostek trójfazowych w prostopadłościennych obudowach stalowych lub z tworzywa sztucznego oraz do baterii kondensatorów małych mocy,
- jednofazowe dużej mocy (do 50kVar), służące do zastosowań specjalnych
- trójfazowe dużej mocy (do 50kVar), najczęściej używane w układach kompensacji mocy biernej.

- napięcie znamionowe

Kondensatory mocy niskich napięć wykonywane są dla napięcia międzyfazowego od 230 do 1000V. Najczęściej spotykanymi są napięcia: 230, 400, 415, 440, 450, 500, 525, 550, 660, 690V.

- częstotliwość sieci

Kondensatory wykonywane są dla częstotliwości sieci 50Hz i 60Hz (głównie na rynki amerykański Płn. i Płd.).

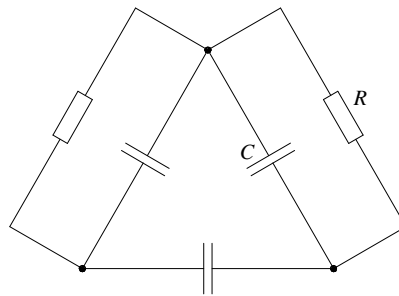
- układ połączeń (dla jednostek trójfazowych)

Trójfazowe kondensatory niskich napięć najczęściej łączone są wewnątrz w trójkąt. Jednostki na napięcia od 660V w górę łączone są wewnątrz w gwiazdę.

- czas rozładowania

Czas rozładowania kondensatorów niskich napięć zgodnie z normą IEC60831 powinien wynosić najwyżej 3 minuty do wartości 75V (w praktyce, w Polsce przyjmuje się czas rozładowania do 50V w przeciągu 1 minuty). Wartość ta osiągana jest poprzez instalowanie oporników rozładowczych na zaciskach kondensatora. W związku z

łatwością instalacji, najczęściej stosuje się układ oporników rozładowczych zaprezentowany na rysunku poniżej.



Rys. 5. Najczęściej stosowany w praktyce układ oporników rozładowczych dla kondensatorów trójfazowych.

Rezystancja opornika rozładowczego powinna wynosić:

$$R \leq \frac{t}{k \times C \times I_N \times \frac{U_N \sqrt{2}}{U_R}}$$

gdzie: t – czas rozładowania w sekundach (s)

R – rezystancja rozładowcza w megaomach ($M\Omega$)

C – pojemność znamionowa w mikrofaradach (μF) na fazę

U_N – napięcie znamionowe jednostki w woltach (V)

U_R – dopuszczalne napięcie szczytowe w woltach (V)

k – współczynnik zależny od sposobu przyłączenia rezystorów (w przypadku jak na schemacie powyżej współczynnik k wynosi 3).

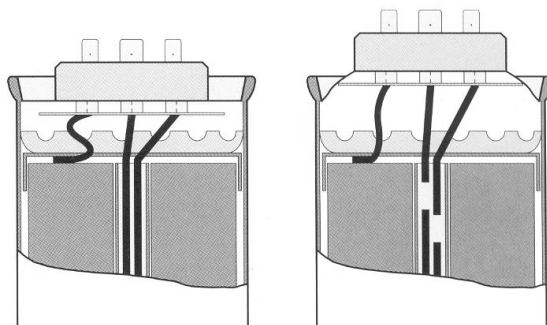
- impregnat (dielektryk)

Dawniej jako impregnat stosowano oleje zawierające polichlorowane bifenylole (PCB). Po wprowadzeniu zakazów stosowania tych środków, do impregnacji zaczęto stosować oleje roślinne i mineralne, zaś w latach 90. – żele, żywicę epoksydową i gaz (azot). W ostatnim czasie coraz więcej firm produkujących kondensatory niskich napięć powraca do technologii opierającej się o oleje, w szczególności roślinne. Związane to jest między innymi z niższymi stratami mocy czynnej, lepszym chłodzeniem elementów pojemnościowych oraz dłuższej żywotności kondensatorów o dielektryku olejowym. W tabeli poniżej przedstawiono porównanie podstawowych parametrów określających żywotność kondensatora, na podstawie danych producentów oferujących trzy różne technologie wykonania kondensatorów: z impregnacją suchą, gazową i olejową.

Parametr	Impregnacja		
	Sucha	Gazowa	Olejowa
Przewidywana żywotność (h)	100.000	100÷130.000	150÷175.000
Dopuszczalny prąd rozruchowy ($\times I_n$)	100	100÷200	300
Maksymalna temperatura obudowy	+55°C	+55°C	+70°C

- zabezpieczenia nadciśnieniowe

Nowoczesne jednostki kondensatorowe niskich napięć wyposażone są w nadciśnieniowe zabezpieczenia od zwarć wewnętrznych. W momencie zwarcia, przepływ prądu powoduje rozpad dielektryka, powodując wydzielania się gazu. Ciśnienie wewnątrz obudowy rośnie w powoduje wypchnięcie górnej części obudowy wraz z zaciskami, rozrywając przy tym wewnętrzne połączenia w kondensatorze. Rozwiązanie takie zapobiega „wybuchom” jednostek kondensatorów.



