

# **MASZYNY ELEKTRYCZNE**


## **TRANSFORMATORY**


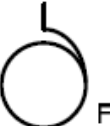




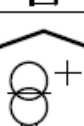
# ZAKRES WYKŁADU

- 1) Symbole elektryczne transformatorów
- 2) Przepisy ...
- 3) Połączenia uzwojeń
- 4) Transformatory wielofazowe
- 5) Transformatory specjalne
- 6) Rodzaje chłodzenia
- 7) Rodzaje pracy

## SYMBOLE ELEKTRYCZNE TRANSFORMATORÓW

	EN 61558-2-2	transformator sterowniczy bezpieczny w przypadku uszkodzenia
	EN 61558-2-2	transformator sterowniczy nieodporny na zwarcie
	EN 61558-2-2	transformator sterowniczy odporny na zwarcie (warunkowo lub bezwarunkowo)
	EN 61558-2-1	transformator oddzielający bezpieczny w przypadku uszkodzenia
	EN 61558-2-1	transformator oddzielający nieodporny na zwarcie
	EN 61558-2-1	transformator oddzielający odporny na zwarcie (warunkowo lub bezwarunkowo)
	EN 61558-2-4	transformator separacyjny bezpieczny w przypadku uszkodzenia

	EN 61558-2-4	transformator separacyjny nieodporny na zwarcie
	EN 61558-2-4	transformator separacyjny odporny na zwarcie (warunkowo lub bezwarunkowo)
	EN 61558-2-6	transformator bezpieczeństwa
	EN 61558-2-6	transformator bezpieczeństwa bezpieczny w przypadku uszkodzenia
	EN 61558-2-6	transformator bezpieczeństwa nieodporny na zwarcie
	EN 61558-2-6	transformator bezpieczeństwa odporny na zwarcie (warunkowo lub bezwarunkowo)
	EN 61558-2-19	transformator separacyjny tłumiący zakłócenia nieodporny na zwarcie

	EN 61558-2-19	transformator bezpieczeństwa tłumiący zakłócenia odporny na zwarcie
	EN 61558-2-13	autotransformator bezpieczny w przypadku uszkodzenia
	EN 61558-2-13	autotransformator nieodporny na zwarcie
	EN 61558-2-13	autotransformator odporny na zwarcie (warunkowo lub bezwarunkowo)
	EN 61558-2-20	dławik bez zabezpieczenia przeciwprzeciążeniowego
	EN 61558-2-20	dławik z zabezpieczeniem przeciwprzeciążeniowym
	EN 61558-2-15	transformator separacyjny nieodporny na zwarcie do zasilania pomieszczeń medycznych

Urządzenia elektryczne w tym transformatory powinny spełniać wymagania odpowiednich norm międzynarodowych i krajowych, Norma jest dokumentem określającym wytyczne dotyczące konstrukcji, opisu i sprawdzenia danego produktu.

### **Transformatory suche powinny być produkowane w oparciu o wymagania norm:**

- międzynarodowych – IEC60726 ; IEC60076 ; IEC61558
- europejskich – EN60726 ; EN60076 ; EN61558
- innych krajów np.: – rosyjskich – GOST

### **Dławiki powinny być produkowane w oparciu o wymagania norm:**

- międzynarodowych – IEC60726 ; IEC60076 ; IEC61558
- europejskich – EN60289 ; EN60938 ; EN61558
- innych krajów np.: – rosyjskich – GOST

W zależności od przeznaczenia urządzenie powinno także spełniać wymagania przepisów odpowiednich, **branżowych towarzystw klasyfikacyjnych** i posiadać ich certyfikat, a spełnienie wymagań odpowiedniego certyfikatu powinno być zaznaczone na urządzeniu.

Na potrzeby **przemysłu stocznioowego** urządzenia podlegają nadzorowi i certyfikacji n/w towarzystw klasyfikacyjnych:

- ABS – American Bureau of Shipping - USA
- BV – Bureau Veritas - Francja
- CCS – China Classification Society - Chiny
- DNV – Det Norske Veritas - Norwegia
- GL – Germanischer Lloyd - Niemcy
- LR – Lloyds Register of Shipping - Wielka Brytania
- NKK – Nippon Kaiji Kyokai - Japonia
- RINA – Registro Italiano Navale - Włochy
- PRS – Polski Rejestr Statków - Polska
- RS – Russian Maritime Register of Shipping – Rosja

Na potrzeby **wojska** urządzenia powinny spełniać wymagania Wojskowej Instytucji Narodowej ds. Zapewnienia Jakości i posiadać:

- certyfikat AQAP – wydawany przez Wojskową Instytucję Narodową kraju należącego do NATO
- kod NCAGE – Natowski Kod Podmiotu Gospodarki Narodowej wydany przez Wojskowe Centrum Normalizacji i Kodyfikacji – Oddział Kodyfikacji Wyrobów Obronnych

Na potrzeby **górnictwa** urządzenia powinny posiadać atesty dopuszczające do zastosowań **górnictwowych**, wydawane przez odpowiednie laboratorium testujące lub Organ Certyfikujący danego kraju.

**CE** – znak dotyczący bezpieczeństwa i zdrowia użytkowników urządzeń oraz wpływu na środowisko - umieszczenie znaku na produkcie gwarantuje, że produkt został wykonany i sprawdzony zgodnie z wymogami odnośnych przepisów. Oznacza to, że produkt jest bezpieczny i może być sprzedawany na rynku krajów Unii Europejskiej. Odpowiedzialność za produkt, ponosi producent, a także jego dystrybutor lub sprzedawca. Znak CE nie świadczy o jakości produktu.

Zagadnienie bezpieczeństwa produktu regulują dyrektywy Parlamentu Europejskiego:

**Dyrektywa - MD - maszynowa nr 2006/42/WE** dotycząca kompletnych urządzeń.

**Dyrektywa - EMC- o kompatybilności elektromagnetycznej nr 2004/108/WE** dotycząca urządzeń które mogą generować zakłócenia elektromagnetyczne i być na nie podatne. Nie dotyczy urządzeń, które mogą generować zakłócenia w stanach nieustalonych.

**Dyrektywa - LVD - niskonapięciowa nr 2006/95/WE** opisująca wymagania dotyczące sprzętu elektrycznego pracującego w zakresach napięć:

- przemiennego od 50 do 1000 V
- stałego od 75 do 1500 V

## WYBÓR GRUPY POŁĄCZEŃ UZWOJEŃ W TRANSFORMATORACH TRÓJFAZOWYCH

Najczęściej spotykamy się z następującymi układami połączeń: **Yy, Dy, Yd, Yz** oraz **Dz**. Dodatkowo uzwojenia połączone w gwiazdę i zygzak posiadają punkt zerowy, który może być wyprowadzony bądź utajniony.

Prawidłowy wybór układu połączeń transformatorów trójfazowych uzależniony jest od kilku czynników:

- układu zasilającego transformator:
- transformator zasilany z sieci (trójprzewodowej, czteroprzewodowej)
- transformator zasilany z przekształtnika
- mocy transformatora
- poziomu napięć
- niesymetrii obciążenia
- niesymetria obciążenia przy zasilaniu symetrycznym układem napięć
- niesymetria obciążenia wynikająca z niesymetrycznego układu napięć zasilających
- względów ekonomicznych (koszt budowy transformatora o różnych układach połączeń)

**Układ  $Yy$**  połączeń uzwojeń stosuje się głównie w transformatorach o małych mocach znamionowych zasilających symetryczne odbiory trójfazowe.

Czasami połączenie to stosuje się do układów o dużych mocach znamionowych, w których zachodzi potrzeba uziemienia punktów zerowych połączeń gwiazdowych.

Układ ten jest niekorzystny ze względu na konieczność ograniczania szkodliwego wpływu braku harmonicznych rzędu  $v=3n$  ( $n=1,3,7\dots$ ) w prądzie jałowym przy zasilaniu z sieci trójprzewodowej.

Układ ten jest niekorzystny również przy obciążeniu niesymetrycznym (prądy składowej zerowej), gdy wyprowadzony jest punkt zerowy połączenia w gwiazdę uzwojeń wtórnych.

Stwarza to konieczność wprowadzenia dodatkowego uzwojenia, tzw. kompensacyjnego, połączonego w trójkąt.

**Układ Dy** połączeń uzwojeń stosuje się głównie w transformatorach obniżających napięcie, z reguły o większych mocach znamionowych. Transformatory z takimi układami połączeń uzwojeń pracują w układach zasilania sieci rozdzielczych niskiego napięcia i mają zwykle wyprowadzony punkt zerowy połączenia gwiazdowego, by można było korzystać z napięć międzyprzewodowych i fazowych.

Połączenie to jest bardzo korzystne ze względu na zmniejszenie strumieni trzecich harmonicznycych oraz prądów składowej zerowej przy obciążeniu niesymetrycznym.

**Układ Yd** połączeń uzwojeń stosuje się głównie w transformatorach podwyższających napięcie.

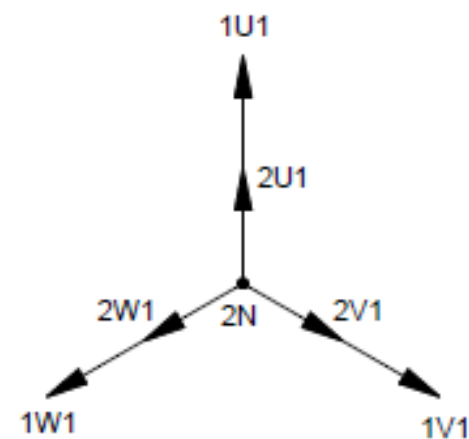
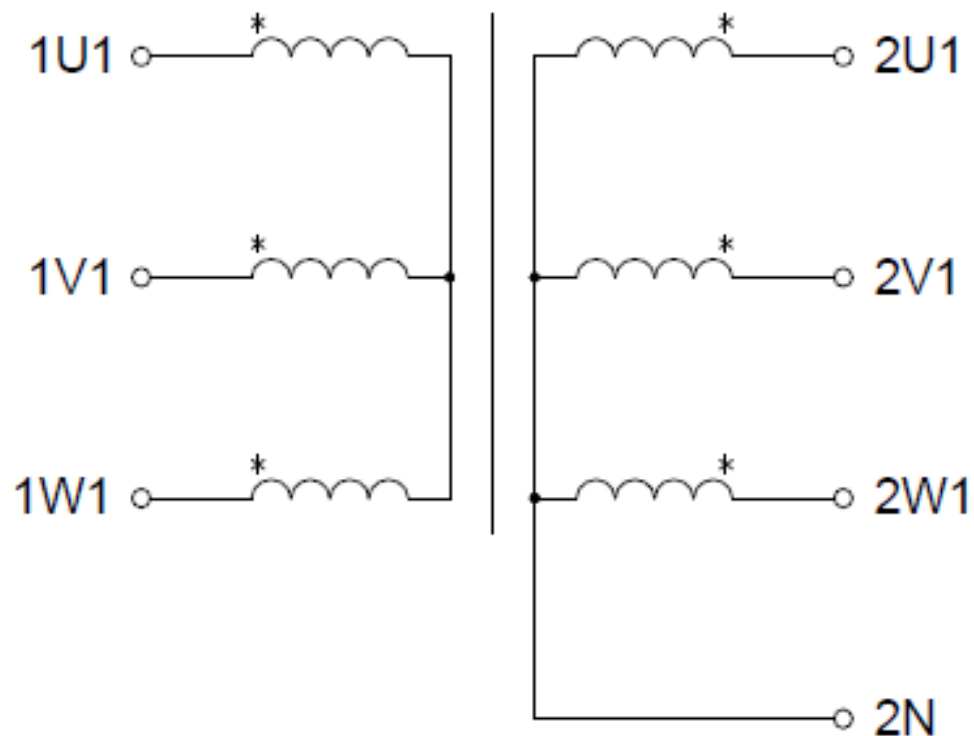
Transformator z takim układem połączeń jest korzystny, gdy punkt zerowy połączenia w gwiazdę strony pierwotnej ma być uziemiony bezpośrednio lub przez dławik. Połączenie uzwojeń w trójkąt po stronie pierwotnej lub wtórnej jest ze względu na prąd magnesujący bardzo korzystne, gdyż prąd trzeciej harmonicznycych płynie w zwartym obwodzie trójkąta i strumień trzeciej harmonicznycych praktycznie nie pojawia się.

**Układ Yz** oraz **Dz** połączeń uzwojeń stosuje się w transformatorach obniżających napięcie o małych mocach znamionowych. W układach tych punkt zerowy połączenia uzwojeń w zygzak jest wyprowadzony, aby można było korzystać z napięć fazowych.

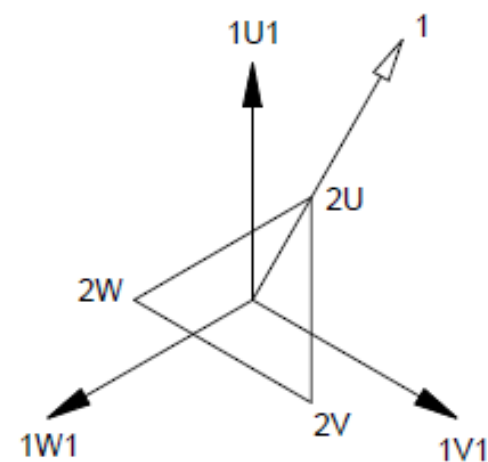
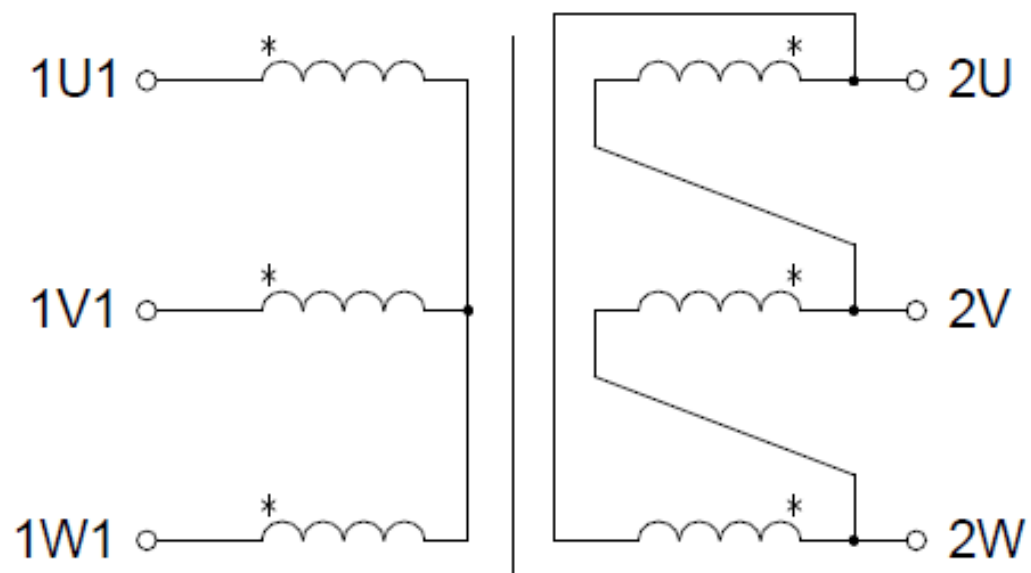
Rozwiązanie takie stosowane jest rzadko, głównie ze względów ekonomicznych. Porównując np. gwiazdę z zygzakiem, przy tych samych prądach znamionowych oraz takich samych przekrojach przewodów, dochodzimy do wniosku, że liczba zwojów zygzaka przy tym samym napięciu międzyprzewodowym jest 2 / 3 razy większa od liczby zwojów gwiazdy, a zatem koszt miedzi w zygzaku jest o ponad 15% większy niż przy gwieździe.

Dlatego zastosowanie tych układów połączeń ogranicza się przede wszystkim do zasilania odbiorów niesymetrycznych (np. przy znaczącym udziale odbiorów jednofazowych), a zależy nam na symetrycznym rozkładzie napięć fazowych po stronie wtórnej transformatora.

