

## Moduł 1

### Podstawowe informacje dotyczące maszyn elektrycznych

1. Podstawowe definicje maszyn elektrycznych i ich elementów
2. Podział maszyn elektrycznych ze względu na napięcie zasilania
3. Główne rodzaje maszyn elektrycznych wirujących
4. Główne rodzaje maszyn elektrycznych niewirujących
5. Stopnie ochrony maszyn i urządzeń elektrycznych

## 1. Podstawowe definicje maszyn elektrycznych i ich elementów

Maszyny elektryczne są przetwornikami energii i służą do wytwarzania i przetwarzania energii elektrycznej.

Zamieniają one za pośrednictwem pola magnetycznego energię elektryczną w mechaniczną lub odwrotnie. Należy pamiętać, że każdą maszynę elektryczną cechuje możliwość działania odwracalnego, co w praktyce oznacza, że rodzaj pracy maszyny zależy wyłącznie od tego, jakiego rodzaju energię będziemy doprowadzać do maszyny. Maszyna napędzana mechanicznie służy do wytwarzania energii elektrycznej i nosi nazwę prądnicy lub generatora. Są one już zazwyczaj skonstruowane do takiej pracy. Maszyny zasilane elektrycznie noszą nazwę silników.

Innym rodzajem maszyn elektrycznych są transformatory, w których dostarczona energia elektryczna jest zamieniana na energię elektryczną, ale o innych wartościach prądu i napięcia. Transformatory są maszynami statycznymi, czyli nieposiadającymi części wirujących, jedyną wspólną cechą transformatorów i silników elektrycznych jest właśnie przetwarzanie energii za pośrednictwem pola magnetycznego.

Tak zdefiniowane maszyny elektryczne można więc podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- transformatory,
- maszyny elektryczne wirujące.



**Rys. 1.1 Transformator wysokiego napięcia**

Źródło: <http://pl.fotolia.com/id/43192312>

Maszyny elektryczne wirujące ze względu na rodzaj przetwarzanej energii można podzielić na:

- prądnice,
- silniki,
- przetwornice.



**Rys. 1.2. Silnik elektryczny**

Źródło: <http://pl.fotolia.com/id/53476203>



**Rys. 1.3. Prądnica**

Źródło: <http://pl.fotolia.com/id/55108911>

Prądnica – inaczej nazywana generatorem – jest maszyną wirującą, przetwarzającą energię mechaniczną na elektryczną.

Silnik – dawniej nazywany motorem – jest maszyną wirującą, przetwarzającą energię elektryczną na mechaniczną.

Przetwornica – jest maszyną wirującą, przetwarzającą energię elektryczną na energię elektryczną o innych parametrach.

Do podstawowych części elektrycznych maszyn wirujących zalicza się:

1. Stojan (stator) – czyli nieruchomą część maszyny.
2. Wirnik (rotor) – czyli ruchomą część maszyny.
3. Twornik – część maszyny (stojan albo wirnik), do której doprowadza się energię elektryczną do przetworzenia w maszynie, albo od której odprowadza się energię elektryczną już przetworzoną w maszynie.
4. Magneśnica – część maszyny służąca do wytworzenia strumienia magnetycznego, ale w której nie następuje przetwarzanie energii.

Maszyna elektryczna posiada obwód strumienia magnetycznego i obwód dla prądu. Obwodem dla strumienia magnetycznego jest rdzeń wykonany z materiału ferromagnetycznego. Elementy rdzenia, w których strumień magnetyczny w ustalonym stanie pracy maszyny ma wartość niezmienną w czasie, wykonuje się najczęściej z litej stali, często wysokogatunkowej pod względem magnetycznym i mechanicznym. Elementy rdzenia, w których także i w ustalonym stanie pracy maszyny strumień ma wartość zmienną w czasie, wykonane są najczęściej z blach elektrotechnicznych. Ma to na celu zmniejszenie strat w rdzeniu.

Dla zmniejszenia strat z prądów wirowych blachy są odpowiednio cienkie np. 0,5 lub 0,35 mm, izolowane od siebie i mają dużą rezystywność, uzyskaną na przykład przez odpowiednią zawartość krzemu. Dla zmniejszenia strat z histerezy blachy elektrotechniczne przechodzą odpowiedni proces obróbki w celu uzyskania odpowiedniej struktury krystalicznej. Przykładem może być proces walcowania na zimno.