Rys. 6. Przykładowe rozwiązanie zabezpieczenia nadciśnieniowego

- warunki środowiskowe

Klasa temperaturowa: Zgodnie z normą IEC60831, temperatura pracy kondensatora jest określona przez cyfrę i literę. Cyfra oznacza minimalną temperaturę otoczenia, w której może pracować kondensator i powinna zostać wybrana z pięciu zalecanych wartości: +5°C, -5°C, -25°C, -40°C, -50°C. Litera oznacza maksymalną temperaturę otoczenia, zgodnie z tabelą poniżej.

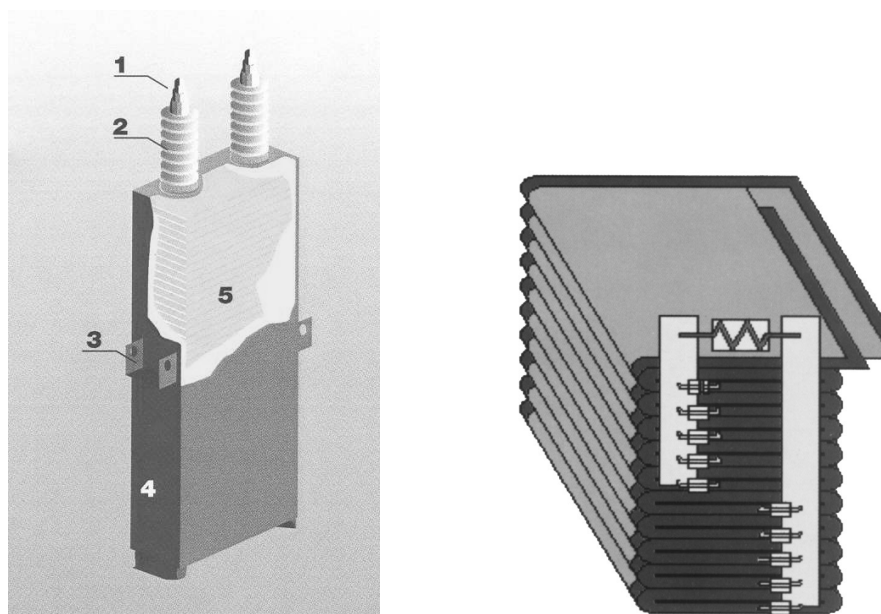
Symbol	Temperatura toczenia °C		
	Najwyższa wartość	Najwyższa w okresie:	
		24h	1 roku
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Norma zaleca następujące kategorie temperatury: -40/A, -20/A, -5/A, oraz -5/C. W praktyce, producenci kondensatorów najczęściej jako klasę temperaturową jednostek określają jako -25/B, -25/C lub -25/D.

Wysokość instalacji nad poziomem morza: wg normy IEC60831, wysokość miejsca zainstalowania nie powinna przekraczać 2000m n.p.m.

Kondensatory energetyczne średnich napięć

Standardem produkcji kondensatorów średnich napięć są jednostki składające się z elementów pojemnościowych, połączonych pomiędzy sobą w układ równoległy i szeregowy, impregnowanych syciwem izolacyjnym i umieszczonych w hermetycznej obudowie z wyprowadzonymi na zewnątrz biegunami. Kondensatory mocy wyposażone są w wewnętrzne oporniki rozładowcze, gwarantujące obniżenie napięcia do wartości przewidzianych normami. Na rysunku nr 1 przedstawiono budowę typowego kondensatora średnio napięciowego typu „all-film”.