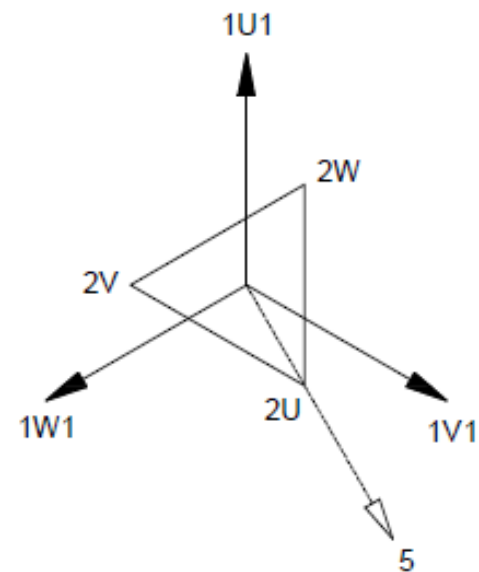
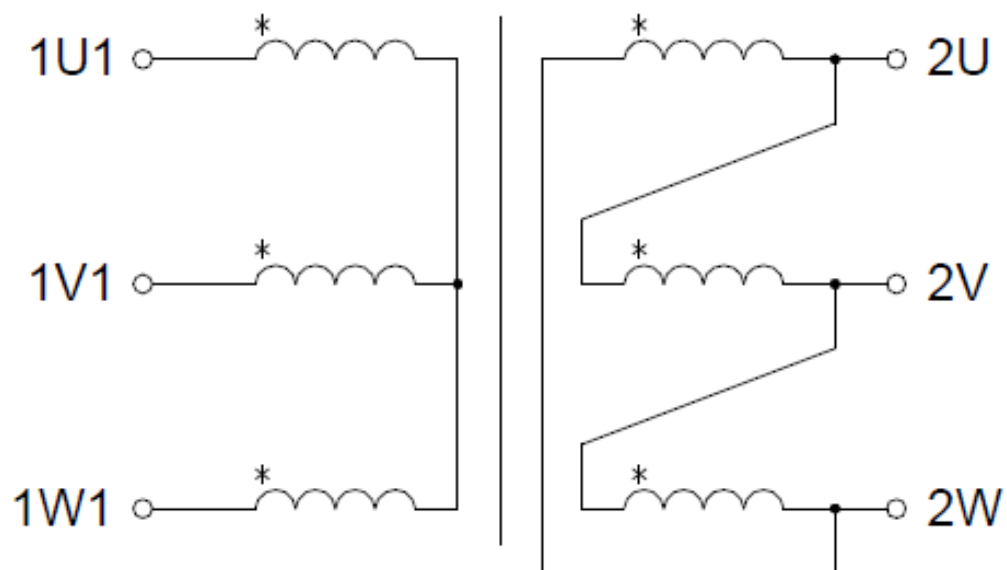
# Yyn0



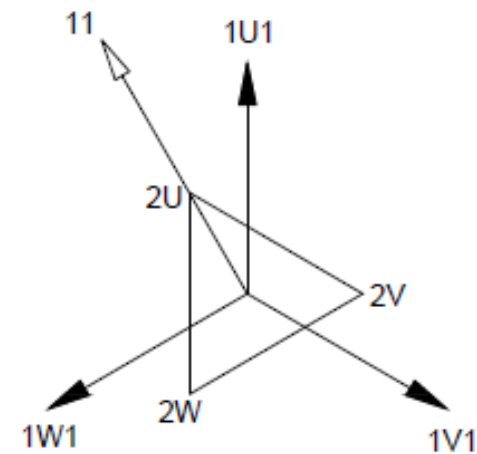
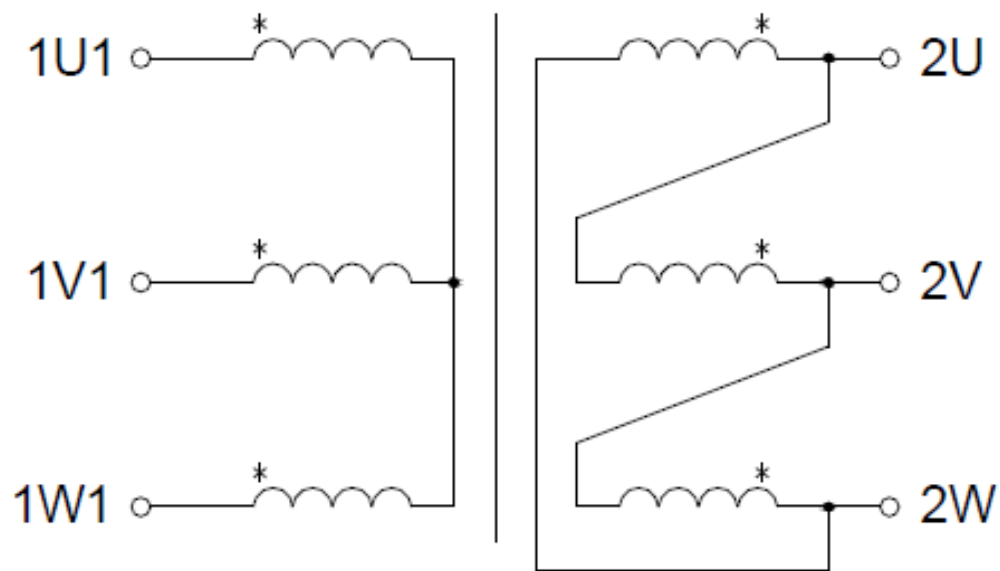
# Yd1



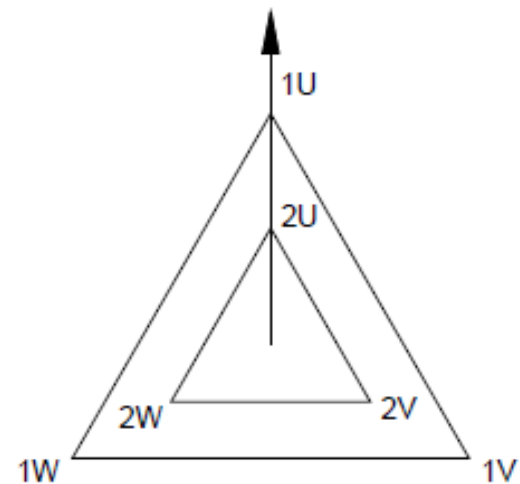
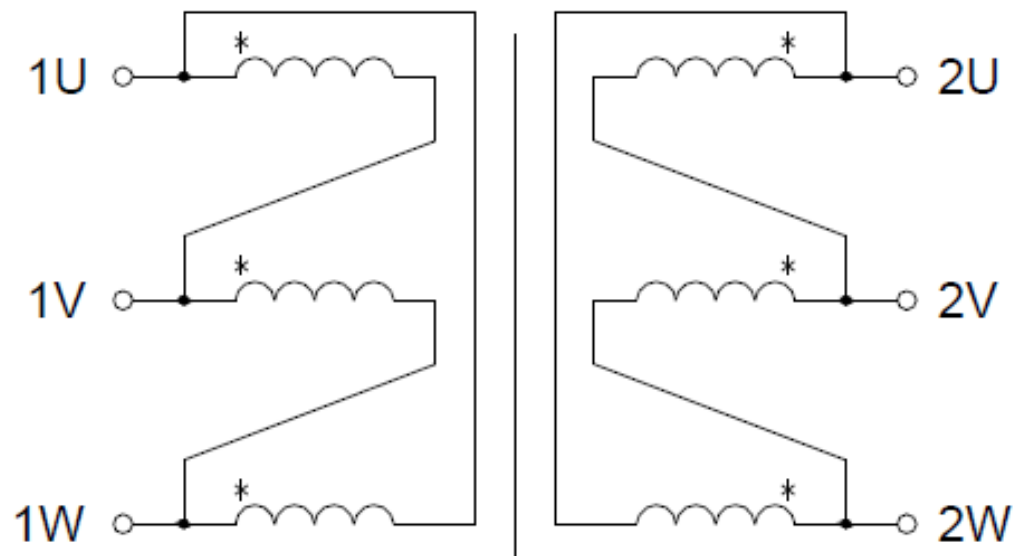
# Yd5



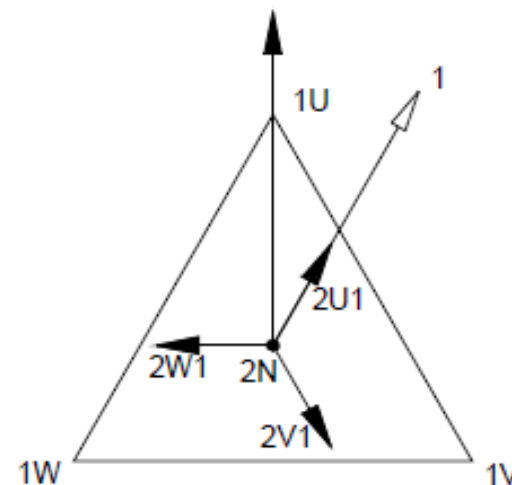
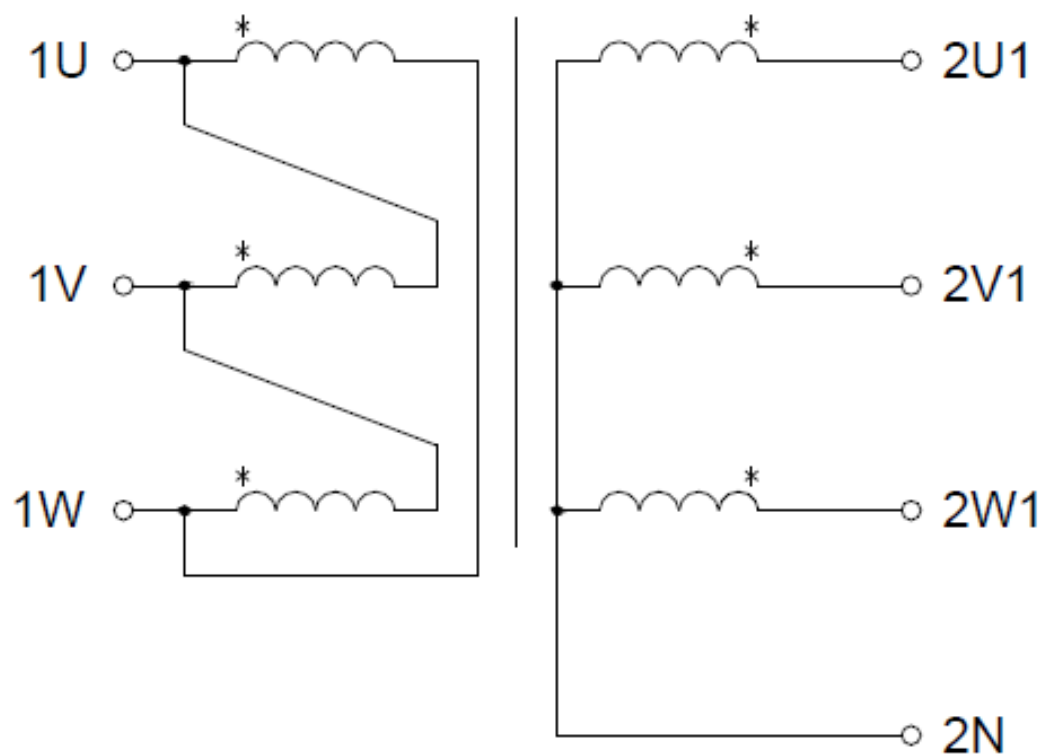
# Yd11



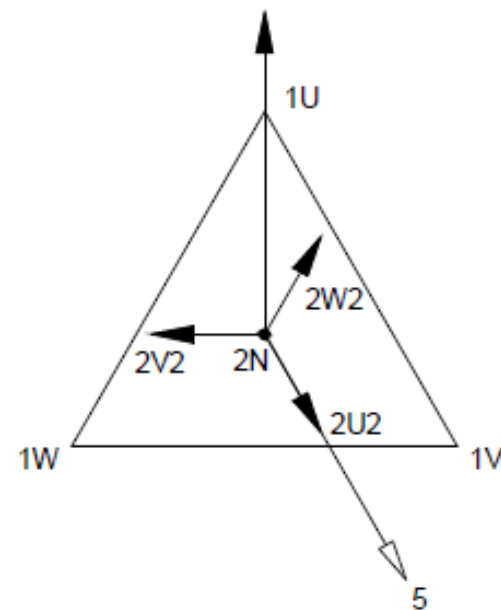
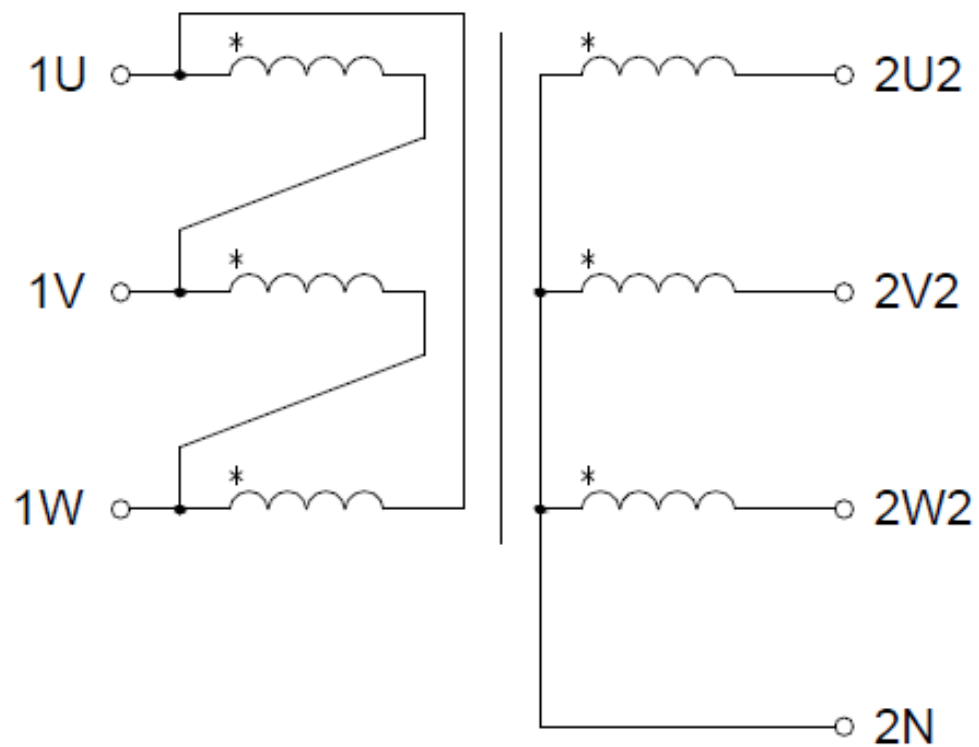
# Dd0



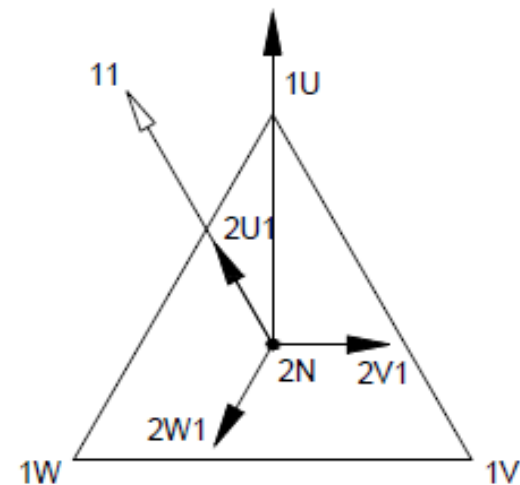
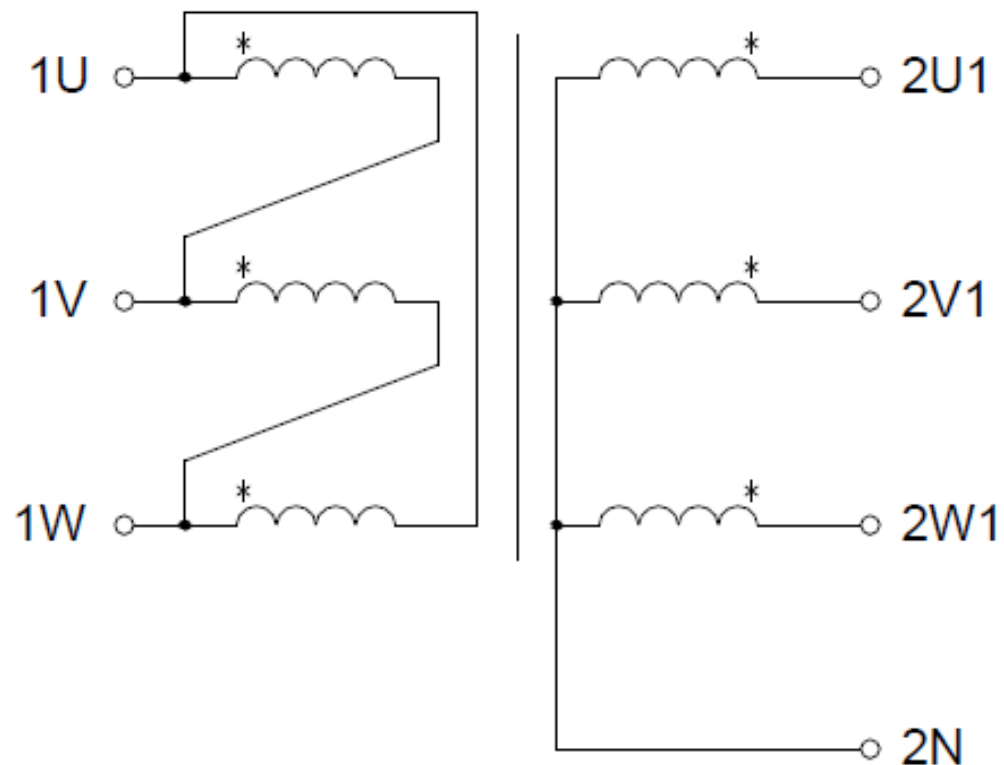
# Dyn1