Obwodem dla prądu w maszynie elektrycznej są uzwojenia wykonane najczęściej z miedzi. Lite elementy rdzenia w stanach nieustalonych mogą stanowić także obwody dla prądów.

Uzwojenia oddzielone są od siebie i od rdzenia izolacją. Izolacja w maszynie elektrycznej musi mieć dużą wytrzymałość elektryczną i mechaniczną, dużą odporność

na odkształcenia termiczne, wolno przebiegający proces starzenia się oraz mały opór termiczny.

Wirnik jest oddzielony od stojana szczeliną przywirnikową, która w maszynach chłodzonych powietrzem nazywa się także szczeliną powietrzną. Szczelina przywirnikowa jest odcinkiem drogi strumienia magnetycznego, przebiegającym w ośrodku niemagnetycznym, na którym występuje największa część napięcia magnetycznego. Można dzięki temu stwierdzić, że szczelina przywirnikowa ma bardzo duży wpływ na właściwości maszyny elektrycznej.

Moment elektromagnetyczny w maszynie wirującej powstaje dlatego, że pole magnetyczne tak oddziałuje na wirnik, aby całkowita energia pola magnetycznego była możliwie jak największa. Wynika stąd wniosek, że warunkiem koniecznym wytwarzania momentu jest uzależnienie energii pola magnetycznego w maszynie od kąta obrotu wirnika. W przypadku wirnika o symetrycznym kształcie przekroju poprzecznego jest to możliwe tylko wtedy, gdy wirnik ma własne uzwojenie. Natomiast gdy wirnik wykonany jest z materiału ferromagnetycznego i ma niesymetryczny kształt przekroju poprzecznego, działa na niego moment elektromagnetyczny nawet wtedy, gdy wirnik nie ma własnego uzwojenia.

Aby maszyna elektryczna w ustalonych warunkach pracy mogła wytwarzać moment o wartości stałej, wirnik musi stale podążać ruchem obrotowym za położeniem odpowiadającym maksymalnej energii pola magnetycznego. Możliwe jest to w przypadku, gdy pole magnetyczne w maszynie wiruje z prędkością stałą. W ten sposób działają maszyny bezkomutatorowe prądu przemiennego, do których zaliczyć można:

- maszynę asynchroniczną, budowaną z przeznaczeniem do pracy silnikowej;
- maszynę synchroniczną, stosowaną głównie jako generator.

## 2. Podział maszyn elektrycznych ze względu na napięcie zasilania

Maszyny elektryczne ze względu na napięcie zasilania można podzielić na:

- maszyny prądu stałego,
- maszyny prądu przemiennego – jednofazowe i trójfazowe.

Dane znamionowe takie jak moc, napięcie, prąd, prędkość obrotowa i inne są zbiorem wartości wielkości elektrycznych oraz mechanicznych ustalonych przez wytwórcę i umieszczonych na tabliczce znamionowej. To właśnie z tabliczki znamionowej możemy odczytać rodzaj napięcia zasilania, na jakie zbudowana została maszyna elektryczna oraz pracę, do której maszyna jest przeznaczona. Dane te odnoszą się do pracy urządzenia w miejscu zainstalowania, położonym na powierzchni ziemi na wysokości do 1000 m n.p.m., gdzie temperatura otoczenia nie przekracza 40 stopni Celsjusza.

Napięcia znamionowe (w Voltach) maszyn elektrycznych prądu stałego i prądu przemiennego powszechnego stosowania można uszeregować w następujący sposób:

- dla prądnic prądu stałego napięcia znamionowe wynoszą odpowiednio: 6, 12, 24, 50, 60, 115, 230, 460 V;
- dla silników prądu stałego napięcia znamionowe wynoszą odpowiednio: 4, 6, 12, 24, 48, 110, 220, 440 V;
- dla prądnic jedno- i trójfazowych prądu przemiennego napięcia znamionowe wynoszą odpowiednio: 26, 44, 230, 400, 6300 V;
- dla silników jednofazowych napięcia znamionowe wynoszą odpowiednio: 6, 24, 42, 110, 220, 440 V;
- dla silników trójfazowych napięcia znamionowe wynoszą odpowiednio: 24, 42, 220, 380, 500, 1000, 6000 V<sup>1</sup>;

Do maszyn prądu przemiennego można zaliczyć:

- maszyny indukcyjne,
- maszyny synchroniczne,
- maszyny komutatorowe prądu przemiennego.

