

Sposoby ochrony przeciwporażeniowej i przeciwpożarowej w urządzeniach energoelektronicznych

Henryk Świątek

Instytut Elektrotechniki

Tel.: 8123218

e-mail: h.swiatek@iel.waw.pl

Zakres pracy

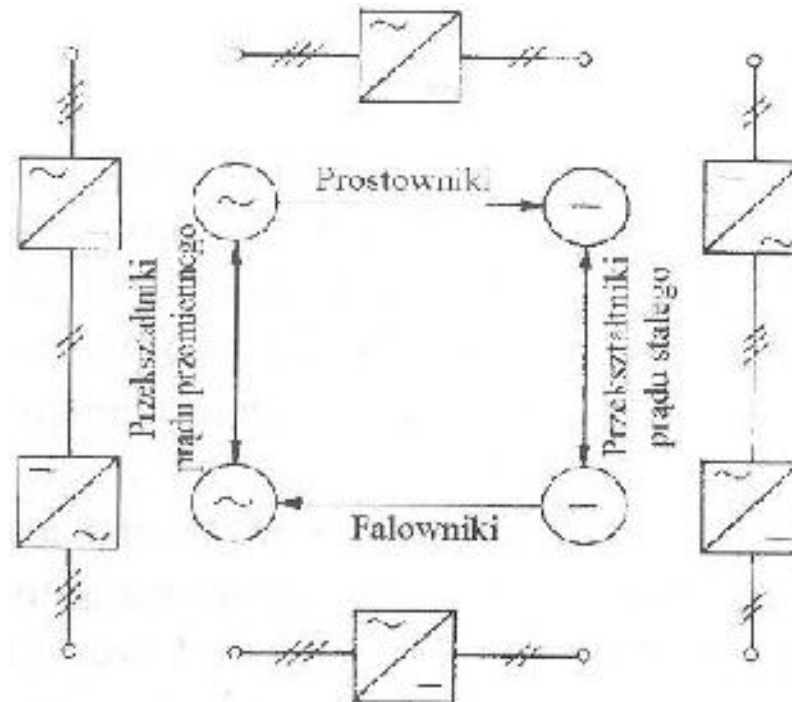
1. Wprowadzenie
2. Charakterystyka urządzeń energoelektronicznych
3. Zalety urządzeń energoelektronicznych
4. Wady urządzeń energoelektronicznych
5. Ogólne zasady ochrony przeciwporażeniowej
6. Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykiem bezpośrednim
7. Napięcia decyzyjne
8. Wytyczne ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim
9. Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykiem pośrednim
10. Wytyczne ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim
11. Połączenia wyrównawcze
12. Ochrona przeciwporażeniowa stosowana w urządzeniach energoelektronicznych zasilanych z sieci o układzie TN i IT
 - Szyna ochronna
 - Rodzaje i środki ochrony przeciwporażeniowej obwodów elektroniki
 - Ochrona przeciwporażeniowa przy zwarcjach w przekształtniku
 - Bezpieczeństwo przeciwpożarowe w urządzeniach energoelektronicznych
 - Wnioski

Sposoby ochrony przeciwporażeniowej i przeciwpożarowej w urządzeniach energoelektronicznych

- Przy projektowaniu ochrony przeciwporażeniowej i przeciwpożarowej należy przede wszystkim uwzględnić specyfikę pracy urządzeń energoelektronicznych (np. rodzaj i częstotliwość prądu zwarcowego, uzależnienie prądu zwarcia od stanu wysterowania zaworów, czy wielokrotności przetwarzania energii).
- Dzięki temu producenci i użytkownicy urządzeń energoelektronicznych właściwie dobiorą środki ochrony przeciwporażeniowej i przeciwpożarowej.
- Już na etapie projektowania urządzeń i instalacji elektrycznych, zarówno powszechnego użytku, jak i przemysłowych, zawierających układy energoelektroniczne, należy analizować różnego rodzaju zagrożenia dla osób obsługujących te urządzenia.
- Projektant powinien rozpoznać zagrożenia i zastosować takie środki ochrony, aby zredukować ryzyko do minimum.