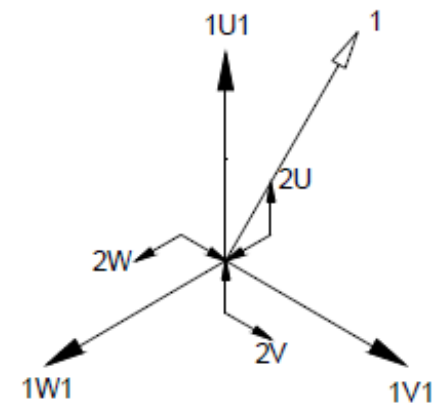
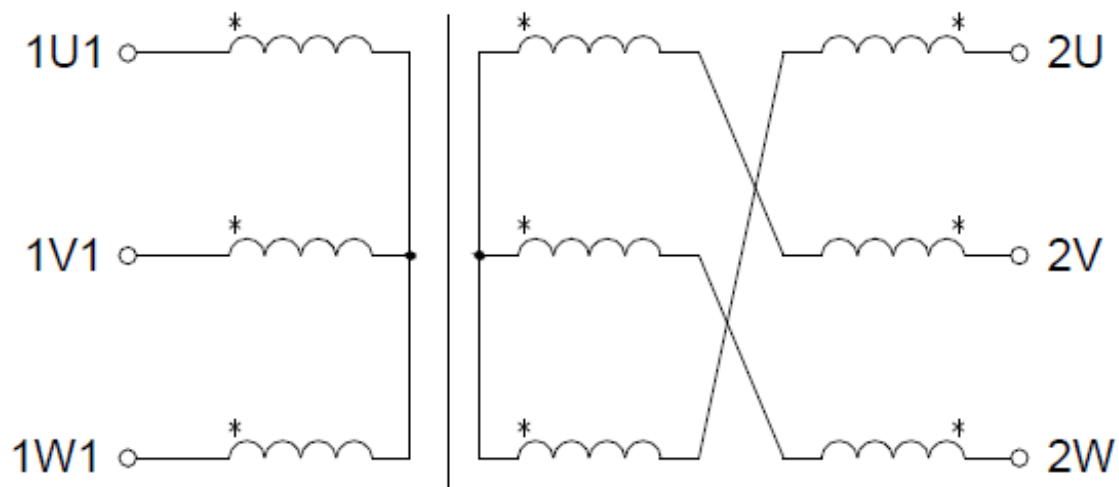
## Dyn5



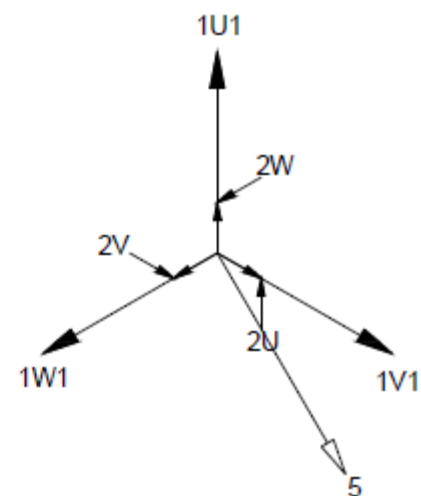
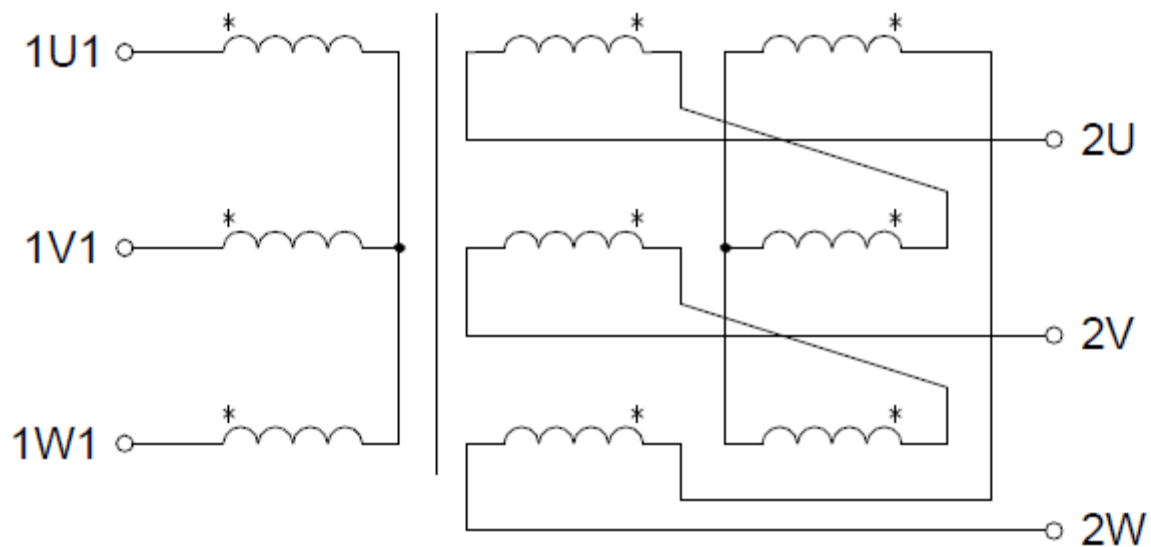
# Dyn11



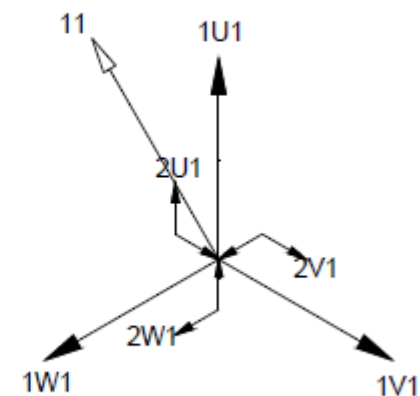
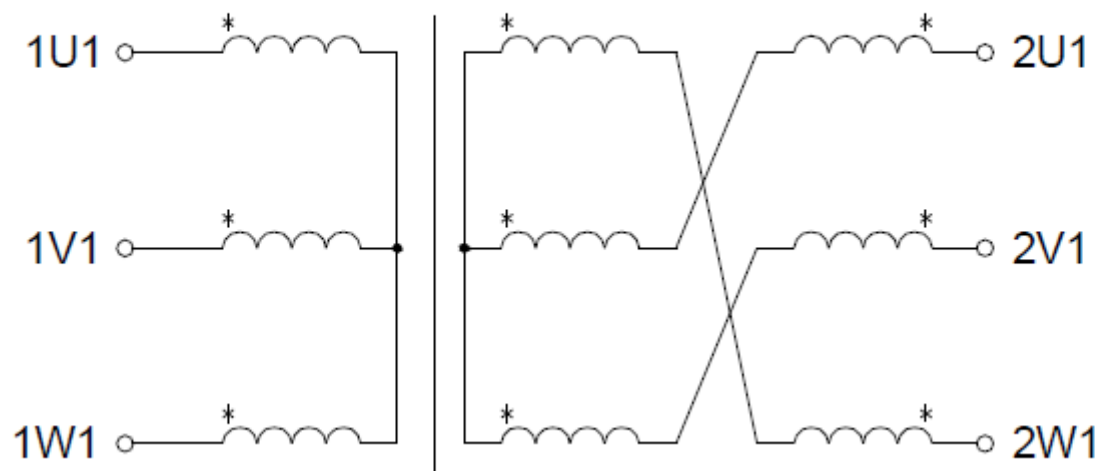
# Yz1



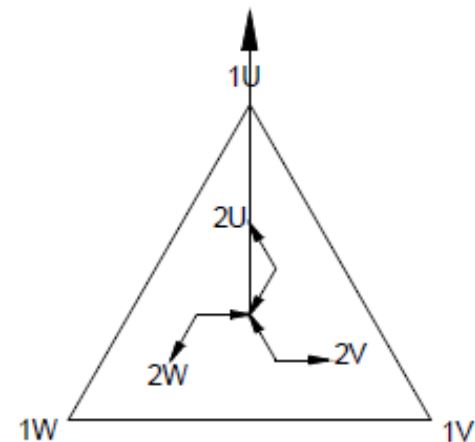
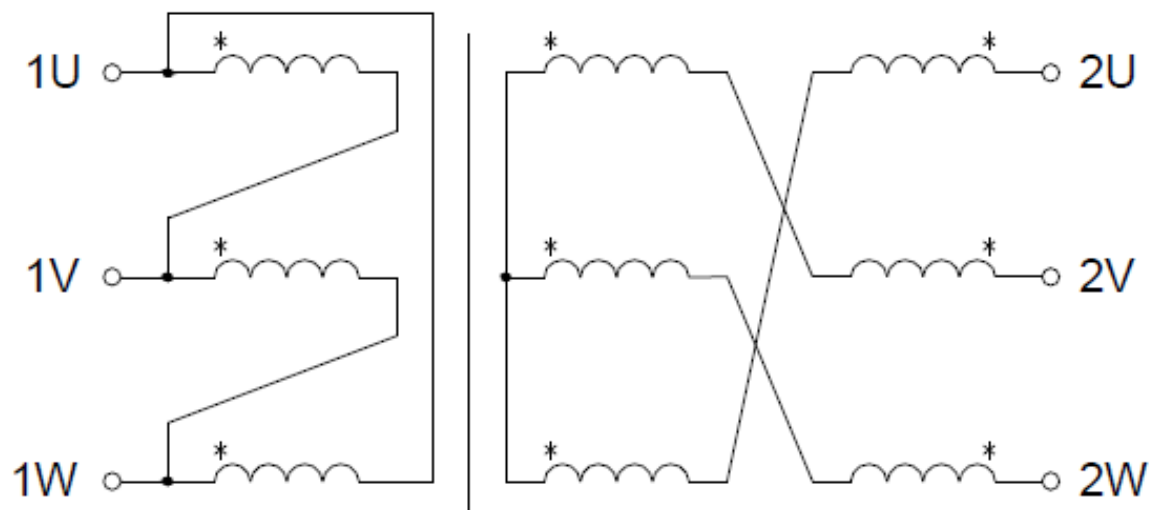
## Yz5



## Yz11



## Dz0



## TRANSFORMATORY WIELOFAZOWE

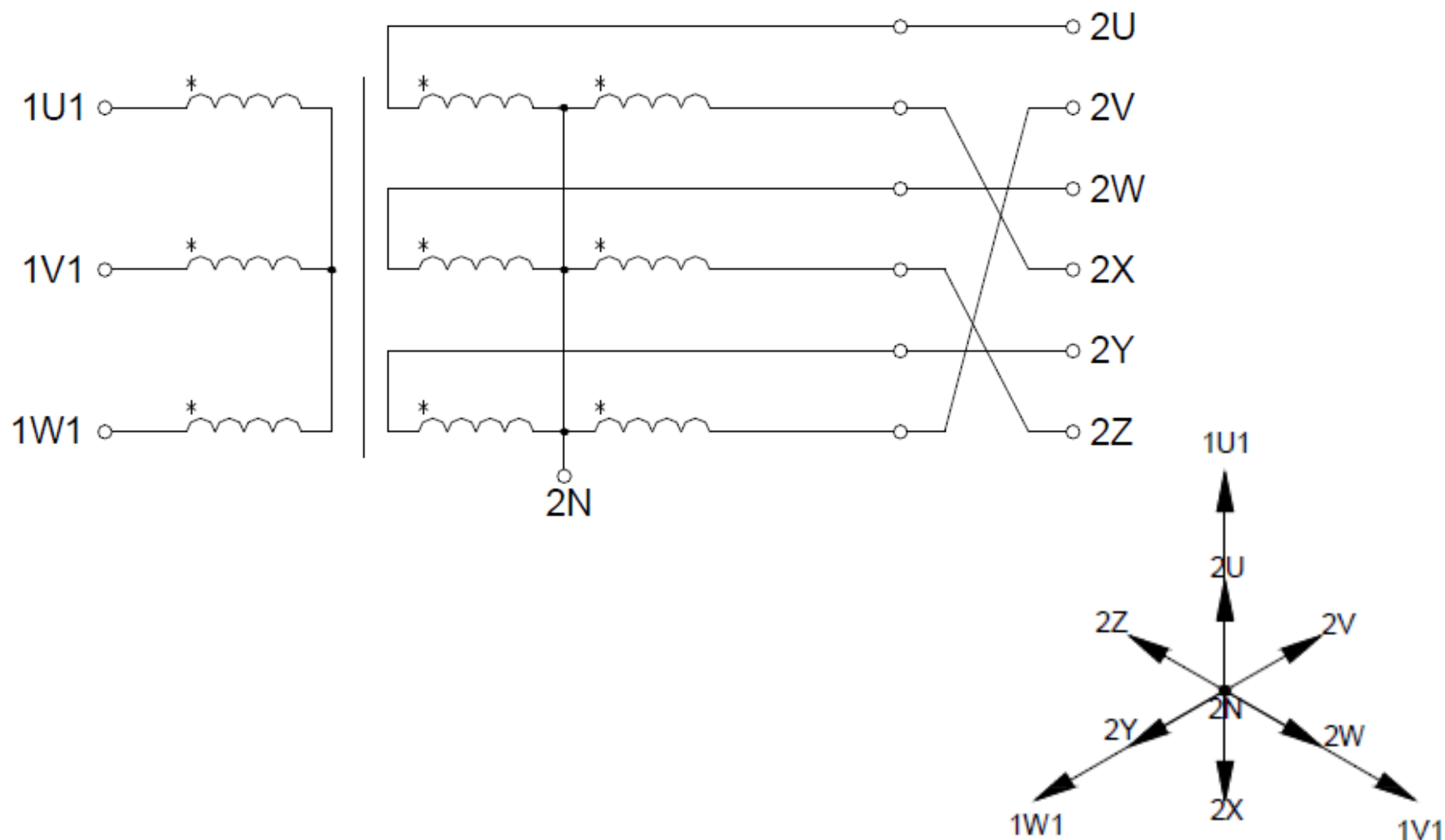
W urządzeniach wielofazowych (np. prostownikach 6 lub 12 pulsowych) istnieje konieczność dostosowania układu trójfazowego do potrzeb odbiornika. Można to zrealizować przez budowę złożonego transformatora o wielofazowym obwodzie wtórnym.

Istnieje kilka różnych możliwości konfiguracji uzwojenia wtórnego, które pozwalają uzyskać układ sześciofazowy. Oprócz połączenia w podwójną gwiazdę stosuje się również układ podwójnego trójkąta lub tzw. uzwojenie widełkowe.

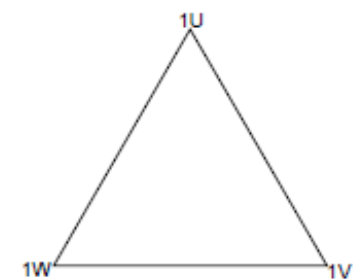
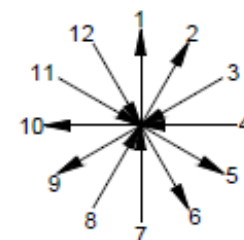
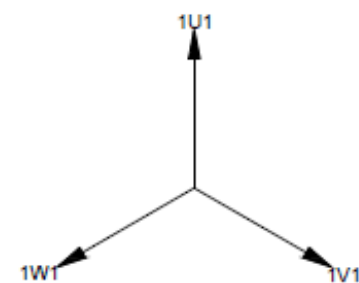
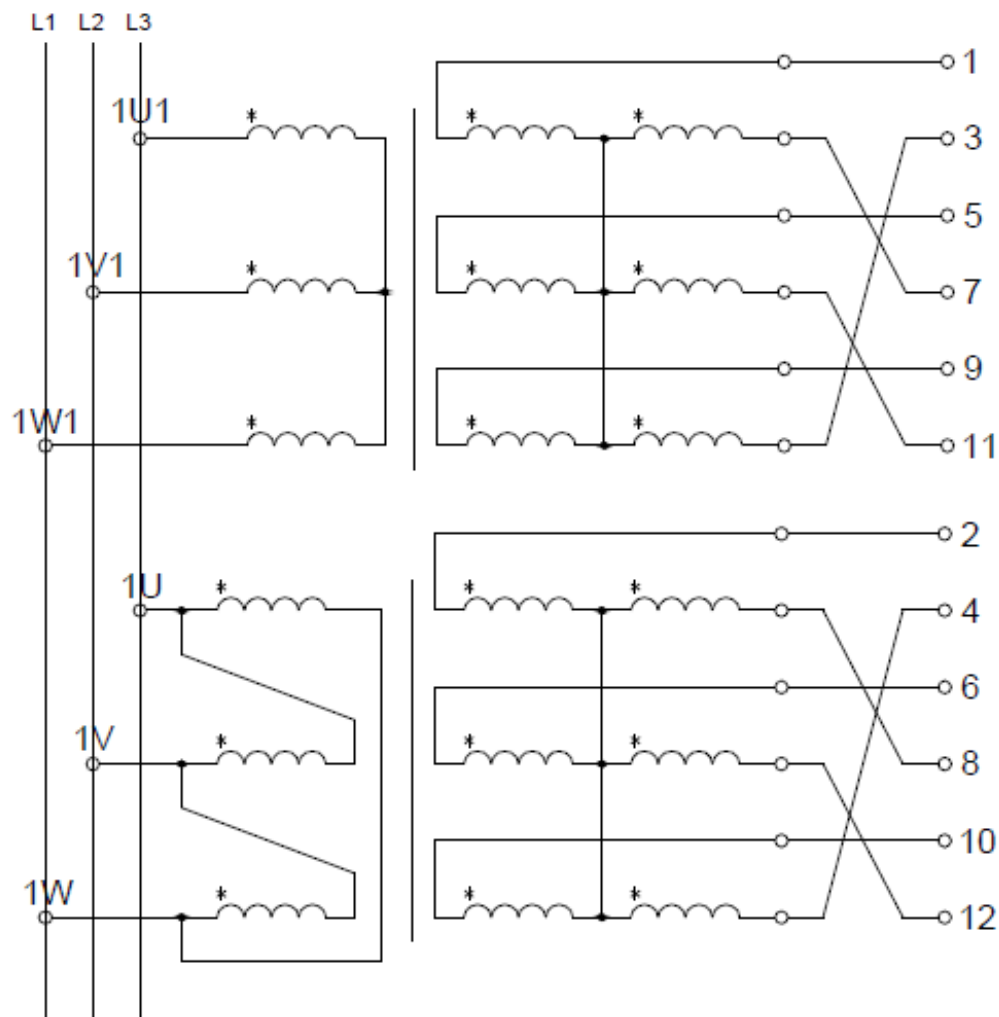
Transformatory wielofazowe stosowane są najczęściej do współpracy z energoelektronicznymi układami przekształtnikowymi.