Do maszyn prądu stałego można zaliczyć:

- maszyny obcowzbudne,
- maszyny bocznikowe,
- maszyny szeregowo,
- maszyny bocznikowo-szeregowe.

Maszyny indukcyjne są stosowane przede wszystkim jako silniki do napędu maszyn i urządzeń, zwłaszcza o nieregulowanej prędkości obrotowej. Coraz częściej spotyka się zastosowanie silników o prędkości obrotowej regulowanej w sposób ciągły w szerokim zakresie, np. w stosunku 1:50, przystosowanych do współpracy z układami przekształtnikowymi. Obecnie zwiększa się również stosowanie maszyn indukcyjnych jako prądnic samo- oraz obcowzbudnych, szczególnie w lokalnych elektrowniach z jednostkami o mocy do 2 MW. Ponadto maszyny te są wykorzystywane jako

---

<sup>1</sup> Praca zbiorowa, *Poradnik inżyniera elektryka*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1995r, 215 s.

przetwornice częstotliwości lub – w stanie nieruchomym – jako regulatory napięcia, przesuwniki fazowe oraz dławiki o regulowanej reaktancji.

Maszyny synchroniczne są stosowane przede wszystkim jako:

- turbogeneratory – czyli prądnice szybkoobrotowe napędzane turbinami parowymi;
- hydrogeneratory – czyli prądnice wolnoobrotowe instalowane w elektrowniach wodnych;
- prądnice małej i średniej mocy napędzane maszynami tłokowymi (parowymi, gazowymi, spalinowymi);
- prądnice małej mocy przeznaczone do zasilania wydzielonych lub specjalnych odbiorów;
- silniki;
- kompensatory synchroniczne przeznaczone do wytwarzania mocy biernej w liniach przesyłowych wysokiego napięcia i są zwykle instalowane w stacjach elektroenergetycznych;
- prądnice reluktancyjne (induktorowe) stosowane w przemyśle drzewnym i metalowym, do zasilania elektronarzędzi, w lotnictwie oraz jako wzbudnice dużych turbogeneratorów;
- prądnice o biegunach kłowych stosowane w różnych rodzajach pojazdów mechanicznych (samoloty, samochody, wagony kolejowe, traktory);
- silniki reluktancyjne i histerezowe małej mocy, jako elektryczne maszynowe elementy automatyki.

Maszyny komutatorowe prądu przemiennego są budowane głównie jako silniki jedno- i trójfazowe. Stosowane są w układach napędowych wymagających ciągłej regulacji prędkości obrotowej. Ich zastosowanie jest coraz mniejsze, gdyż są wypierane przez maszyny prądu stałego i przemiennego zasilane z układów przekształtnikowych.

Maszyny prądu stałego są stosowane głównie jako silniki do napędu maszyn i urządzeń o regulowanej prędkości obrotowej w dużym zakresie – nawet w stosunku 1:10 000, o dużym początkowym momencie rozruchowym oraz dużej – bo nawet 10-krotnej – przeciążalności. Zastosowanie maszyn prądu stałego jako generatorów znacznie się zawężyło z uwagi na rozwój sterowanych prostowników półprzewodnikowych. Najczęściej stosowane są maszyny heteropolarne, – czyli różnobiegunowe, w których strumień magnetyczny w następujących po sobie częściach przestrzeni między ruchomym a nieruchomym elementem maszyny ma zwrot przeciwny. Maszyny homopolarne – czyli jednakobiegunowe, w których strumień magnetyczny w całej przestrzeni między poruszającą się a nieruchomą częścią maszyny jest skierowany w taki sam sposób od części nieruchomej do części ruchomej. Stosuje się je głównie jako prądnice wielkoprądowe.

### 3. Główne rodzaje maszyn elektrycznych wirujących

Maszyny elektryczne wirujące można podzielić na następujące rodzaje:

- maszyny indukcyjne,
- maszyny synchroniczne,
- maszyny prądu stałego.