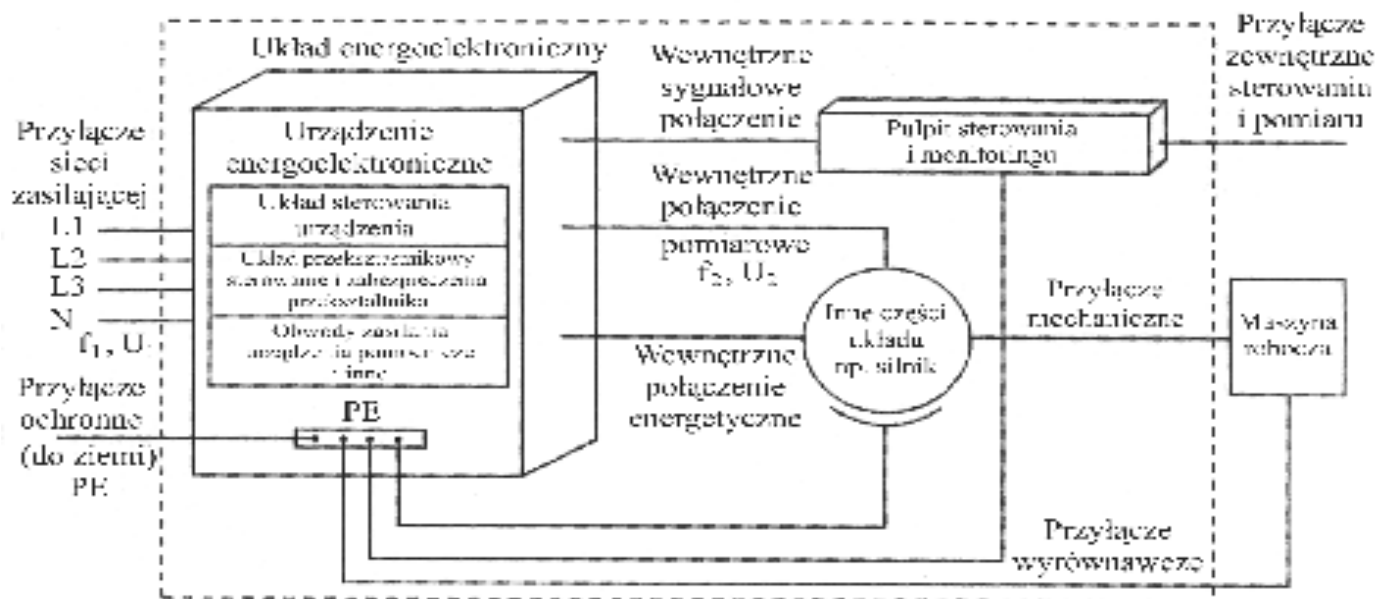
Energoelektronika

jest nowoczesną techniką przekształcania energii elektrycznej i oszczędnego jej użytkowania.



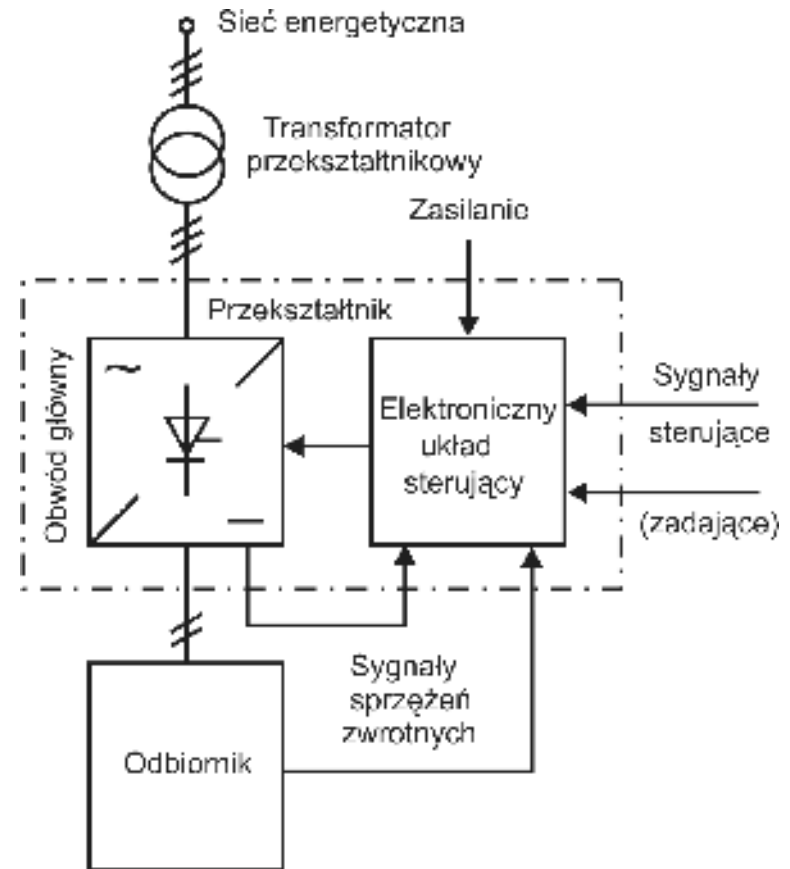
Charakterystyka urządzeń energoelektronicznych