Najczęściej stosowane układy połączeń transformatorów 3-fazowych, wielouzwojeniowych, zmieniających liczbę faz:

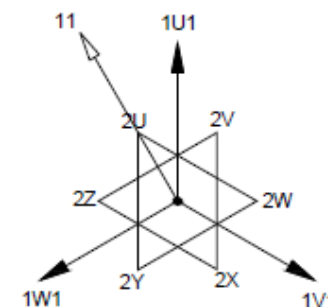
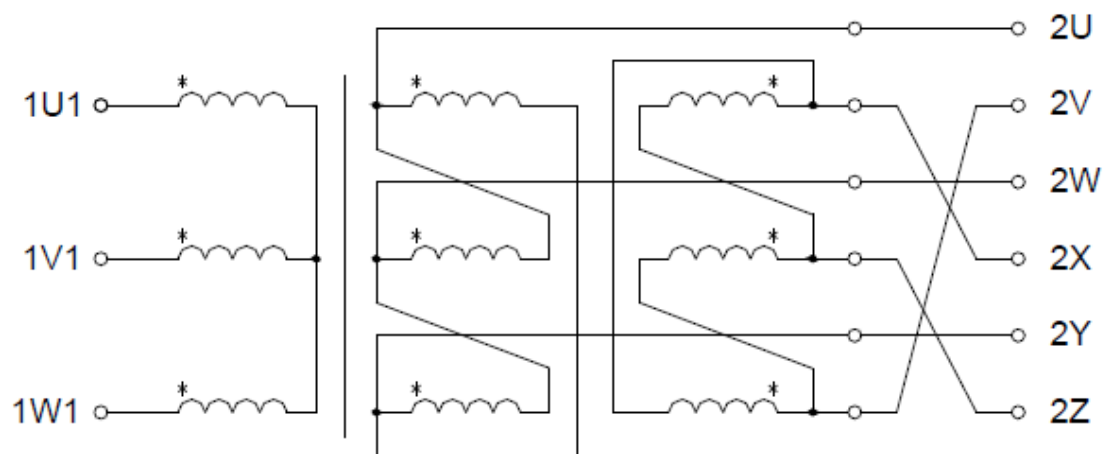
## 1. Układ 3/6 faz (podwójnej gwiazdy):



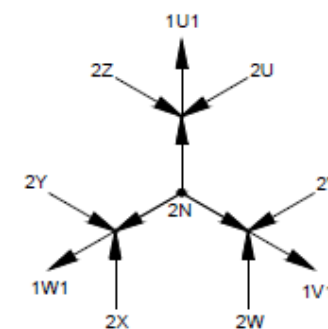
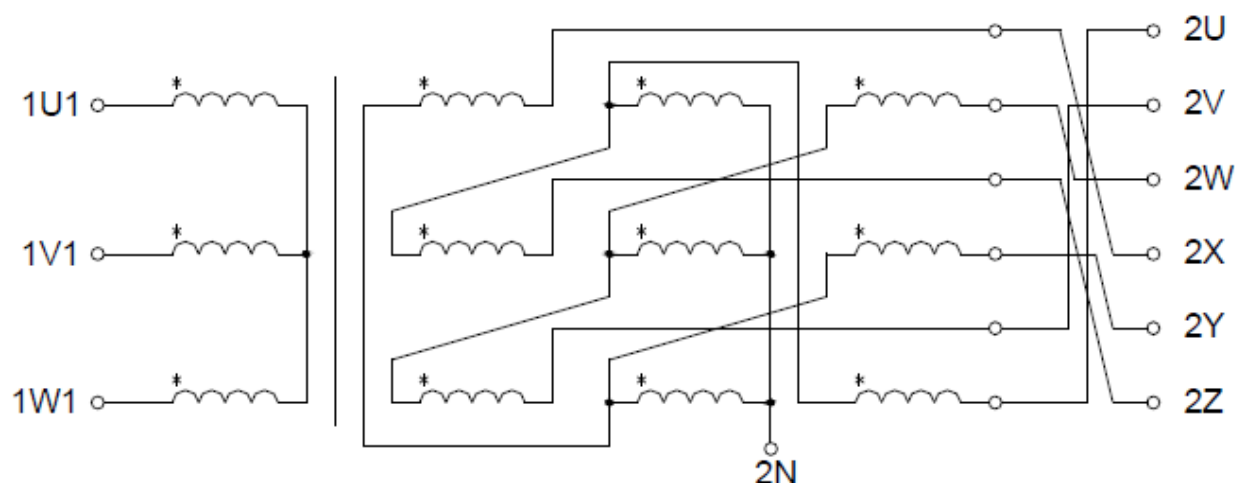
## 2. Układ 3/12 faz :



### 3. Układ 3/6 faz (podwójnego trójkąta) :



### 4. Układ widełkowy :



## SPECJALNE UKŁADY POŁĄCZEŃ TRANSFORMATORÓW

Wiele nowoczesnych rozwiązań technicznych stwarza zapotrzebowanie na transformatory o nietypowej budowie i specyficznych własnościach.

### **Układ Scotta – 3/2 fazy :**

W układzie Scotta pracują dwa jednofazowe transformatory T1 i T2 pracujące w przedstawionej konfiguracji. Jest to jeden ze sposobów przekształcenia obwodu trójfazowego na dwufazowy. Równomiernie obciążony układ Scotta (gdzie prądy  $I_b$ ,  $I_d$  są równe i przesunięte w fazie o kąt  $\pi/2$ ), będzie symetrycznie obciążał sieć trójfazową. Jest to duża zaleta tego układu.

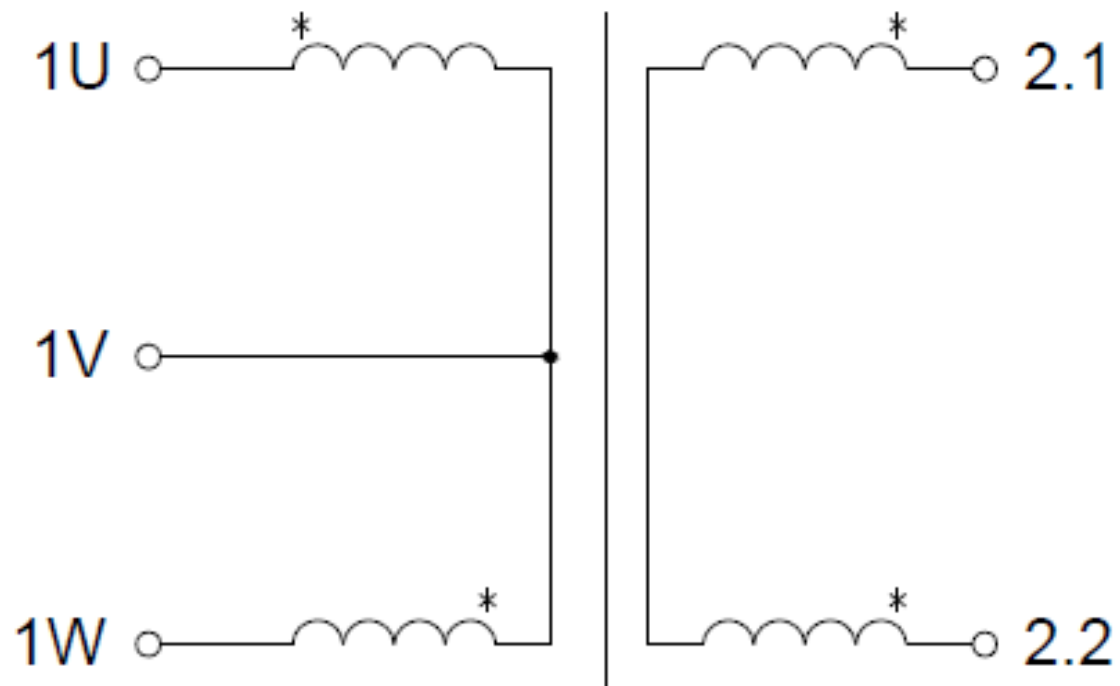


## Układ Vv - 3/1 fazę

Następnym często stosowanym sposobem przekształcenia obwodu trójfazowego na jednofazowy, jest układ „Vv”. Transformatory tego typu budowane są podobnie jak standardowe transformatory trójfazowe jednak z pominięciem uzwojenia znajdującego się zwykle na środkowej kolumnie rdzenia. Otrzymujemy w ten sposób transformator zasilany z sieci trójfazowej, który po stronie wtórnej zasila obwód jednofazowy.

Zaletą układu jest możliwość zasilania odbiorników jednofazowych o dużych mocach z sieci trójfazowej.

Wadą tego rozwiązania jest niesymetryczne obciążenie sieci zasilającej, faza środkowa (V) obciążona jest podwójnie w porównaniu z pozostałymi (U i W).



## KLASA IZOLACJI

Klasa izolacji, jest to określony literowo rodzaj zastosowanych materiałów izolacyjnych, informujący o maksymalnej temperaturze pracy transformatora. Jej przekroczenie przy pracy ciągłej skraca żywotność oraz czas bezawaryjnej pracy transformatora.

Symbol klasy izolacji	Temperatura maksymalna trwale dopuszczalna	Maksymalny przyrost temperatury uzwojeń dla max temp. otoczenia 40°C wg. IEC 61558	Maksymalny przyrost temperatury uzwojeń dla max temp. otoczenia 40°C wg. EN 60726
	[°C]	[°C]	[°C]
<b>A</b>	105	60	60
<b>E</b>	120	75	75
<b>B</b>	130	80	80
<b>F</b>	155	100	100
<b>H</b>	180	125	125
<b>C</b>	220	---	150

## RODZAJ CHŁODZENIA

Określony jest kodem literowym w zależności od czynnika chłodzącego i sposobu jego obiegu. Dla transformatorów olejowych, sposób chłodzenia oznacza się za pomocą symbolu składającego się z czterech liter, a w przypadku transformatorów suchych bez obudowy lub z obudową przewietrzaną – z dwóch liter.

- pierwsza litera – oznacza czynnik chłodzący uzwojenia,
- druga – sposób wprowadzania w ruch czynnika chłodzącego uzwojenia,
- trzecia – zewnętrzny czynnik chłodzący,
- czwarta – sposób wprowadzania w ruch zewnętrznego czynnika chłodzącego.

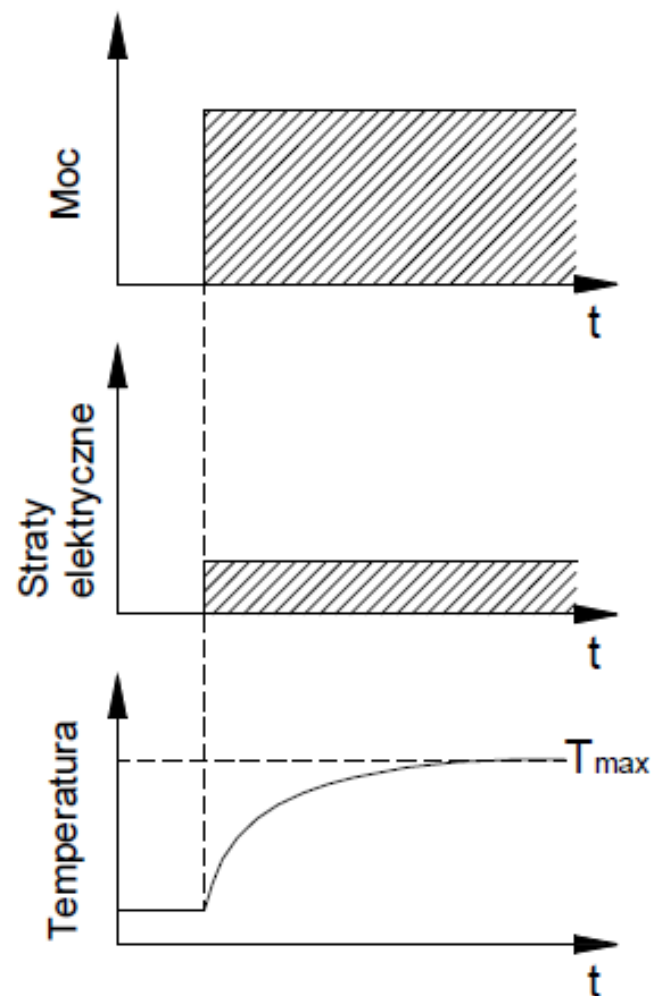
Oznaczenie literowe rodzaju rodzaju chłodzenia, wg norm EN 60076, EN60726:

Rodzaj czynnika chłodzącego	<b>A</b> – chłodzenie powietrzne <b>G</b> – chłodzenie gazem innym niż powietrze <b>W</b> – chłodzenie wodą
Sposób wprowadzenia w ruch czynnika chłodzącego	<b>N</b> – chłodzenie naturalne <b>F</b> – chłodzenie wymuszone przez sztuczne wprowadzenie w ruch czynnika chłodzącego

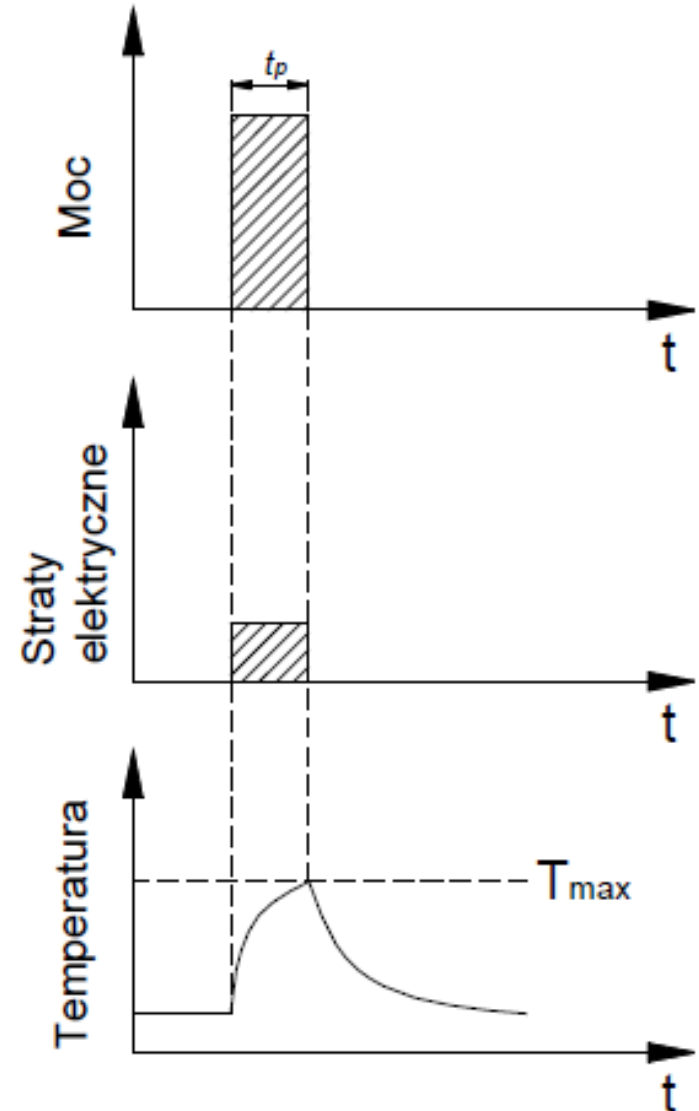
## RODZAJE PRACY

Rozróżnia się następujące rodzaje pracy:

**Praca ciągła – (S1)**, to praca z obciążeniem o stałej wartości w nieograniczonym okresie czasu lub co najmniej do osiągnięcia ustalonego przyrostu temperatury.