Maszyny indukcyjne należą do grupy maszyn elektrycznych prądu przemiennego, w których następuje przetwarzanie energii elektrycznej w energię mechaniczną lub odwrotnie. To przetwarzanie energii odbywa się w maszynach indukcyjnych za pośrednictwem pola magnetycznego i jest wynikiem działań dynamicznych pola magnetycznego na uzwojenia umieszczone w maszynie, w których płyną prądy wymuszane siłą elektromotoryczną indukowaną przez to pole magnetyczne. Maszyna indukcyjna ma dwa uzwojenia – dwa obwody elektryczne – umieszczone najczęściej w żłobkach dwu części rdzenia ferromagnetycznego oddzielonych od siebie szczeliną powietrzną. Na ogół uzwojenia nie są ze sobą połączone galwanicznie. Jedno z uzwojeń jest przyłączone do sieci przemysłowej napięcia przemiennego, natomiast drugie uzwojenie jest zwarte bezpośrednio lub przez impedancję zewnętrzną. Przetwarzanie energii elektrycznej w mechaniczną – lub odwrotnie – następuje w wyniku indukowania się sił elektromotorycznych w uzwojeniu zwartym (niezasilanym), które wymuszają przepływ prądu w tym uzwojeniu. W maszynie indukcyjnej przetwarzanie energii może odbywać się przy dowolnej prędkości ruchu względnego obydwu uzwojeń, z wyjątkiem jednej charakterystycznej wartości nazywanej prędkością synchroniczną. Tym jest uzasadniona druga nazwa tych maszyn – maszyny asynchroniczne bezkomutatorowe. Maszyny indukcyjne mają prostą budowę i w związku z tym charakteryzują się dużą pewnością rozruchową, łatwością obsługi oraz małym kosztem. Z tych powodów są one chętnie stosowane w różnych dziedzinach techniki, najczęściej jako silniki i hamulce elektryczne, rzadziej jako generatory energii elektrycznej. Maszyny indukcyjne w wykonaniu specjalnym spełniają rolę:

- przesuwników fazowych,
- transformatorów nastawnych,
- przetwornic częstotliwości,
- sprzęgieł indukcyjnych,
- serwomechanizmów.

Silniki indukcyjne charakteryzują się dobrymi właściwościami eksploatacyjnymi i ruchowymi, które stosunkowo łatwo można kształtować przez zmianą warunków zasilania i przez zmianę impedancji zewnętrznej przyłączanej do uzwojeń maszyny. Dlatego znajdują one powszechne zastosowanie w przemysłowych układach napędowych pracujących przy nienastawianej lub nastawianej prędkości ruchu.<sup>2</sup>

Maszyny synchroniczne to zazwyczaj maszyny trójfazowe o mocach znamionowych od kilku do kilkuset kVA. Ich napięcia znamionowe wynoszą od kilkuset woltów do kilkunastu kV. Mają one dwa zasadnicze rozwiązania konstrukcyjne:

- maszyny z wirnikiem cylindrycznym,
- maszyny z wirnikiem o biegunach wystających.

---

<sup>2</sup> Praca zbiorowa, *Maszyny i napęd elektryczny*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1978r, 120 s.

Maszyny mniejszej mocy są budowane z wirnikiem ułożebkowym bez uzwojenia i są to maszyny reluktancyjne. Maszyny synchroniczne mogą pracować jako prądnice, silniki lub kompensatory (generatory mocy biernej).

Maszyny prądu stałego są najbardziej zróżnicowanymi maszynami elektrycznymi. Ich rodzaje można podzielić według następujących kryteriów:

- ze względu na rozkład pola magnetycznego rozróżnia się maszyny:
  - o homopolarne (jednakobiegunkowe);
  - o heteropolarne (różnobiegunkowe);
- ze względu na rodzaj wirnika rozróżnia się maszyny:
  - o o wirniku walcowym lub tarczowym rdzeniowym;
  - o o wirniku cylindrycznym lub tarczowym bezrdzeniowym;
- ze względu na rodzaj prostownika:
  - o komutatorowe;
  - o bezkomutatorowe;
  - o komutatorowe z układem szczotek oraz zaworów półprzewodnikowych;
- ze względu na sposób wytwarzania głównego pola magnetycznego:
  - o elektromagnetyczne;
  - o magnetoelektryczne;
  - o magnetohybrydowe – z polem magnetycznym wytwarzanym jednocześnie przez magnesy trwałe oraz uzwojenia z prądem;
- ze względu na sposób korygowania rozkładu pola magnetycznego:
  - o bez biegunków komutacyjnych (pomocniczych);
  - o z biegunkami komutacyjnymi;
  - o bez uzwojenia kompensacyjnego (nieskompensowane);
  - o z uzwojeniem kompensacyjnym (skompensowane);
- ze względu na właściwości specjalne:
  - o maszyny o specjalnej strukturze;
  - o maszyny o typowej strukturze.