- Urządzenia energoelektroniczne służą do **przekształcania** energii elektrycznej prądu stałego i przemiennego, do **sterowania** jej przepływem oraz do celów łączeniowych.
- Urządzenia energoelektroniczne zmieniają **kształt**, **wartość** i **częstotliwość** napięcia, dostosowując **parametry zasilania** do aktualnych potrzeb odbiorników energii elektrycznej

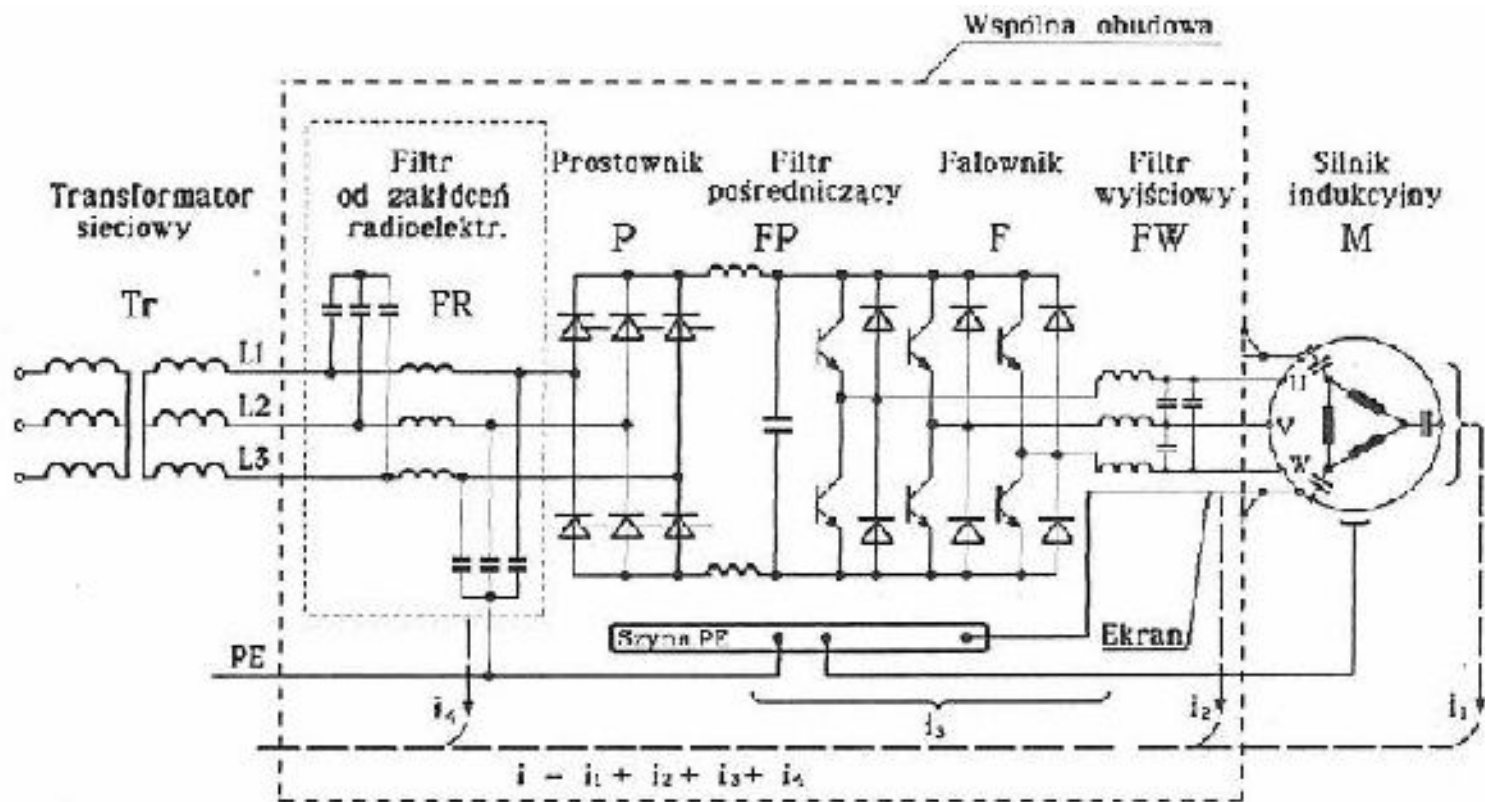


Układ energoelektroniczny składa się najczęściej z trzech części:

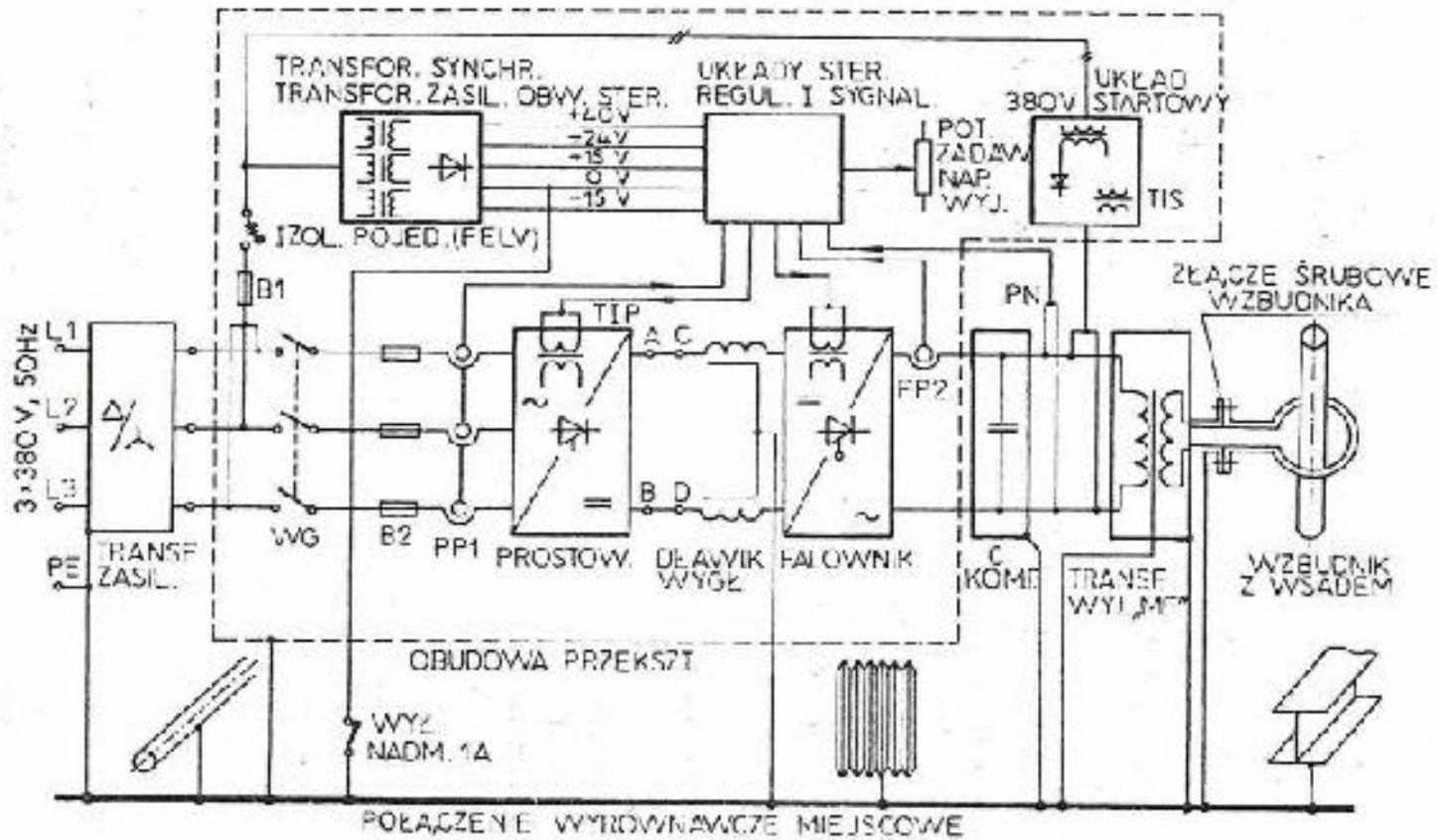
- **przekształtnika** umieszczonego w szafie (obudowie) lub kilku szafach,
- **pulpitu sterowania** umieszczone w szafie sterowania (w niektórych wykonaniach jest umieszczony na drzwiach szafy),
- **obiektu regulacji** (silnika napędowego lub innego odbiornika energii)