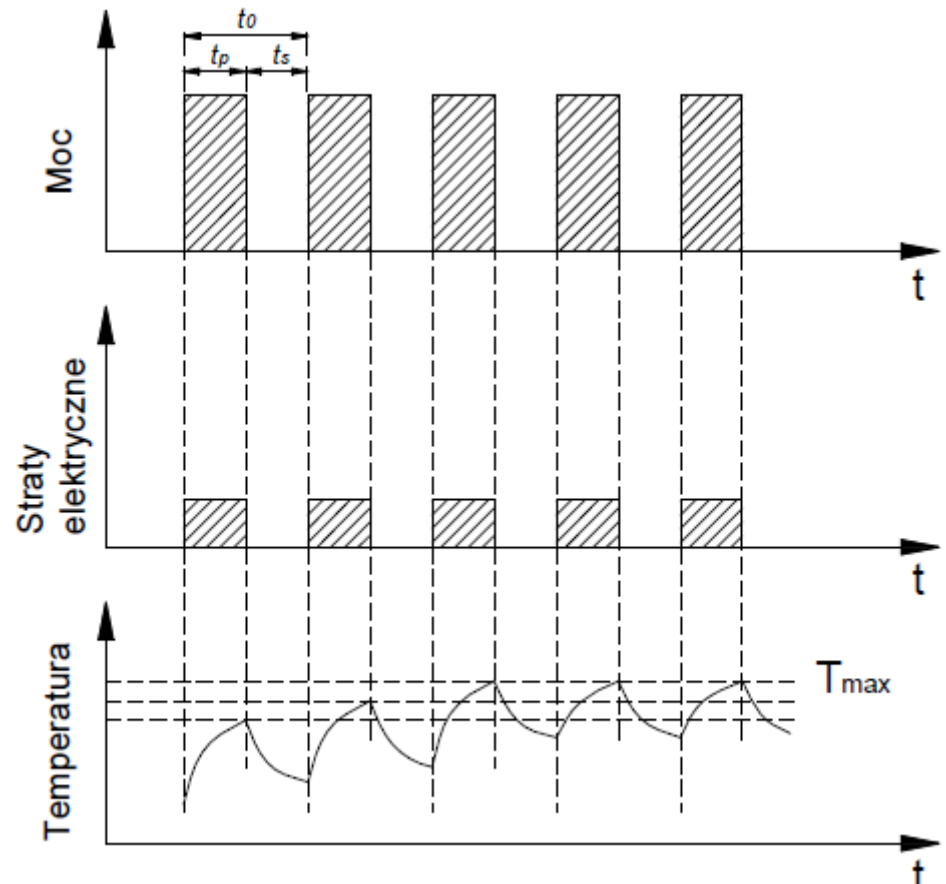


**Praca dorywcza – (S2)**, to praca w określonym czasie, rozpoczynana od **stanu zimnego** transformatora, przy czym przerwy między okresami pracy są wystarczająco długie do ochłodzenia transformatora do temperatury bliskiej temperaturze otoczenia. Pracę dorywczą symbolizują znaki S2 oraz czas pracy  $t_p$  w minutach (np. S2-15min).



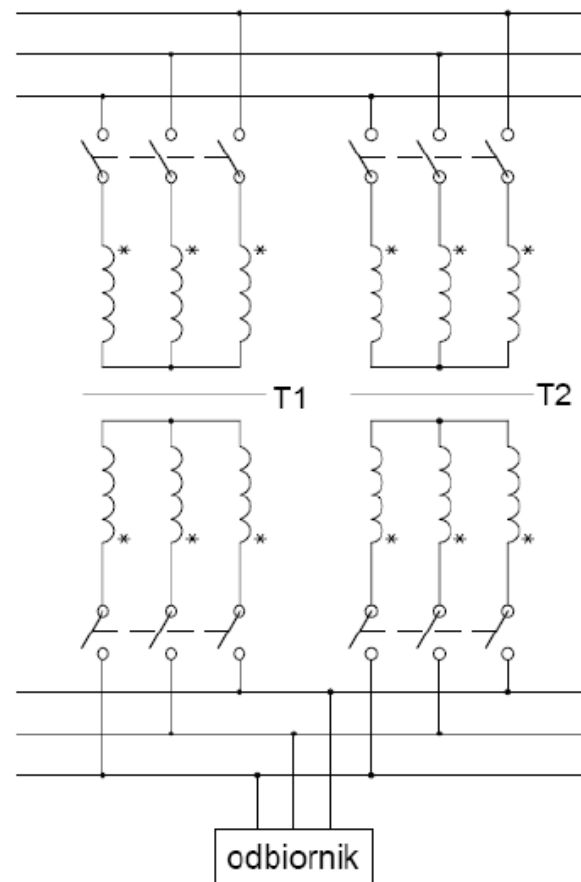
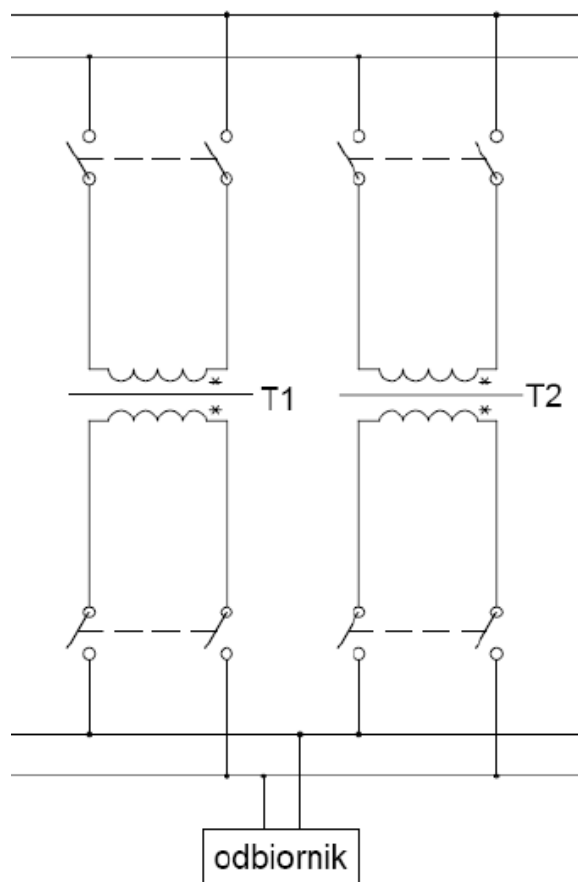
**Praca przerywana – (S3), to praca wykonywana kolejno w określonych, jednakowych cyklach** następujących po sobie, gdzie okresy pracy są oddzielone jednakowymi okresami przerw. Oznaczenie pracy przerywanej to np. S3-20%, gdzie wartość liczbowa oznacza procentowy stosunek czasu pracy  $t_p$  do czasu trwania okresu  $t_0$ , czyli czasu pracy i następującej po nim przerwy:

$$S3 = \frac{t_p}{t_p + t_s} \cdot 100\%$$



## PRACA RÓWNOLEGŁA TRANSFORMATORÓW

Praca równoległa transformatorów występuje, gdy strony pierwotne dwu lub kilku transformatorów są zasilane ze wspólnych szyn, a strony wtórne tych transformatorów zasilają odbiory również przez wspólne szyny:



Praca równoległa transformatorów jest poprawna, jeżeli:

- w obwodach wtórnych transformatorów w stanie jałowym nie płyną żadne prądy
- transformatory w czasie pracy obciążają się proporcjonalnie do ich mocy znamionowych
- odpowiednie prądy poszczególnych transformatorów są z sobą w fazie

Aby powyższe warunki były spełnione transformatory przeznaczone do pracy równoległej muszą spełnić następujące wymagania:

- napięcia znamionowe pierwotne i wtórne powinny być jednakowe (przekładnie transformatorów nie mogą się różnić więcej niż o  $\pm 0,5\%$ )
- transformatory powinny posiadać te same grupy połączeń o tym samym przesunięciu godzinowym
- napięcia zwarcia transformatorów nie powinny się różnić więcej niż o 10%
- stosunek mocy znamionowych transformatorów S1/S2 nie większy niż 1 : 3

Niespełnienie któregokolwiek z powyższych warunków powoduje, że w uzwojeniach wtórnych transformatorów płyną prądy wyrównawcze i powstają dodatkowe straty. Wpływa to niekorzystnie na rozkład obciążenia i nie pozwala w pełni wykorzystać mocy znamionowych transformatorów pracujących równoległe.

## RODZAJE WYKONANIA KLIMATYCZNEGO

W zależności od strefy klimatycznej, w której będzie pracował wyrób, powinny być użyte odpowiednie materiały do jego wykonania. Ta informacja może być zawarta na tabliczce znamionowej w postaci symbolu literowocyfrowego, zawartego w :

- normie EN 60076-11 dla klasy klimatycznej określającej środowisko w zależności od wilgotności, kondensacji, zanieczyszczeń i temperatury otoczenia;
  - E0 - nie pojawia się kondensacja, a zanieczyszczenia są pomijalne.
  - E1 - może pojawić się sporadycznie kondensacja i ograniczone zanieczyszczenie
  - E2 - może pojawić się częsta kondensacja i duże zanieczyszczenie
- normie EN 60721-3 określającej środowisko w którym przechowywane, transportowane i używane są wyroby
  - 1 do 7 - cyfry określające miejsce stosowania
  - K, B, C, S, M, Z - litery określające rodzaj uwzględnianych warunków środowiskowych
  - 1 do 7 - cyfry określające intensywność z jaką występuje dany czynnik, wyższa cyfra oznacza większą intensywność

Norma EN 60076-11 przewiduje podział warunków, w jakich znajduje się transformator na dwie kategorie:

- klasy klimatyczne i klasy środowiskowe i obowiązuje dla transformatorów suchych (łącznie z autotransformatorem) o mocy od 5 kVA (1-faz) i 15 kVA (3-faz) o najwyższym napięciu do 36 kV, w których napięcie znamionowe przynajmniej jednego uzwojenia jest wyższe niż 1 kV.

#### Klasy klimatyczne wg EN 60076-11 :

Klasa klimatyczna	Opis
C1	Transformator może pracować w temperaturze $T \geq -5^{\circ}\text{C}$ , ale można go transportować i magazynować w temperaturze otoczenia $T \geq -25^{\circ}\text{C}$
C2	Transformator może pracować i można go magazynować i transportować w temperaturze otoczenia $T \geq -25^{\circ}\text{C}$

#### Klasy środowiskowe wg EN 60076-11 :

Klasa środowiskowa	Opis
E0	Na transformatorze nie pojawia się kondensacja, a zanieczyszczenia są pomijalne. W czystych, suchych instalacjach wewnętrznych jest to zwykle osiągalne
E1	Na transformatorze może pojawić się sporadycznie kondensacja (na przykład, gdy odłączone jest zasilanie transformatora). Możliwe jest ograniczone zanieczyszczenie.
E2	Częsta kondensacja lub/i duże zanieczyszczenie

## Porównanie oznaczeń wg EN 60076-11 i nieaktualnej już PN-68/H-04650

Rodzaj wykonania wg PN-68/H-04650	Klasa klimatyczna / klasa środowiskowa Wg EN 60076-11	Uwagi dotyczące różnic
N/3	C1 / E0	W przypadku normy PN-68/H-04650 podawana była niższa temperatura minimalna (-40°C) oraz wyższa średnia temperatura maksymalna (+40°C). Dla normy PN-EN 60076-11 jest to odpowiednio (-25°C) oraz (+30°C)
W/3	C2 / E1	W przypadku normy PN-68/H-04650 podawana była niższa temperatura minimalna (-40°C) oraz wyższa średnia temperatura maksymalna (+45°C). Dla normy EN 60076-11 jest to odpowiednio (-25°C) oraz (+30°C)

## WPŁYW CZYNNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH NA OBCIĄŻENIE TRANSFORMATORA

### 1. Temperatura otoczenia

Jeżeli transformator, dławik lub zasilacz został zaprojektowany do pracy w temperaturze otoczenia 40°C, a faktyczna temperatura otoczenia jest wyższa, to należy zredukować obciążenie transformatora wg. poniższej tabelki. Brak redukcji mocy obciążenia skraca żywotność urządzenia, a także może spowodować jego uszkodzenie.

temperatura otoczenia	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
Współczynnik redukcji mocy obciążenia	1	0,95	0,91	0,87	0,84

## 2. Wysokości pracy powyżej 1000 npm.

Zainstalowane transformatora, dławika lub zasilacza na wysokości  $H > 1000$  npm. powoduje konieczność redukcji jego mocy obciążenia wg. poniższej tabelki:

Wysokość zainstalownia npm.	1000	1500	2000	3000	4000
Współczynnik redukcji mocy obciążenia	1	0,97	0,95	0,90	0,85

## 3. Praca przerywana S3

Jeżeli transformator jest przeznaczony do pracy przerywanej S3 to w prosty sposób można wyznaczyć jego moc budowy w stosunku do mocy znamionowej transformatora podanej w katalogu dotyczącej pracy ciągłej S1:

Praca przerywana S3 w %	100	80	70	60	50	40	30	20
Współczynnik $k_3$ zmniejszenia mocy obciążenia	1	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45

## 4. Częstotliwości sieci

Transformator zaprojektowany na częstotliwość znamionową 50Hz może pracować przy częstotliwości większej (do 150-200 Hz). Wynika to stąd że przy nie zmienionym napięciu zasilania, straty całkowite w rdzeniu są odwrotnie proporcjonalne do częstotliwości.

W przypadku zmniejszenia częstotliwości poniżej znamionowej należy obniżyć napięcie zasilania tak aby nie powiększać strat w rdzeniu oraz prądu jałowego (zgodnie z poniższą zależnością ). W przeciwnym razie może skutkować to przegrzaniem i uszkodzeniem transformatora.

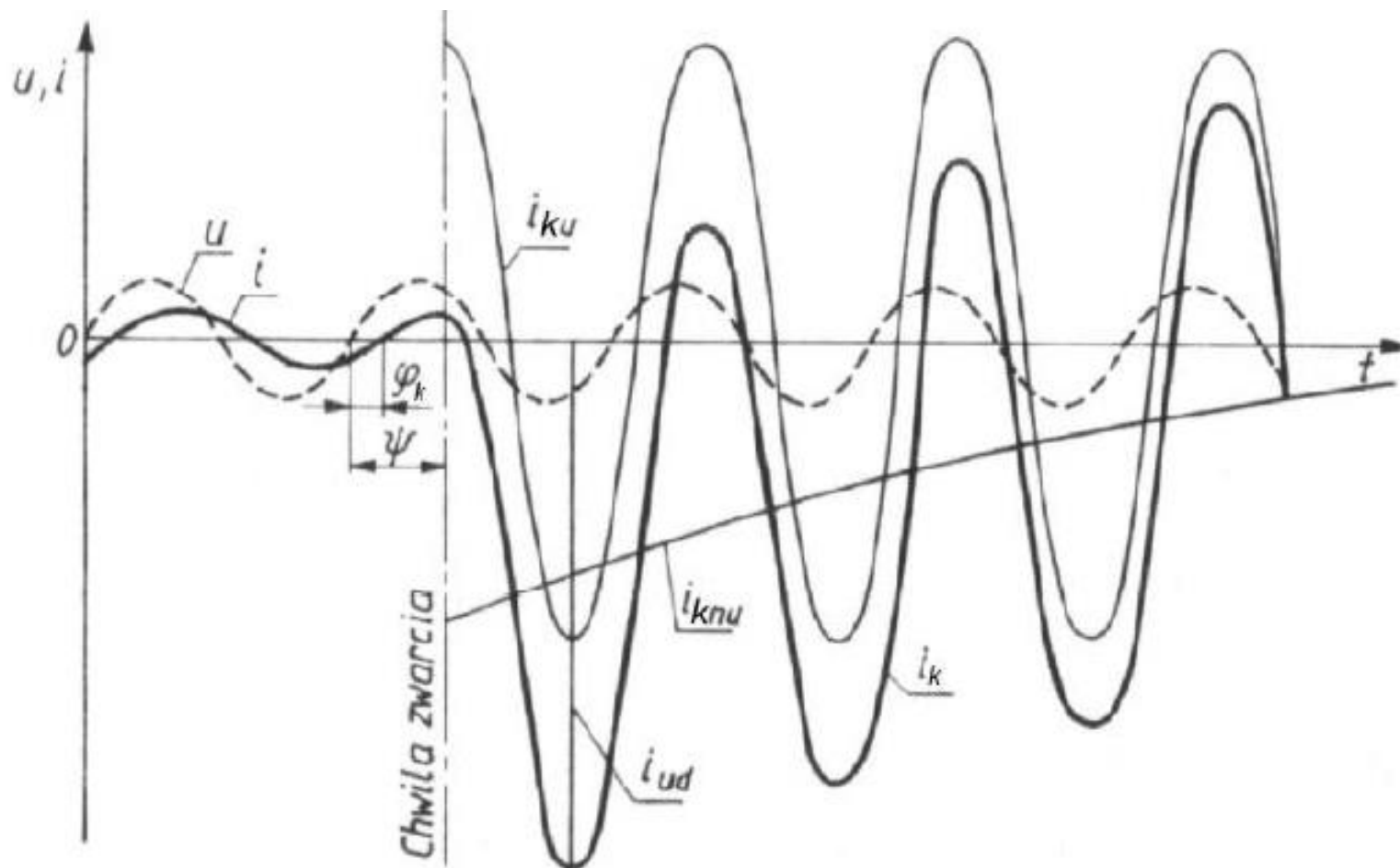
## ZABEZPIECZANIE TRANSFORMATORÓW

Najczęstszą przyczyną awarii transformatorów jest uszkodzenie izolacji uzwojeń. Przyczyną uszkodzenia może być przetężenie lub przepięcie.