Oprócz wymienionych rodzajów są stosowane także maszyny wzbudzone w dwóch osiach – podłużnej i poprzecznej – wykorzystywane jako wzmacniacze elektromaszynowe. Takim przykładem może być amplidyna – rodzaj prądnicy prądu stałego. Istnieją również maszyny o dwóch komutatorach, o dodatkowych szczotkach i o ruchu liniowym. Maszyny prądu stałego, podobnie jak maszyny indukcyjne.



#### 4. Główne rodzaje maszyn elektrycznych niewirujących

Do maszyn elektrycznych niewirujących zaliczamy transformatory. Transformator jest właśnie statyczną maszyną elektryczną, działającą na zasadzie indukcji elektromagnetycznej. Jest przeznaczony do przetwarzania układu napięć i prądów przemiennych na jeden lub kilka układów napięć i prądów na ogół o innych wartościach, lecz zawsze o tej samej częstotliwości.

Rozróżnia się następujące rodzaje transformatorów:

- transformator energetyczny,
- transformator jednofazowy dwuuzwojeniowy,
- transformator trójfazowy dwuuzwojeniowy,
- transformatory specjalne:
  - o transformatory trójuzwojeniowe,
  - o autotransformatory,
  - o przekładniki pomiarowe,
  - o transformatory stosowane w układach elektronicznych i automatyki.

Transformatorem energetycznym nazywa się transformator przeznaczony do przetwarzania energii elektrycznej o określonym napięciu na energię elektryczną o innym lub takim samym napięciu. Rozróżnia się dwa podstawowe rozwiązania konstrukcyjne transformatorów:

- transformator olejowy, którego rdzeń i uzwojenia są zanurzone w zamkniętej pokrywie kadzi z olejem pełniącym rolę izolatora i chłodziwa;
- transformator suchy, którego uzwojenia i rdzeń znajdują się w powietrzu lub w zalewie żywicznej, stosowany jest do mniejszych mocy i niektórych zastosowań specjalnych.

Uzwojenia transformatora są zakończone zaciskami umieszczonymi na izolatorach. W transformatorze olejowym końcówki uzwojeń wyprowadza się na zewnątrz przez izolatory przepustowe.

Najczęściej spotyka się transformatory posiadające dwie strony – stronę pierwotną – stronę wtórną a ich parametry rozróżnia się stosując indeksy 1 i 2. Stroną pierwotną transformatora nazywa się stroną, do której podłączone jest napięcie zasilające transformator, zaś strona wtórna zasilą zazwyczaj inne urządzenie lub inną sieć niskiego napięcia, do której dostarczamy energię elektryczną. Oznaczenie stron transformatora za pomocą indeksów 1 i 2 jest oznaczeniem umownym, ponieważ przepływ prądu w kierunku przeciwnym, czyli od strony wtórnej transformatora do strony pierwotnej jest jak najbardziej możliwy. W praktyce spotyka się również transformatory mające więcej niż dwie strony. Przykładem może tu być transformator wielkiej mocy o trzech stronach: górnego, średniego i dolnego napięcia, są to transformatory trójuzwojeniowe.

Transformatory jednofazowe stosowane w urządzeniach elektronicznych mają zazwyczaj uzwojenie pierwotne zasilane z sieci i kilka uzwojeń strony wtórnej, które umożliwiają zasilanie poszczególnych obwodów danego urządzenia elektronicznego różnymi wielkościami napięcia. Poza tym obwód wtórny transformatora jest odizolowany od obwodu pierwotnego galwanicznie. Jest to wykorzystywane przede wszystkim w specjalnych transformatorach separacyjnych, których przekładnia – czyli stosunek napięcia pierwotnego do napięcia wtórnego – wynosi 1:1. Tego typu

transformatory mają zastosowanie jako jedna z form ochrony przeciwporażeniowej gdzie istnieje podwyższone zagrożenie porażenia prądem elektrycznym.