poglądową topologię przekształtnika napędowego średniej mocy, zasilanego z sieci typu TN



przełącznik częstotliwości do zastosowań elektrotermicznych



- Urządzenia energoelektroniczne mogą mieć:
 - różne parametry elektryczne,
 - topologie,
 - właściwości funkcjonalne,przy zastosowaniu:
 - różnych typów zaworów (diody, tranzystory, tyrystory),
 - sposobu przetwarzania,
 - systemów sterowania i poziomu ograniczenia prądu.
- Układy energoelektroniczne mogą
 - pracować w środowiskach o różnym poziomie zapylenia i wilgotności
 - mogą być zasilane z sieci o różnej konfiguracji (TN, TT oraz IT) i o różnym poziomie mocy zwarcia,
 - pracować jako urządzenia instalowane na stałe (większej mocy) lub przyłączane za pomocą gniazda wtykowego.

Układy energoelektroniczne charakteryzują się
specyficznymi właściwościami,
odróżniającymi je od innych urządzeń.

Przy organizacji doboru środków ochrony
przeciwporażeniowej przed dotykiem
bezpośrednim i pośrednim należy wziąć pod
uwagę:

- występowanie znacznego prądu w przewodzie ochronnym PE (zwykle $I > 3,5$ mA prądu przemiennego) wynikające z pojemności filtrów od zakłóceń radioelektrycznych oraz pojemności i upływności elementów wyposażenia układu,
- występowanie prądu zwarcia zależnego od kąta wysterowania zaworów,
- zależność prądu zwarcia nie tylko od rezystancji przewodu fazowego, ale od indukcyjności fazowej źródła zasilania (dławików sieciowych lub transformatorów),
- wystąpienie składowej stałej prądu zwarcia w przewodzie ochronnym,

- występowanie w układach energoelektronicznych obwodów regulacji i sterowania, których zabezpieczenie przed zwarcieniem do obwodów głównych, wymaga stosowania specjalnych środków,
- wielokrotne przetwarzanie energii,
- prąd upływowy w przewodzie ochronnym w stanie normalnej pracy o częstotliwości zależnej od układu w zakresie od $f = 50$ Hz do dziesiątek kHz (w przypadku falowników) łączących przekształtnik z odbiornikiem (np. silnikiem) oraz w przewodach ekranowanych,
- występowanie w obwodach urządzeń energoelektronicznych napięć i prądów odkształconych od sinusoidalnych, o dużych stromościach narastania i opadania,

- występowanie różnych napięć na izolacji między obwodami i do obudowy na poszczególnych stopniach przetwarzania energii z uwagi na zastosowanie obwodów rezonansowych i przebiegów komutacyjnych,
- dużą wrażliwość zaworów półprzewodnikowych na przebiegi międzyprzewodowe i do uziemionej obudowy,
- prąd doziemienia, który zależy od kąta wysterowania zaworów przekształtnika (prąd doziemienia zmienia się od $I = 0$ do wartości prądu zwarcia),
- stosowanie dławików sieciowych istotnie obniżających prąd przy doziemieniu.

W każdym układzie energoelektronicznym jest szereg obwodów, które wymagają zastosowania ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim i przed dotykiem pośrednim. Obwody te ze względu na funkcjonowanie układu, są od siebie galwanicznie oddzielone izolacją podstawową lub podwójną. Są to obwody:

główny przekształtnika-obejmujący podzespoły energetyczne, w którym odbywa się przekształcanie energii elektrycznej, stosownie do wymagań odbiorników.

Obwody główne oddzielone są zazwyczaj od sieci zasilającej za pomocą transformatora prostownikowego lub dławików sieciowych, nie powodują jednak oddzielenia galwanicznego od sieci, mają jednak istotny wpływ na przebieg prądu zwarcia (w przypadku doziemienia) i na ograniczenie przepięć atmosferycznych

elektroniczne - sterujące pracą zaworów półprzewodnikowych, spełniające funkcje regulacyjne, monitorowania stanów pracy, diagnostyki, sygnalizacyjne i pomocnicze (sterowania przekaźnikowego i sterowania pracą wentylatorów)