Przetężenia występują przy przeciążeniach i zwarciach, mogą powodować przegrzanie uzwojeń i prowadzić w krótkim czasie do całkowitego zniszczenia izolacji.

Przegrzania uzwojeń mogą być wywołane zjawiskami elektrycznymi, jak również mogą pojawić się z przyczyn nielektrycznych, powodując dalsze uszkodzenia transformatorów już o charakterze elektrycznym. Np.: zła wymiana powietrza, wzrost temperatury otoczenia, zmniejszenie przepływu wody (dla uzwojeń chłodzonych wodą), lub dla transformatorów chłodzonych nadmuchem powietrza – awaria wentylatorów lub zabrudzenie siatki ochronnej wentylatora.

Zwarcia powodują oprócz przegrzania występowanie bardzo dużych sił elektrodynamicznych między uzwojeniami i ich elementami.



### Przykładowy przebieg prądu zwarciovego

$u, i$  – napięcie i prąd przed zwarcievem,  $i_{knu}$  – składowa nieustalona prądu zwarciovego,  $i_{ku}$  – składowa ustalona prądu zwarciovego,  $i_k$  – prąd zwarciovym,  $i_{ud}$  – prąd udarowy

## AUTOTRANSFORMATOR

Zmniejszenie masy i gabarytów autotransformatora stanowi jego zaletę w porównaniu z transformatorem.

Jednak autotransformatory posiadają też wady :

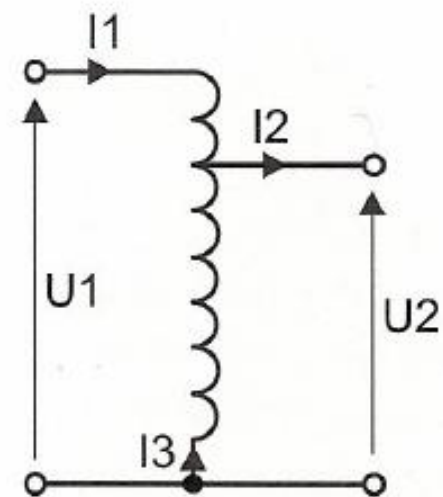
- galwaniczne połączenie obwodów pierwotnego i wtórnego autotransformatora, które powoduje iż wszelkie zakłócenia, przepięcia przenoszą się bezpośrednio na drodze przewodzenia do obwodu wtórnego.

- wszystkie zwarcia doziemne w sieci elektroenergetycznej są przenoszone przez autotransformatory, co może powodować ryzyko obniżenia poziomu bezpieczeństwa użytkowników.

- niższe napięcie zwarcia autotransformatora w porównaniu z transformatorem spowodowane niższą impedancją zwojeń autotransformatora w porównaniu z transformatorem

Dlatego zastosowanie autotransformatorów jest ograniczone. Znajdują one zastosowanie min. w systemach elektroenergetycznych do połączeń sieci o różnych poziomach napięć, w układach rozruchu dużych silników indukcyjnych klatkowych, w zastosowaniach laboratoryjnych, wszędzie tam gdzie dopuszcza się brak galwanicznego rozdziału obwodów. Nie dopuszcza się stosowania autotransformatorów do zasilania urządzeń górniczych, medycznych czy okrętowych.

Autotransformator jest transformatorem specjalnym, w którym zastosowano tylko jedno uzwojenie spełniające jednocześnie funkcję uzwojenia pierwotnego i wtórnego. Obie strony transformatora (pierwotna i wtórna) są połączone galwanicznie (





Autotransformator typu  
EA3M-8/30kVA



Autotransformator rozruchowy typu EA3R z  
czujnikami temperatury



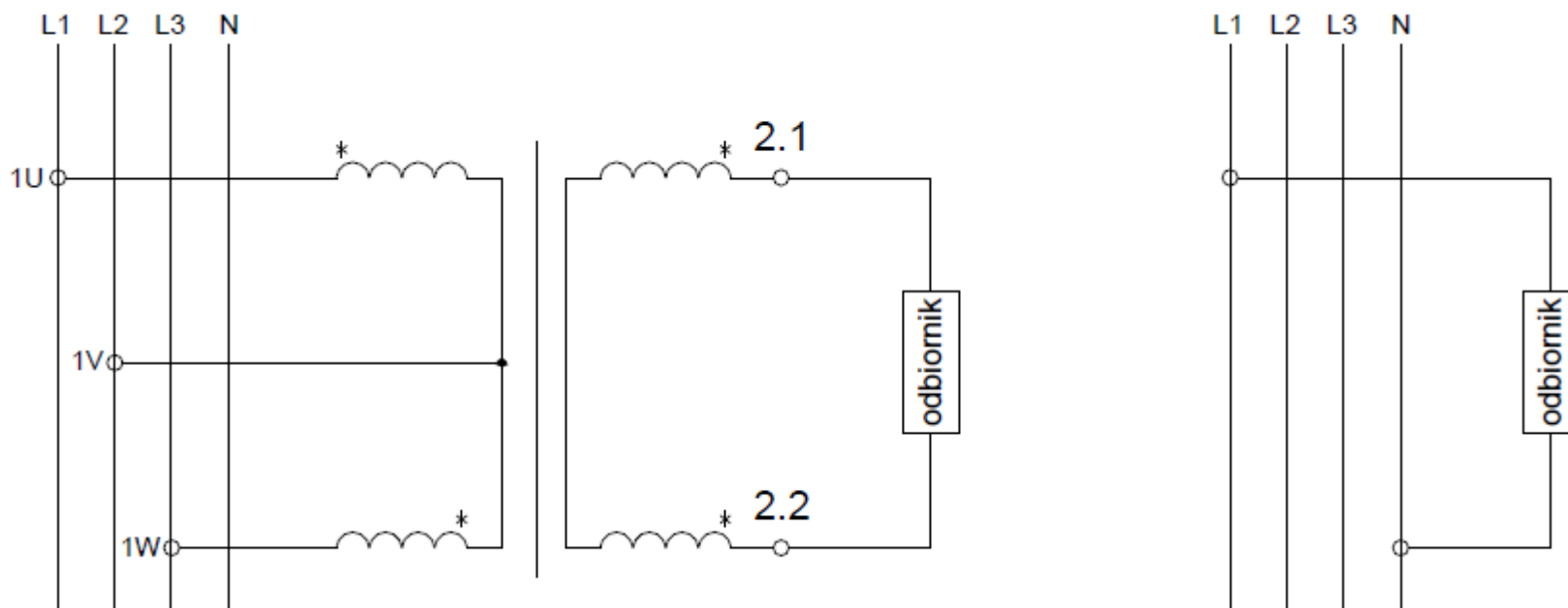
Okrętowy transformator mocy typu ET3SM  
w obudowie IP23



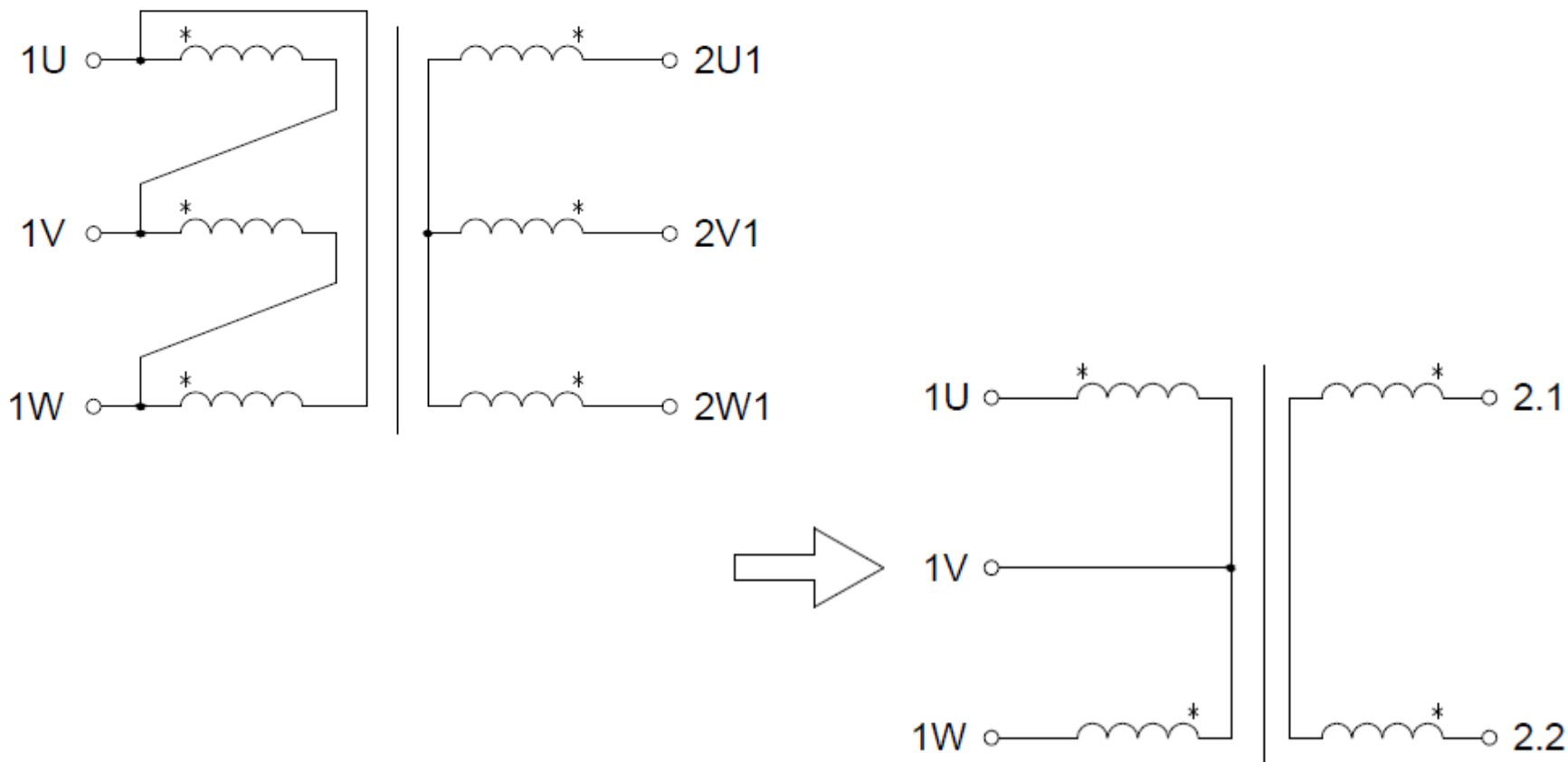
Przenośny, trójfazowy transformator bezpieczeństwa  
typu ET3oM do zasilania urządzeń ręcznych

## TRANSFORMATOR Z UZWOJENIAMI W KONFIGURACJI VV

może zmniejszyć niekorzystną asymetrię występującą w przypadku zasilania odbiornika jednofazowego z sieci trójfazowej. Problem zachowania symetrii obciążenia pojawia się szczególnie wtedy jeśli z sieci trójfazowej należy zasilić jednofazowy odbiornik o dużej mocy. Tradycyjne zasilanie takich odbiorników napięciem międzyfazowym trójfazowej sieci wywołuje silną asymetrię w sieci elektrycznej, obciążając jedynie dwie fazy.



Poprawne zabezpieczenie przeciążeniowe i zwarciove transformatora Vv po stronie pierwotnej może powodować pewne trudności, ze względu na dwukrotnie większy prąd w fazie środkowej. W tej sytuacji należy wykonać obliczenia zwarciove uwzględniając specyfikę konstrukcji transformatora, a następnie dobrać wkładki topikowe indywidualnie dla każdej fazy.



Transformator z uzwojeniami w układzie Vv trudno jednoznacznie zakwalifikować do transformatorów jedno- lub trójfazowych. Transformator taki zasilany jest napięciem z sieci trójfazowej natomiast obciążenie stanowi odbiornik jednofazowy. Transformator ten powstał poprzez modyfikację grupy połączeń Dy. Usunięte zostały uzwojenia pierwotne i wtórne z środkowej kolumny transformatora. Pozostałe dwie skrajne cewki połączone w konfiguracji Vv

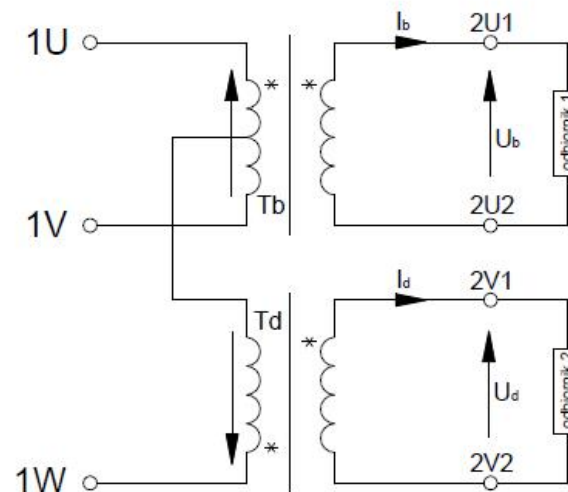
Podstawową zaletą tak powstałego transformatora jest zdecydowane ograniczenie asymetrii obciążenia, co decyduje o zastosowaniu w technicznie trudnych sytuacjach, np.: do zasilania jednofazowych urządzeń podtrzymania napięcia (UPS) z sieci trójfazowej. Specyficzna konstrukcja wpływa na parametry użytkowe maszyny.



## TRANSFORMATOROWY UKŁAD SCOTTA

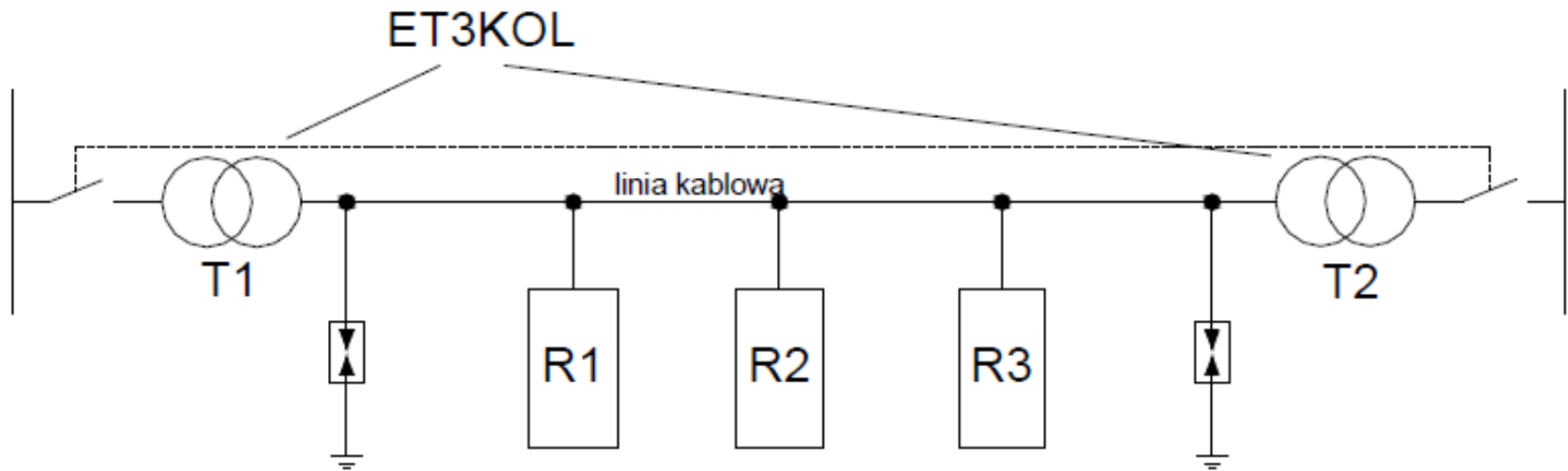
Połączenia między dwoma różnymi obwodami elektrycznymi, lub między odbiornikiem a siecią elektryczną często realizuje się stosując elementy pośredniczące. Urządzenia te dopasowują parametry energii elektrycznej lub konfigurację sieci zasilającej do potrzeb odbiornika. Takim przykładem elementu pośredniczącego w połączeniu sieć – odbiornik jest transformatorowy układ Scotta. Tworzą go jednofazowe transformatory pracujące w konfiguracji przedstawionej na poniższym rysunku. Jest on przykładem dopasowania trójfazowej sieci zasilającej oraz odbiornika dwufazowego lub grupy odbiorników jednofazowych.