Można uznać, że transformator jest urządzeniem pośredniczącym w przekazywaniu energii elektrycznej. Pod względem energetycznym prawie cała moc dostarczona do zacisków strony pierwotnej transformatora zostaje oddana po stronie wtórnej. Różnica pomiędzy mocą dostarczoną do transformatora a mocą oddaną stanowi straty energetyczne transformatora, które są wydzielane w postaci ciepła w rdzeniu magnetycznym – tak zwane straty w żelazie – i w uzwojeniach. W stanie pracy, przy obciążeniu znamionowym opisywane straty są niewielkie i wynoszą do kilku procent mocy dostarczonej. Stosunek mocy oddanej do dostarczonej – czyli sprawność transformatora – zwiększa się wraz ze wzrostem mocy transformatora.<sup>3</sup>

Dzięki zastosowaniu transformatorów mamy możliwość zmiany parametrów energii elektrycznej, czyli na przykład obniżenie lub podwyższenie napięcia, prądu oraz ewentualną zmianę liczby faz. Można również oddzielić galwanicznie obwody elektryczne podczas przekazywania energii elektrycznej. Transformatory są również wykorzystywane do tłumienia niektórych zakłóceń przenoszonych przez linie zasilające.

Transformatory znalazły szerokie zastosowanie w takich dziedzinach jak:

- energetyka – tu służą do podwyższania napięcia przy przesyłaniu energii elektrycznej liniami wysokiego napięcia oraz do jego obniżania i rozdziału w miejscu, gdzie zlokalizowani są odbiorcy;
- przy pomiarach wysokich napięć (WN) i dużych prądów przemiennych, przez obniżenie napięcia lub prądu do wartości umożliwiających bezpieczny pomiar za pomocą urządzeń pomiarowych – przekładniki napięciowe i prądowe;
- do nastawiania wymaganych wartości napięć – transformatory regulacyjne;
- do zasilania budynków przemysłowych które wymagają odpowiednio dopasowanych parametrów zasilania energii elektrycznej – na przykład piece łukowe czy prostowniki;
- w układach elektroniki użytkowej oraz urządzeniach automatyki jako urządzenia umożliwiające galwaniczne odizolowanie źródła zasilania od odbiornika, jak również odpowiedniego dopasowania impedancji odbiornika do źródła.

---

<sup>3</sup> Praca zbiorowa, *Maszyny i napęd elektryczny*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1978r, 14 s.

## 5. Stopnie ochrony maszyn i urządzeń elektrycznych

Obudowa maszyny elektrycznej chroni użytkownika przed dotknięciem zarówno części będących pod napięciem, jak i części ruchomych znajdujących się we wnętrzu maszyny lub osłony. Chroni także maszynę przed dostaniem się do jej wnętrza obcych ciał stałych i wody. Jeden ze sposobów określania funkcji ochronnych obudów maszyn został podany w normie PN-92/E-08106.

Rozróżnia się następujące stopnie ochrony maszyny:

- 0 – maszyna bez ochrony elementów wirujących i części będących pod napięciem w czasie normalnej pracy;
- 1- maszyna chroniona przed przypadkowym dotknięciem do nieizolowanych części będących pod napięciem przez dłuższą część ciała ludzkiego – na przykład dłoń – oraz przed dostaniem się ciał stałych o średnicy większej niż 50 mm;
- 2 – maszyna chroniona przed dotknięciem części będących pod napięciem i części ruchomych we wnętrzu maszyny lub osłony palcem lub przedmiotem o długości nie większej niż 80 mm, a także przed dostaniem się ciał stałych o średnicy większej niż 12 mm;
- 3 – maszyna chroniona przed dostaniem się przedmiotów o średnicy większej niż 2,5 mm;
- 4 – maszyna chroniona przed dostaniem się przedmiotów o średnicy większej niż 1 mm;
- 5 – maszyna chroniona przed szkodliwym przedostaniem się pyłu - jednak ten stopień nie zapewnia całkowitej pyłoszczelności.