Zalety urządzeń energoelektronicznych

- łatwość przekształcania energii elektrycznej z jednego poziomu U_1 , I_1 , f_1 na energię o innych wartościach U_2 , I_2 , f_2 dopasowanych do wymagań odbiornika,
- przekształcanie energii z minimalnymi stratami,
- sterowanie mocą; moc sterowania może być nawet milion razy mniejsza niż moc w obwodzie głównym,
- łatwość obsługi serwisowej,
- łatwość dopasowania przekształtnika do charakterystyk maszyny roboczej i wymagań przez nią stawianych

Wady urządzeń energoelektronicznych

- generowanie wyższych harmonicznych prądu
- generowanie do sieci harmonicznych prądu
- wrażliwość na przepięcia impulsowe

Ogólne zasady ochrony przeciwporażeniowej

- ochrona człowieka przed możliwością porażenia prądem elektrycznym,
- ochrona przed szkodliwym działaniem pól elektromagnetycznych, zagrażających zdrowiu człowieka lub zakłócających działanie urządzeń (zagrożenie to występuje zwłaszcza przy komputerowym sterowaniu układu),
- zabezpieczenie przed skutkami łuku elektrycznego, powstającego na zestykach podczas wyłączania łączników,
- ochrona przed eksplozją bezpieczników, półprzewodnikowych przyrządów mocy, kondensatorów energetycznych lub wyłączników instalacyjnych,
- ochrona przed nadmiernym hałasem,
- zabezpieczenie przed szkodliwymi substancjami lotnymi, wydzielającymi się w wyniku przegrzania układu (np. w przypadku wystąpienia awarii w systemie chłodniczym urządzenia),
- ochrona przed pożarem, którego pośrednią przyczyną może być zastosowanie palnych materiałów izolacyjnych,
- zabezpieczenie przed awariami mechanicznymi (np. przed niezamierzonym rozruchem silników po zaniku napięcia)

Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykiem bezpośrednim

Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa) dotyczy warunków w stanie normalnej pracy urządzenia (przy nieuszkodzonej izolacji), który ma:

- uniemożliwić personelowi obsługującemu urządzenia energoelektroniczne zetknięcie się z częściami czynnie przewodzącymi prąd,
- ograniczyć prąd dotykowy (razeniowy), spowodowany upływnością izolacji do wartości nie powodującej zagrożenia dla zdrowia lub życia człowieka.

Do środków bezpośredniej ochrony przeciwporażeniowej należy jedno lub kilka rozwiązań:

- zapewnienie izolacji roboczej o bardzo **dużej rezystancji (powyżej 20 MΩ)**,
- umieszczenie części przewodzących prąd przekształtnika w obudowie (szafie), o stopniu ochrony nie niższym niż IP 2X, z drzwiami zamykanymi na klucz i wyposażonymi w wyłączniki, które wyłączają układ z sieci po ich otwarciu,
- zainstalowanie przekształtnika (urządzenia) w wyodrębnionym zamkniętym pomieszczeniu,
- zabezpieczenie części przewodzących prąd przeszkodami (barierami) i osłonami.

Podzespoły i elementy będące pod niebezpiecznym napięciem powinny być:

- **odizolowane**
- **osłonięte**
- **opisane**

Czynności związane z konserwacją i regulacją układu przy otwartej szafie powinny być dokonywane z zachowaniem niezbędnych środków ostrożności i warunków bezpieczeństwa. Wśród nich można wymienić:

- **wydzielenie** w szafie miejsca lokalizacji elementów układu, będących pod napięciem i stwarzających zagrożenie porażeniowe,
- **oznaczenie** w szafie pól z częściami będącymi pod napięciem i stwarzającymi zagrożenie,
- **prowadzenie** prac strojeniowych i konserwacyjnych w miarę możliwości przy wyłączonym napięciu w obwodzie głównym.

Napięcia decyzyjne

Zakres napięciowy	Graniczne wartości klas napięciowych		
	Napięcie przemiennne (wartość skuteczna) U_G , w (V)	Napięcie przemiennne (wartość szczytowa) $U_x \sqrt{2}$, w (V)	Napięcie stałe (wartość średnia), w (V)
1	< 25	< 35	< 60
2	$25 < U < 50$	$35 < U < 71$	$60 < U < 120$
3	$50 < U < 1400$	$71 < U < 2000$	$120 < U < 2000$
4	$U > 1400$	$U > 2000$	$U > 2000$