Transformatory pracujące w układzie Scotta znajdują częste zastosowanie w elektrotermii.



## TRANSFORMATORY DLA KOLEI

Zasilanie kolejowych przytorowych obwodów elektrycznych ze względu na bezpieczeństwo eksploatacji, odbywa się, najczęściej za pośrednictwem transformatorów separacyjnych, których parametry i konstrukcja dostosowane są do zmiennych i trudnych warunków pracy. Najczęściej są stosowane do zasilania urządzeń blokad liniowych, do podgrzewania rozjazdów kolejowych oraz zasilania obwodów sterowania ruchem kolejowym.





Transformator do zasilania blokad liniowych typu ET3KOL-16kVA

Samoczynne blokady liniowe stosowane są w PKP na liniach o dużym natężeniu ruchu. Dzięki nim uzyskuje się zwiększenie przepustowości szlaku na którym zastosowano ten typ urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Dzięki swojej budowie, zapewniają większe niż inne dawniej stosowane urządzenia liniowe bezpieczeństwo ruchu kolejowego. Warunkiem tego jest uzyskanie bezawaryjnego zasilania. Taką rolę pełnią obwody automatyki przemysłowej które z transformatorami zasilającymi stanowią całość.

Zasilanie odbywa się poprzez transformatory separacyjne typu ET3KOL. Transformatory instalowane są na obu krańcach linii zasilającej. Gwarantuje to rezerwę zasilania blokad w wypadku wystąpienia awarii jednego z nich. Odpowiednią sekwencją łączy transformatorów steruje układ automatyki. Trójfazowe transformatory separacyjne w wykonaniu kolejowym ET3KOL dzięki specjalnej budowie oraz bardzo skutecznej impregnacji próżniowej przystosowane są do pracy w każdej strefie klimatycznej.



Transformator do zasilania ogrzewania rozjazdów typu ET1KOLŻ-2,5kVA

Transformatory zasilające systemy do ogrzewania rozjazdów kolejowych (EOR) są nietypowymi transformatorami separacyjnymi. Przystosowane są do eksploatacji w środowisku o bardzo dużej wilgotności oraz znacznych rocznych i dobowych amplitudach temperatur. Pracują zwykle w zespołach kilku transformatorów separujących obwody grzałek elektrycznego ogrzewania rozjazdów kolejowych.

Pracują w zakresie temperatur otoczenia od -40°C do +10°C. Możliwa jest ich praca przy 20%-ym trwałym przeciążeniu bez szkody dla izolacji. Dodatkowo transformatory zalewane są żywicą – co sprawia, że są one wodoszczelne i całkowicie odporne na obecność wody mogącej pojawić się w skrzynce montażowej. W odróżnieniu od transformatorów toroidalnych, mają niewielkie prądy załączania



Transformator do zasilania kolejowych obwodów sterowania typu ET1KOL-0,70 kVA

Transformatory zasilające obwody sterowania ruchem kolejowym spełniają odpowiedzialną rolę w urządzeniach zabezpieczenia ruchu kolejowego.

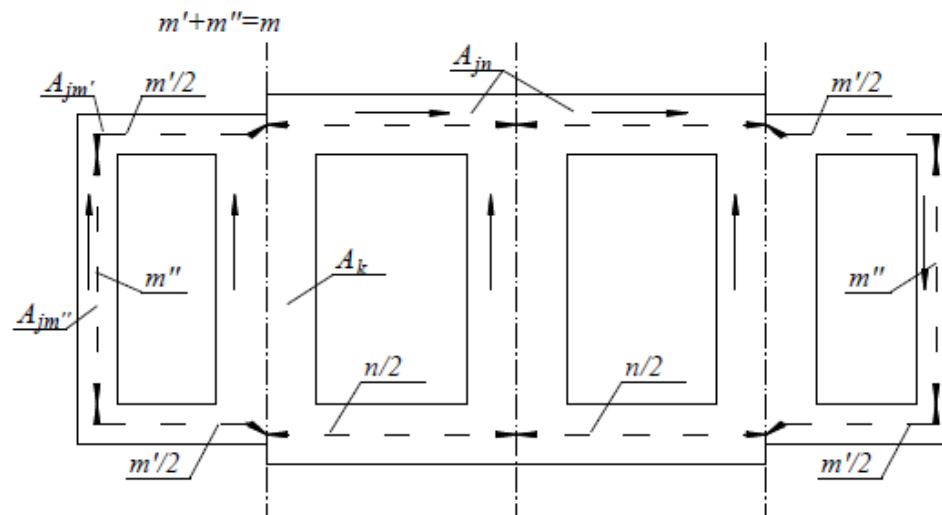
Ich parametry techniczne muszą spełniać wymagania normy EN(IEC)61558 a także zaostrzone wymagania norm branżowych, dotyczące: prądów jałowych, odporności na zwarcia i przeciążenia czy temperatury pracy.

Nasza firma produkuje transformatory przeznaczone do zasilania kolejowych obwodów sterowania o mocach od 40 do 500 VA

## TRANSFORMATOR PIĘCIOKOLUMNOWY

W wielu projektach występuje konieczność dostosowania gabarytów transformatora do istniejącej obudowy maszyny. Konstrukcja rdzenia pięciokolumnowego pozwala na zmniejszenie wysokości transformatora.

W rdzeniu pięciokolumnowym występują dwie zewnętrzne nie uzwojone kolumny stanowiące przedłużenie oraz połączenie jarzma dolnego z górnym. Zastosowanie takiego magnetowodu w trójfazowym transformatorze pozwala przy zachowaniu pełnej mocy transformatora i niezmiennych wymiarach kolumn zmniejszyć przekrój jarzma do ok. 60% przekroju jarzma w typowym rdzeniu trójkolumnowym. W ten sposób uzyskujemy zmniejszenie wysokości transformatora o ok. 80% wysokości jednego jarzma.





Transformator pięciokolumnowy typ ET3oGH



Dławik silnikowy typu ED3SM-0,29mH / 250A



Dławik silnikowy typu ED3S-0,15mH / 400A

## TRANSFORMATOR MOCY

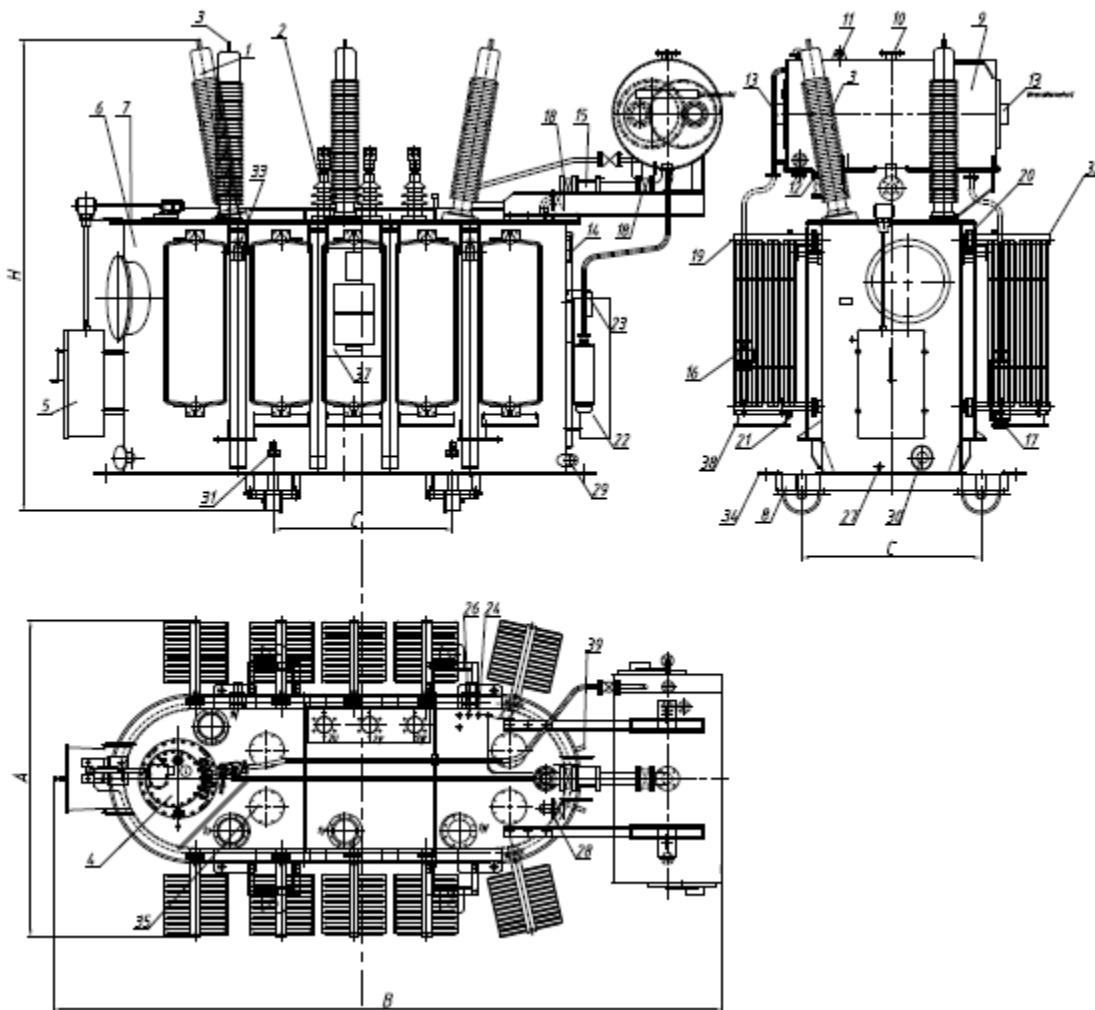
Transformatory te służą głównie do obniżania napięcia w sieciach energetycznych WN/SN (GPZ) lub do przesyłu energii SN/WN tzw. „blokowe” w Elektrociepłowniach i fermach wiatrowych. Transformatory mocy są wykonywane również do łączenia i przesyłu energii w sieciach SN/SN.



Transformatory w wykonaniu normalnym są przeznaczone do klimatu umiarkowanego. Max wysokość instalacji transformatora: 1000 m n.p.m. Miejsce pracy - otwarta przestrzeń lub w pomieszczenie wystarczająco przewietrzane, atmosfera wolna od pyłów i gazów chemicznie aktywnych lub zagrażających wybuchem Zakres temperatury otoczenia:  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$  ( $248^{\circ}\text{K}$  do  $313^{\circ}\text{K}$ ), średnia temperatura roczna nie może przekraczać  $+20^{\circ}\text{C}$  ( $293^{\circ}\text{K}$ ). Częstotliwość znamionowa: 50 Hz. Transformatory są dostosowane do pracy ciągłej, a warunki obciążalności są zgodne z normą PN-EN 60076-1 oraz PN-EN 60076-2.

Trójkolumnowe wykonane są z blachy transformatorowej zimnowalcowanej o niskiej stratności pokrytej izolacją nieorganiczną. Schodkowy przekrój kolumny rdzenia jest zbliżony do przekroju kołowego, przy optymalnej, zaprojektowanej komputerowo konstrukcji uwzględniającej wypełnienie przekroju i odpowiednią gęstość strumienia. Blachy kolumnowe i jarzmowe w postaci ukosowanych pasów na końcach są starannie pakietowane zapewniające obniżenie strat jałowych i poziomu hałasu. Miejsce zaplatania składa się z kilku blach poprzesuwanymi o kilka milimetrów tworząc cykle Step-Lep

Uzwojenia transformatorów wykonane są z miedzi elektrolitycznej w izolacji papierowej składającej się od kilku do kilkunastu przewodów równoległych. Układ chłodzenia wykonany jest zazwyczaj z klinów i wstawek preszpanowych.



- 1.Przepust GN.
- 2.Przepust DN.
- 3.Przepust zerowy.
- 4.Przeźcznik zaczepów.
- 5.Napęd przeźcznika zaczepów.
- 6.Kad?
- 7.Pokrywa.
- 8.Podwozie.
- 9.Konserwator.
- 10.Wlew oleju do konserwatora.
- 11.Ucha do podnoszenia konserwatora.
- 12.Spust oleju z konserwatora.
- 13.Magnetyczny wskaźnik poziomu oleju.
- 14.Zawór bezpieczeństwa.
- 15.Przełącznik Buchholza.
- 16.Odwilącz powietrza przeźcznika.
- 17.Odwilącz powietrza transformatora.
- 18.Zawór kulowy.
- 19.Radiatory.
- 20.Zastawka radiatora.
- 21.Spust resztek oleju z radiatora.
- 22.Skrzynka przyładowaniowa.
- 23.Termometr tarczowo kontaktowy.
- 24.Czujnik termometru kontaktowego.
- 25.Termometr maksymalny.
- 26.Gniazdo termometru oporowego.
- 27.Spust resztek oleju.
- 28.Wlew oleju, zawór kulowy.
- 29.Łruby do prób oleju.
- 30.Zawór kulowy do wlewania i filtrowania oleju.
- 31.Łruba uziomowa.
- 32.Łruba odpowietrzająca.
- 33.Czopy do podnoszenia transformatora.
- 34.Ucha do przeciżgania transformatora.
- 35.Waży do podnoszenia części wymagalnej.
- 36.Wsporniki do podnoszenia transformatora.
- 37.Tabliczki.
38. Wentylatory.
39. Przystawka Buchholza.

*Regulacja:*

Przełącznik zacze­pów do regulacji podobciążeniowej po stronie GN wbudowany jest do transformatora posiada napęd silnikowy o napięciu 3x400/230 V, 50 Hz, napięcie sterowania 230V, 50 Hz. Napęd może być sterowany elektrycznie zdalnie lub lokalnie jak też może być napędzany ręcznie za pomocą korby. Napęd jest wyposażony we wskaźnik położenia zacze­pów.}

*Kadzie:*

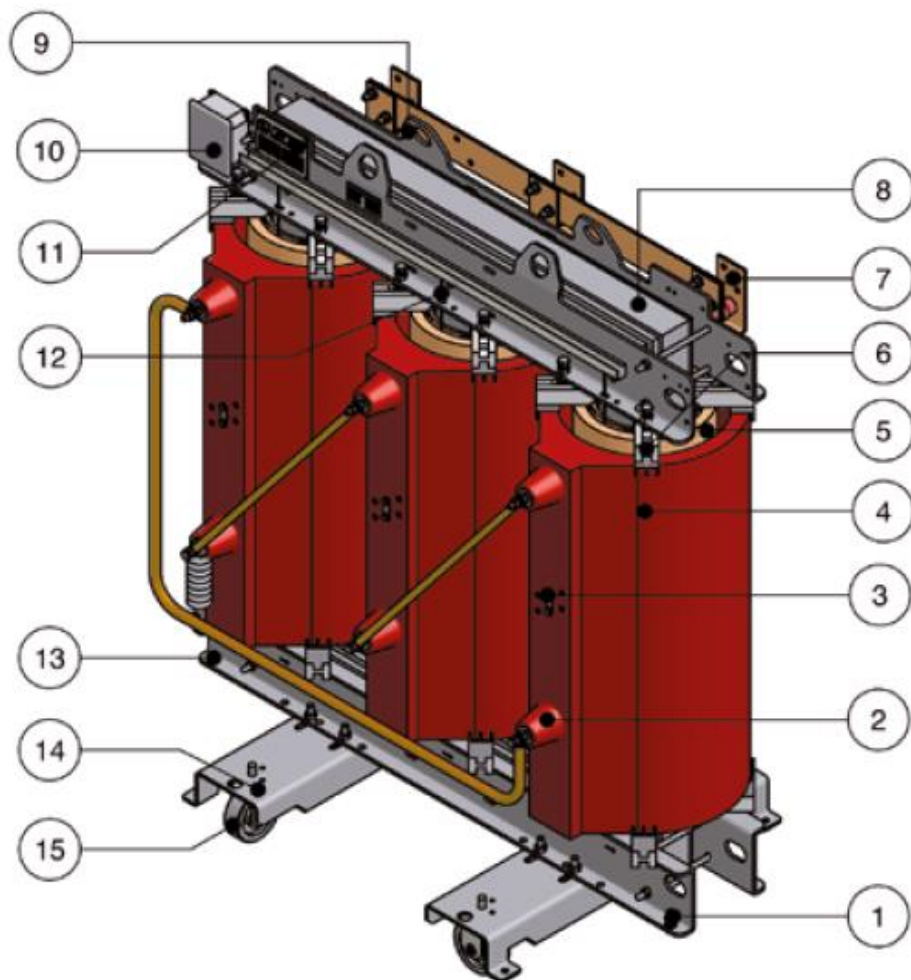
Kadź bez dodatkowego wyposażenia wytrzymuje różnice między ciśnieniem wewnętrznym i zewnętrznym  $\pm 500$  hPa. Konstrukcja kadzi umożliwia podnoszenie transformatora przy pomocy podnośników hydraulicznych oraz suwnic lub dźwigów. Kadź pokryta jest lakierem odpornym na czynniki atmosferyczne.