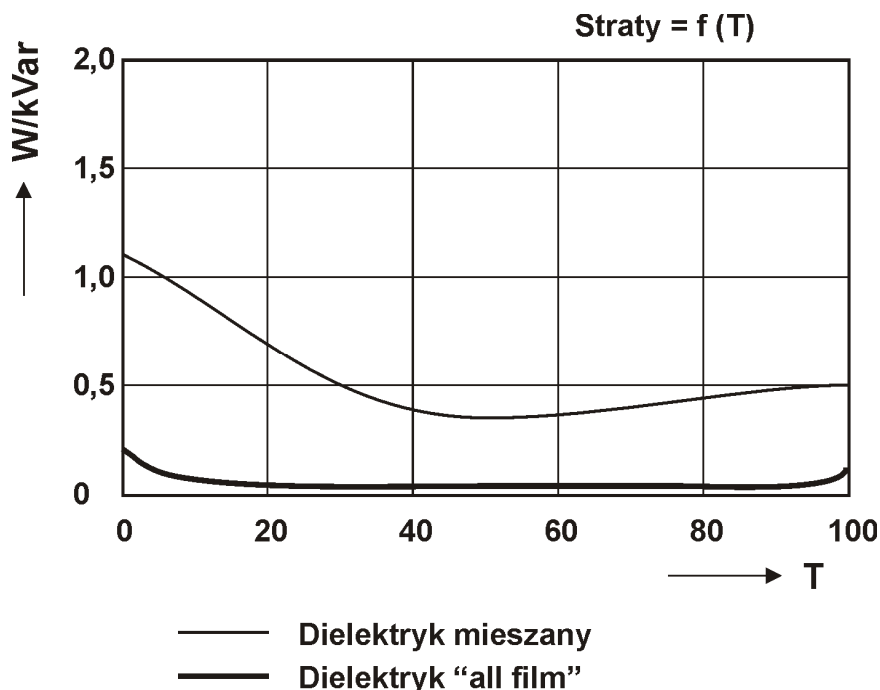
Rys. 1. Budowa kondensatora jednofazowego SN typu „all film”: 1-zacisk przyłączeniowy; 2-izolator przepustowy; 3- uchwyt mocujący; 4-kadź ze stali; 5-część „aktywna”

Jest to najnowocześniejsza technologia produkcji kondensatorów średnich napięć, w której jako dielektryk dla elementów pojemnościowych stosowana jest syntetyczna folia polipropylenowa. Wcześniej, stosowana była również technologia oparta na układzie mieszanym z bibułą kondensatorową, jednakże do roku 1993 papiernie wycofały się z produkcji bibuły, jako że koszt folii polipropylenowej stał się niższy od kosztu bibuły.

Elektrodę stanowi folia aluminiowa, która jest zazwyczaj cięta laserem, aby zachować gładkie krawędzie, co obniża pole elektryczne w miejscu cięcia. Dzięki wyeliminowaniu mikroskopijnych ostrych krawędzi, które pojawiają się podczas cięcia tradycyjnymi metodami, napięcie początkowe wyładowań niezupełnych rośnie. Ma to korzystny wpływ na wytrzymałość napięciową jednostki kondensatorowej.

Kondensatory wykonywane w technologii all-film, w porównaniu z kondensatorami starej generacji, wykonywanymi w oparciu o dielektryk papierowy lub mieszany, charakteryzują się dłuższą żywotnością, wynikającą z:

- dużej stabilności termicznej związanej z małymi stratami mocy,
- dużej stabilności elektrycznej dielektryka, co skutkuje wyższą zdolnością pochłaniania wyładowań niezupełnych, dużą odpornością na przetężenia i przepięcia chwilowe, małą zmiennością pojemności w funkcji temperatury.



Rys. 2. Zależność strat mocy w funkcji temperatury.

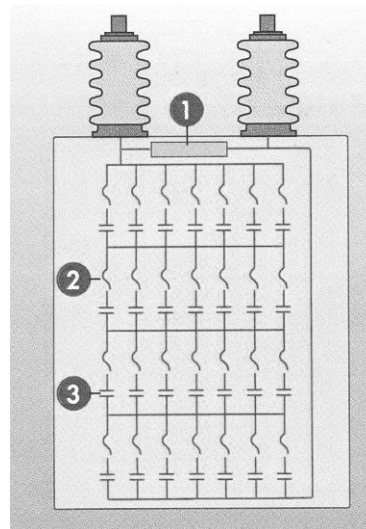
Od syciw kondensatorowych wymaga się dobrych własności pod względem wytrzymałości elektrycznej, współczynnika stratności dielektrycznej, przenikalności dielektrycznej oraz odporności na starzenie. Duże wymagania są spowodowane trudnymi warunkami pracy, oleje kondensatorowe pracują przy stosunkowo niskiej temperaturze, przy braku dostępu powietrza, ale przy bardzo dużym natężeniu pola elektrycznego i trudnych warunkach chłodzenia.

Jako impregnat, używane są oleje mineralne oraz syntetyczne, nie zawierające polichlorowanych bifenyli (PCB). Do najpopularniejszych syciw należą: Jarylec C101, SAS-40 oraz PXE [4].

Kondensatory powinny być wyposażone w **oporniki rozładowcze**, gwarantujące obniżenie napięcia do 75V w ciągu 10 minut od chwili odłączenia spod napięcia [3]. W praktyce, producenci kondensatorów oferują jednostki wyposażone w oporniki pozwalające na obniżenie wartości napięcia szczytkowego na zaciskach do 50V w czasie 5 minut.