Wytyczne ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim

- Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykiem bezpośrednim wymaga zabudowy przekształtnika w szafie o stopniu osłony IP2x (górną IP4x).
- Osłona powinna być zamykana w taki sposób, aby personel obsługi nie mógł jej otworzyć bez specjalnych urządzeń lub klucza.
- Części przewodzące prąd wewnątrz obudowy przekształtnika powinny być oddzielone od obudowy izolacją (stałą, odstępami izolacyjnymi w powietrzu i po powierzchni) taką, która w danym środowisku zapewni bezpieczną pracę urządzenia
- Wpływ na izolację między częściami przewodzącymi a obudową mają: napięcie pracy, przepięcie impulsowe i długotrwałe (sekundowe), stopień zapylenia środowiska i rodzaj materiałów izolacyjnych.

- **Aby zminimalizować ryzyko porażenia prądem elektrycznym, dla przypadku równoczesnego uszkodzenia izolacji urządzenia energoelektronicznego i nieskutecznego działania środków ochrony, należy w procesie budowy, modernizacji, remontów i napraw oraz podczas normalnej eksploatacji kontrolować ich stan techniczny poprzez oględziny i pomiary, gdyż, w miarę upływu czasu, następuje starzenie się izolacji urządzeń, co może doprowadzić do ich uszkodzenia lub zawodnej pracy.**
- **Wewnątrz obudowy elementy wyposażenia elektrycznego przekształtnika powinny mieć odstępy izolacyjne w powietrzu i wzdłuż powierzchni osłoniętego wyposażenia dostosowane do stopnia zapylenia środowiska i do poziomu przepięć przejściowych przychodzących z sieci.**

Ochrona przeciwporażeniowa przed dotykaniem pośrednim

Ochrona przed dotykiem pośrednim (dodatkowa) (ten rodzaj ochrony zgodnie z obowiązującą nomenklaturą nazywa się ochroną przy uszkodzeniu) polega na stosowaniu środków, jakie - w razie uszkodzenia izolacji roboczej lub pojawienia się napięć na osłonach- powodują:

- samoczynne i szybkie wyłączenie zasilania w wymaganym czasie,
- zastosowanie dodatkowej izolacji,
- obniżenie występującego napięcia dotykowego jakie pojawi się na dostępnych przewodzących częściach układu energoelektronicznego do wartości niezagrażającej porażeniem lub pożarem w urządzeniu lub instalacji,
- zastosowanie połączeń wyrównawczych ekwipotencjalizujących napięcie w całym pomieszczeniu.

Wyłączenie układu przekształtnikowego jest wymagane z trzech powodów:

- ochrony człowieka przed możliwością porażenia,
- ochrony przekształtnika i instalacji przed możliwością wystąpienia pożaru,
- możliwości uszkodzenia części składowych przekształtnika (zwłaszcza zaworów) i odbioru (np. silnika).

Wytyczne ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim

- Poszczególne układy energoelektroniczne wymagają w zależności od przeznaczenia, mocy i topologii indywidualne zabezpieczenia, do których są dobierane odpowiednie środki ochrony przeciwporażeniowej.
- Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej w przypadku zwarcia do masy istotną rolę odgrywają połączenia wyrównawcze i zwiększony przekrój przewodu ochronnego.