Ze względu na przedostanie się wody do wnętrza maszyny rozróżnia się następujące stopnie ochrony maszyny:

- 0 – maszyna bez specjalnych środków ochrony;
- 1 – maszyna chroniona przed kroplami wody padającymi pionowo;
- 2 – maszyna chroniona przed kroplami wody przy przechyle o kąt do 15° względem pionu;
- 3 – maszyna chroniona przed deszczem padającym na maszynę pod kątem o 60° względem pionu;
- 4 – maszyna chroniona przed bryzgami wody w dowolnego kierunku;
- 5 – maszyna chroniona przed strugami wody z dowolnego kierunku;
- 6 – maszyna chroniona przed falami wody;
- 7 – maszyna chroniona przed zalaniem, przy czym zanurzenie maszyny nie powinno przekraczać jednego metra w czasie 30 minut;
- 8 – maszyna chroniona przed długotrwałym zanurzeniem.

Stopnie ochrony oznacza się symbolem IP (International Protection) oraz kolejno cyframi odpowiadającymi stopniom ochrony:

- przed dotykiem części pod napięciem lub części ruchomych oraz przed dostaniem się ciał stałych;
- przed przedostaniem się wody do wnętrza maszyny.

Do najczęściej stosowanych stopni ochrony maszyn elektrycznych wirujących należą:

- IP 12  
maszyna chroniona przed przypadkowym dotknięciem do nieizolowanych części będących pod napięciem przez dłuższą część ciała ludzkiego – na przykład dłoń – oraz przed dostaniem się ciał stałych o średnicy większej niż 50 mm jak również maszyna chroniona przed kroplami wody przy przechyle o kąt do 15° względem pionu;
- IP 21
  - o maszyna chroniona przed dotknięciem części będących pod napięciem i części ruchomych we wnętrzu maszyny lub osłony palcem lub przedmiotem o długości nie większej niż 80 mm, a także przed dostaniem się ciał stałych o średnicy większej niż 12 mm jak również maszyna chroniona przed kroplami wody padającymi pionowo;
- IP 22
  - o maszyna chroniona przed dotknięciem części będących pod napięciem i części ruchomych we wnętrzu maszyny lub osłony palcem lub przedmiotem o długości nie większej niż 80 mm, a także przed dostaniem się ciał stałych o średnicy większej niż 12 mm jak również maszyna chroniona przed kroplami wody przy przechyle o kąt do 15° względem pionu;
- IP 23
  - o maszyna chroniona przed dotknięciem części będących pod napięciem i części ruchomych we wnętrzu maszyny lub osłony palcem lub przedmiotem o długości nie większej niż 80 mm, a także przed dostaniem się ciał stałych o średnicy większej niż 12 mm jak również maszyna chroniona przed deszczem padającym na maszynę pod kątem o 60° względem pionu;
- IP 44
  - o maszyna chroniona przed dostaniem się przedmiotów o średnicy większej niż 1 mm jak również maszyna chroniona przed bryzgami wody w dowolnego kierunku;
- IP 54
  - o maszyna chroniona przed szkodliwym przedostaniem się pyłu – jednak ten stopień nie zapewnia całkowitej pyłoszczelności jak również maszyna chroniona przed bryzgami wody w dowolnego kierunku;
- IP 55
  - o maszyna chroniona przed szkodliwym przedostaniem się pyłu jak również maszyna chroniona przed strugami wody z dowolnego kierunku.

## **Bibliografia:**

1. E. Goźlińska (2013) Maszyny elektryczne Warszawa: WSI.
2. Praca zbiorowa (1995). Poradnik inżyniera elektryka, s. 215, Warszawa: Wydawnictwo Naukowo – Techniczne.
3. Praca zbiorowa (1978). Maszyny i napęd elektryczny, s. 14 i 120, Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne.
4. Aparaty i urządzenia elektryczne, W. Kotlarski, J. Grad, WSIP, 2012r.
5. Maszyny elektryczne w pytaniach i odpowiedziach, W. Latek, WNT, 1994
6. Maszyny i napęd elektryczny, Praca zbiorowa, WSiP, 1978r.
7. Poradnik inżyniera elektryka, Praca zbiorowa, WNT, 1995r.
8. Zarys maszyn elektrycznych, W. Latek, WNT, 1978r.