Zabezpieczenia wewnętrzne działają w przypadku uszkodzenia pojedynczego elementu pojemnościowego kondensatora, powodując odłączenie jedynie uszkodzonego elementu i zapewniając pracę całej jednostki kondensatorowej przy jedynie nieznacznie zmniejszonej mocy.

Przy złożonych układach kompensacyjnych dużej mocy i wysokich napięć, najczęściej stosowane są bezpieczniki zewnętrzne, odcinające uszkodzony kondensator i pozwalające na dalszą pracę baterii kondensatorów, jeżeli nie spowoduje to wzrostu napięcia na innych jednostkach.



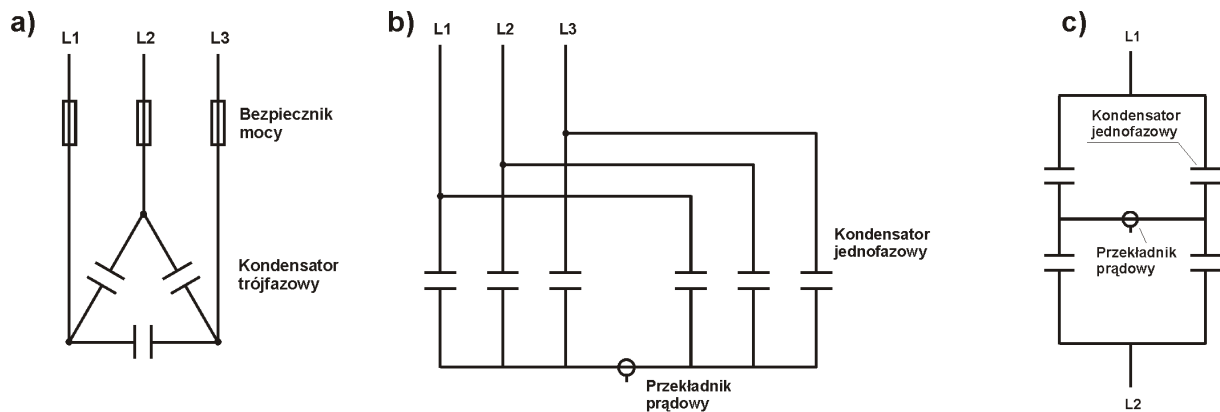
Rys. 3. Przekrój kondensatora SN typu „all-film” z bezpiecznikami wewnętrznymi:
1-rezystor rozładowczy; 2-bezpiecznik wewnętrzny; 3-element pojemnościowy

Zabezpieczenia nadciśnieniowe służą do zabezpieczenia kondensatorów w układach, gdzie brak możliwości zastosowania bezpieczników wewnętrznych. Czujnik nadciśnieniowy jest przymocowany hermetycznie do kadzi kondensatora. W czujniku tym znajduje się membrana reagująca na podwyższone ciśnienie, które może być spowodowane uszkodzeniem elementów pojemnościowych kondensatora.

Kondensatory jednofazowe mogą być łączone w następujące układy:

- trójkąt – ten typ połączeń jest stosowany dla baterii o małej mocy i napięciu do 12kV (takie baterie są przede wszystkim przeznaczone do indywidualnej kompensacji silników SN)

- gwiazda,
- podwójna gwiazda z przekładnikiem zabezpieczenia zero-prądowego,
- układ H (stosowany do kompensacji mocy biernej w bateriach jednofazowych).
-



Rys. 4. Typowe układy połączeń kondensatorów SN: a) trójkąt; b) podwójna gwiazda; c) układ H

Literatura:

- [1] Krzysztof Matyjasek, Grzegorz Wasilewski „Podstawowe zagadnienia z zakresu kompensacji mocy biernej”
- [2] Piotr Nowak „Kompensacja mocy biernej w sieciach nn”
- [3] Katalog firmy „Electronicon”, wydanie 2002/I
- [4] Koziej Eugeniusz „Elektrotechnika ogólna”, PWN, Warszawa 1971
- [5] Norma IEC60831
- [6] Strojny Jan „Kondensatory w sieci zakładu przemysłowego”, WN-T, Warszawa 1976
- [7] Łukasz Matyjasek „Kondensatory energetyczne niskich napięć”
- [8] S. Grzybowski, A. Kordus, C. Królikowski: „Kondensatory w energoelektryce”; WNT, W-wa 1964,
- [9] J. Strojny: „Kondensatory w sieci zakładu przemysłowego”; WNT, W-wa 1976,
- [10] PN-EN 60871-1,2: Kondensatory do równoległej kompensacji mocy biernej w sieciach elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu znamionowym powyżej 1kV,
- [11] Karty katalogowe firm: Ducati energia, Alpes Technologies, Icar oraz Nokian capacitors,
- [12] Grzegorz Wasilewski “Kondensatory średnich napięć do kompensacji mocy biernej”.