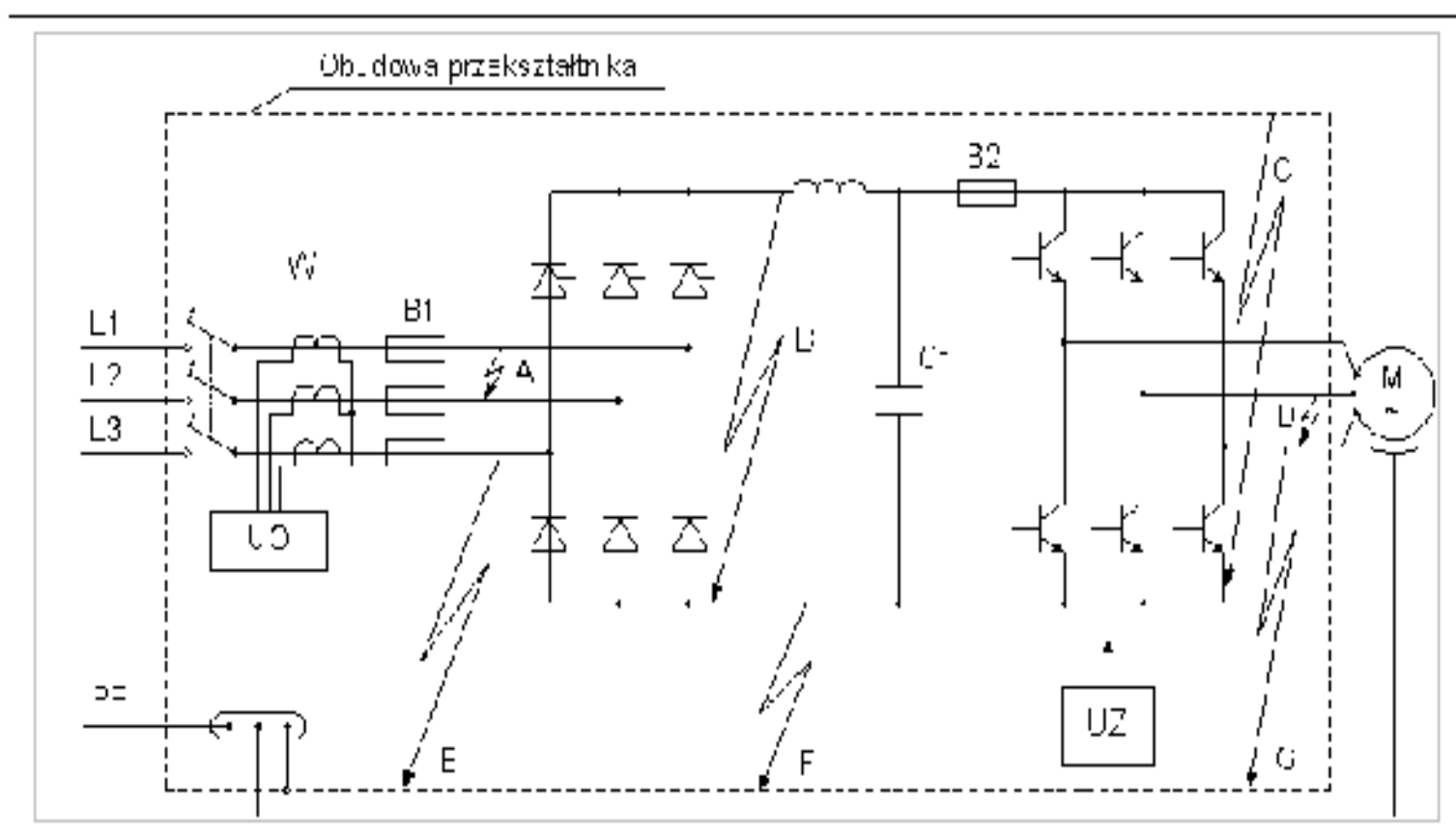
- W celu eliminacji możliwości zwarcia obwodów głównych przekształtnika z obwodami regulacji i sterowania zalecić można zastosowanie podwójnej izolacji dla oddzielenia tych obwodów.
- Bateria kondensatorów zastosowana w obwodzie pośredniczącym prądu stałego stanowi istotne utrudnienie przy konstruowaniu przekształtnika częstotliwości z uwagi na znaczny prąd rozładowania w obwodzie zwarcia wewnętrznego falownika.

Połączenia wyrównawcze

Połączenia wyrównawcze przekształtnika częstotliwości są istotnym elementem ochrony przeciwporażeniowej pośredniej, ponieważ wyłączenie układu przekształtnika nie zawsze jest dokonane w czasie wymaganym przez normy dotyczące bezpieczeństwa ochrony przeciwporażeniowej.

Ochrona przeciwporażeniowa przy zwarcjach w przekształtniku

zwarcia międzyprzewodowe i do uziemionej obudowy w przekształtniku



Zabezpieczenie przekształtnika		Wyłączniki z zabezpieczeniem nadprądowym	Bezpieczniki tyrystorowe	Układ ograniczenia prądowego prostownika	Układ ograniczenia prądowego falownika	Bezpieczniki w obwodzie <u>falownika</u>
Rodzaje zwarć w przekształtniku						
Zwarcia między-przewodowe	Na wejściu prostownika (A)	X	X	-	-	-
	Na wyjściu prostownika (B)	X	X	X	-	-
	Na wejściu falownika (C)	X	X	X	-	X
	Na wejściu falownika (D)	X	X	X	-	X
Zwarcie do obudowy	Na wejściu prostownika (E)	X	X	X	-	-
	Na wejściu prostownika (F)	XXX	XXX	XX	-	-
	Na wejściu falownika (G)	XXX	XXX	XX	X	X