*Konserwator:*

Konserwator jedno lub dwukomorowy (osobna komora dla przełącznika zacze­pów pod obciążeniem).

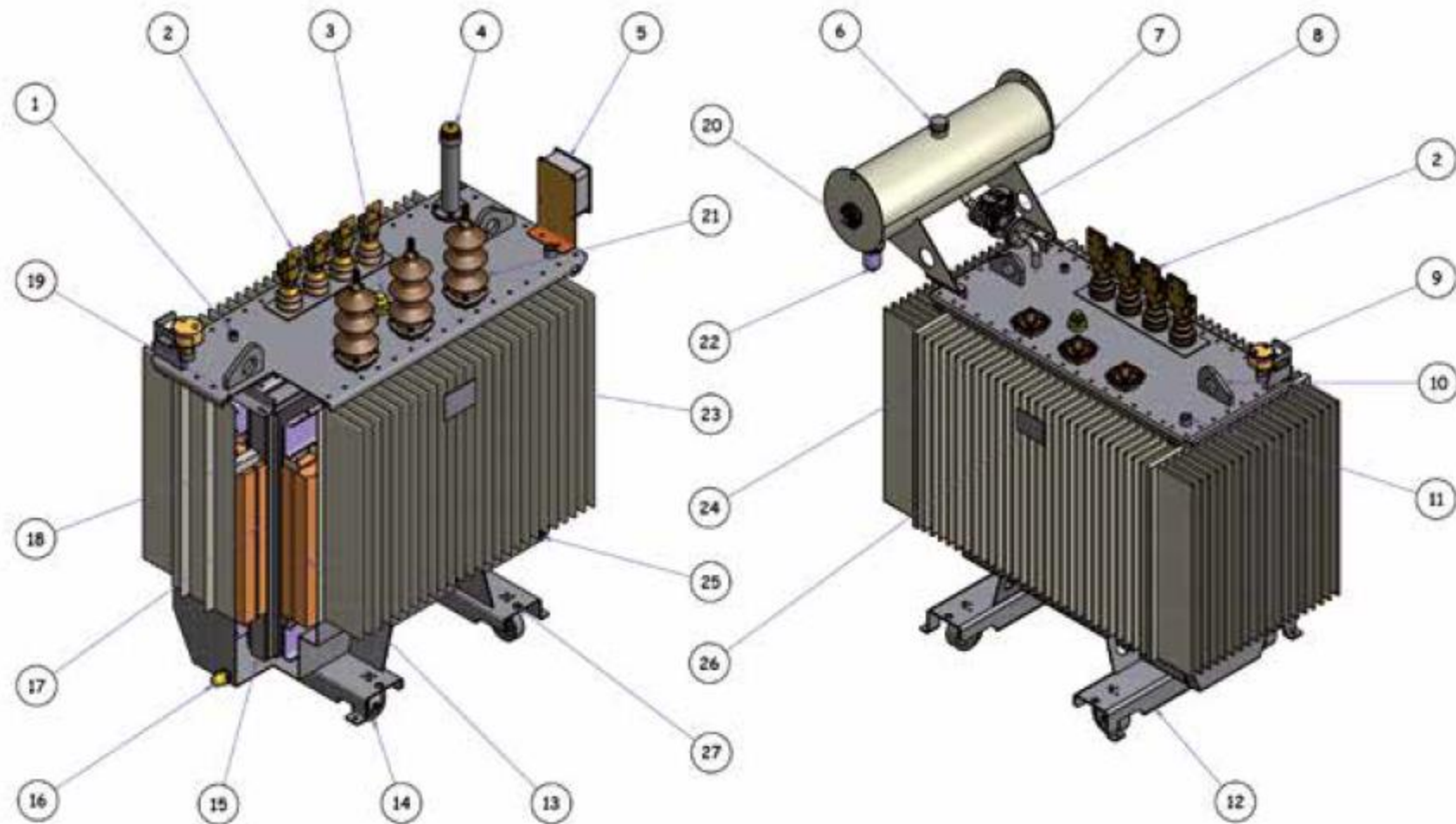
*Radiatory:*

Radiatory nabudowane na kadzi transformatora, które jeśli zajdzie konieczność można zdemontować. Radiatory posiadają korki do spustu oleju i odpowietrzania oraz są montowane do kadzi poprzez zastawki pozwalające na odcięcie oleju w kadzi od radiatorów. Radiatory dostępne są w wersji ocynkowanej jak również lakierowanej.

**WYPOSAŻENIE STANDARDOWE:**

- 1 > Zaciski uziemiające
- 2 > Izolatory średniego napięcia
- 3 > Zaczepy regulacyjne średniego napięcia
- 4 > Uzwojenie średniego napięcia
- 5 > Uzwojenie niskiego napięcia
- 6 > Wstawki dociskowe
- 7 > Szyny przyłączeniowe niskiego napięcia
- 8 > Rdzeń magnetyczny
- 9 > Uchwyty do podnoszenia
- 10 > Skrzynka zaciskowa czujników temperatury
- 11 > Tabliczka znamionowa
- 12 > Czujniki temperatury
- 13 > Belka spinająca
- 14 > Uchwyty do ciągnięcia
- 15 > Dwukierunkowe koła transportowe

Transformatory suche żywiczne i suche klasyczne



Transformatory Olejowe

**WYPOSAŻENIE STANDARDOWE:**

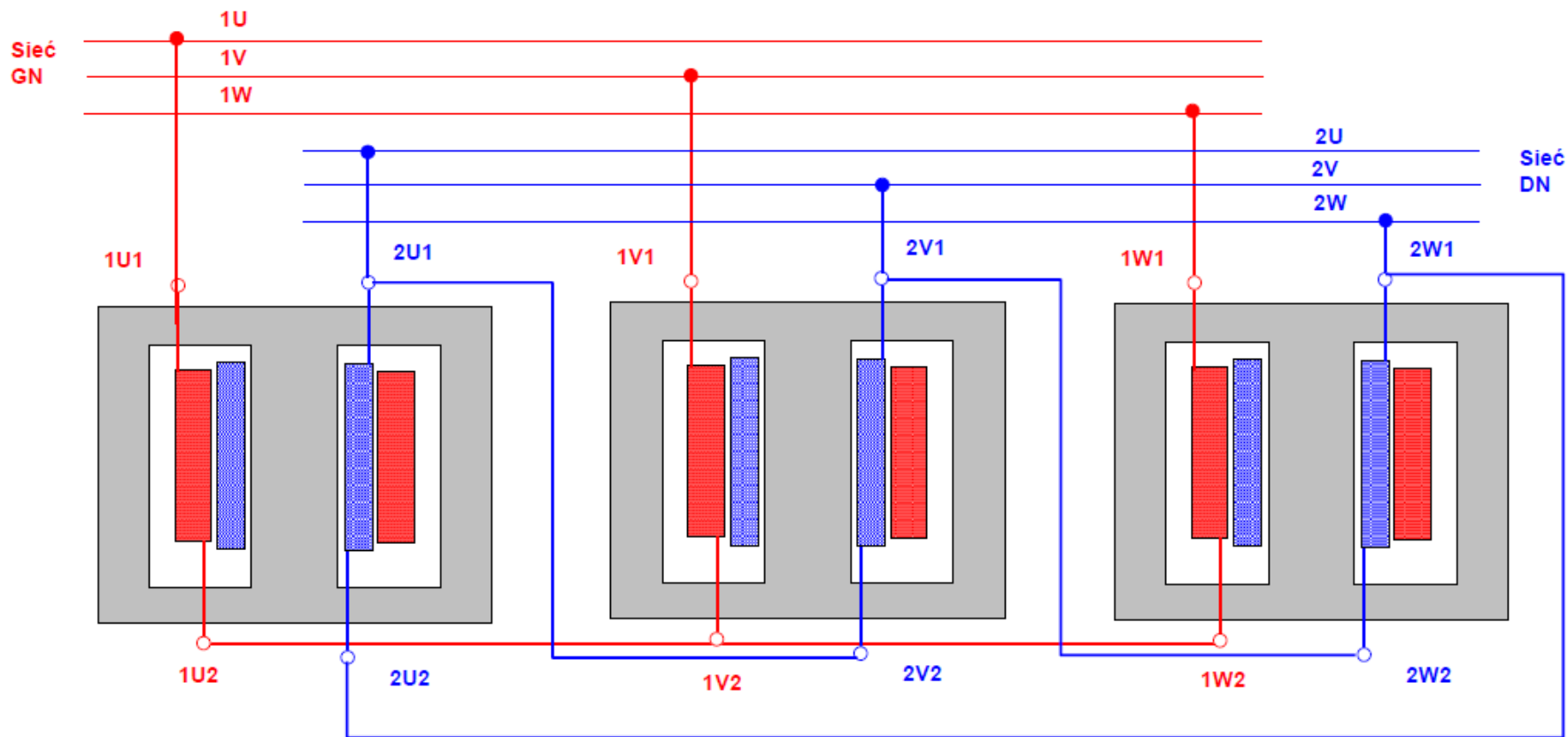
- 1 > Zaciski uziemiające
- 2 > Przepusty niskiego napięcia
- 3 > Beznapięciowy przełącznik zaczepów
- 4 > Wlew oleju z nadciśnieniowym zaworem bezpieczeństwa
- 5 > Skrzynka obwodów pomocniczych (na życzenie Klienta)
- 6 > Korek wlewu oleju
- 7 > Konserwator (dla wersji niehermetycznej)
- 8 > Przekaznik Buchholza
- 9 > Termometr z dwoma stykami (na życzenie Klienta)
- 10 > Uchwyty do podnoszenia
- 11 > Kieszeń termometru
- 12 > Podwozie
- 13 > Uzwojenie średniego napięcia
- 14 > Przewalniale kółka
- 15 > Rdzeń
- 16 > Zawór spustowy
- 17 > Uzwojenie niskiego napięcia
- 18 > Wstawki dociskowe
- 19 > Belka spinająca
- 20 > Wskaźnik poziomu oleju (dla wersji niehermetycznej)
- 21 > Przepusty średniego napięcia
- 22 > Odwilżacz powietrza z silikażelem (dla wersji niehermetycznej)
- 23 > Kadź falista
- 24 > Gniazda konektorowe SN (na życzenie)
- 25 > Zacisk uziemiający na kadzi
- 26 > Tabliczka znamionowa
- 27 > Uchwyty do ciągnięcia



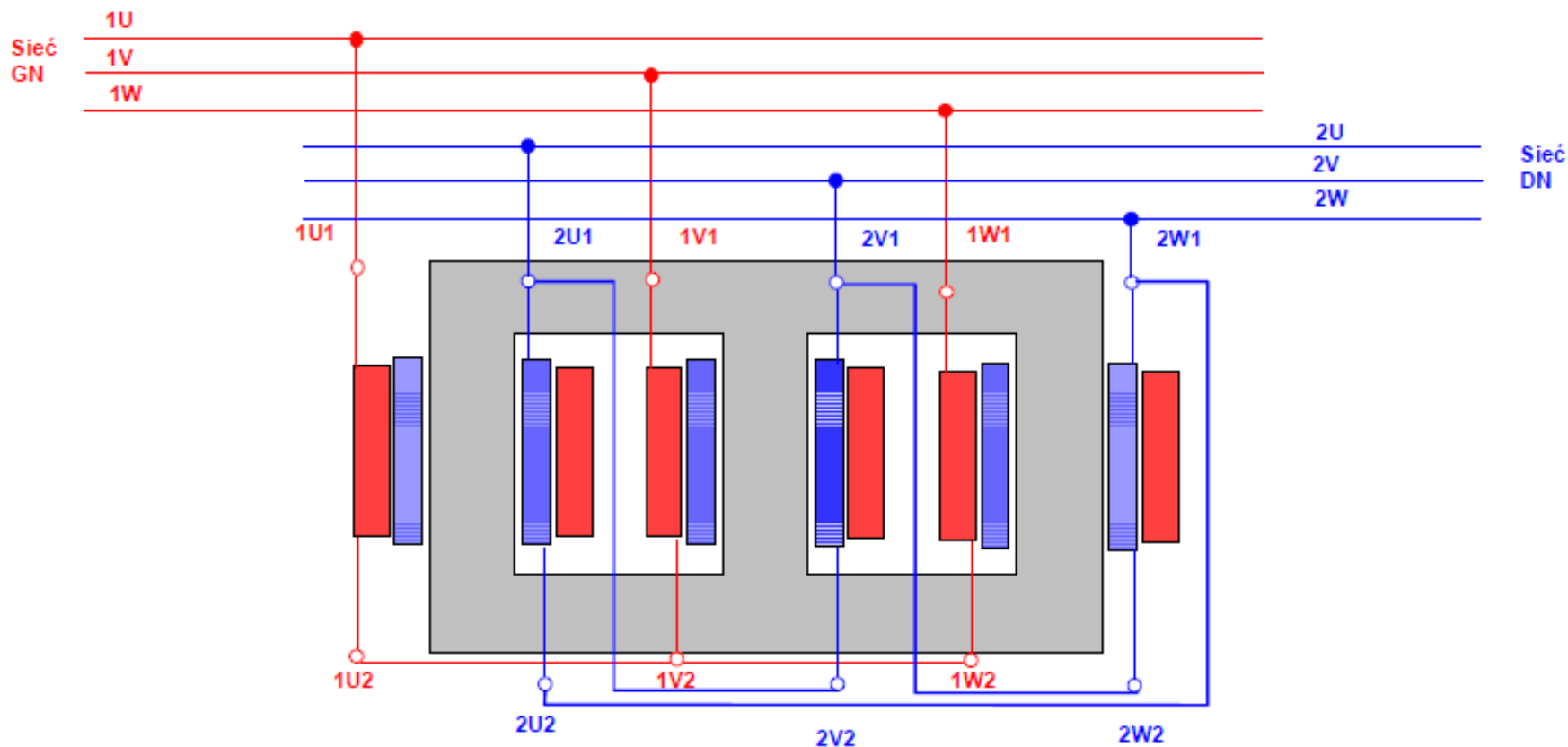
Transformatory Moc



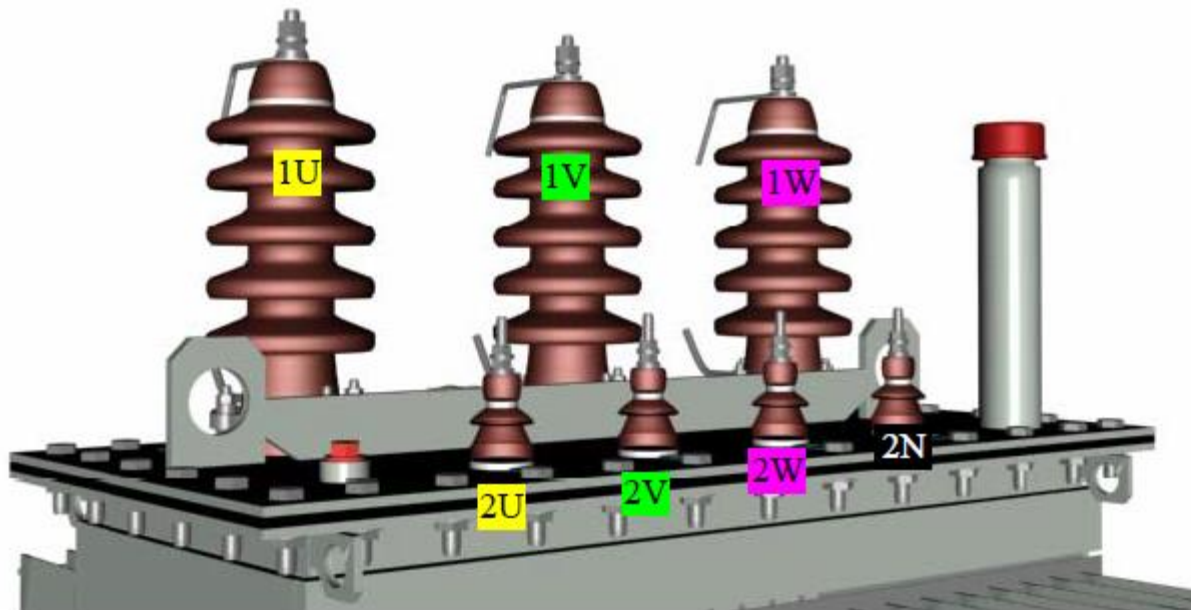




Trzy transformatory jednofazowe połączone w układ Yd11



Transformator trójfazowy połączony w układ Yd11



# Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak

*tel: 0048 603687444*

*mail: robert.czak@op.pl*