ViMeLa
PROJEKT

instrukcja laboratoryjna

ZESPÓŁ

Dorota Kamińska, Anna Firych-Nowacka,
Marcin Lefik, Grzegorz Zwoliński,
Tomasz Sapiński, Kamil Chruściński,
Sławomir Wiak, Goga Cvetkovski,
Lidija Petkovska, Maja Celeska,
Mihail Digalovski, Maria Evelina Mognaschi,
Paolo Di Barba, Najmeh Rezaei,
Rain Eric Haamer, Toomas Tikk,
Gholamreza Anbarjafari

Projekt współfinansowany
w ramach programu
Unii Europejskiej Erasmus +

Koordynator:
POLITECHNIKA LODZKA
Partnerzy:
Ss. CYRIL AND METHODIUS UNIVERSITY IN SKOPJE
TARTU ULIKOOL
UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PAVIA

www.vimela.p.lodz.pl

2017-2019

Dorota Kamińska, Anna Firych-Nowacka, Marcin Lefik, Grzegorz Zwoliński, Tomasz Sapiński, Kamil Chruściński, Sławomir Wiak

Goga Cvetkovski, Lidija Petkovska, Maja Celeska, Mihail Digalovski

Maria Evelina Mognaschi, Paolo Di Barba, Najmeh Rezaei

Rain Eric Haamer, Toomas Tikk, Gholamreza Anbarjafari

Publikacja sfinansowana z funduszy Komisji Europejskiej w ramach programu Erasmus+
Publikacja została zrealizowana przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej. Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko jej autorów i Komisja Europejska oraz Narodowa Agencja Programu Erasmus+ nie ponoszą odpowiedzialności za jej zawartość merytoryczną.
PUBLIKACJA BEZPŁATNA

Spis Treści

Spis Treści 3

1. Wstęp 5

1.1. Wstęp 5

1.2. Nauczanie mechatroniki 6

1.3. Świat wirtualny a rzeczywisty 7

1.4. Projekt ViMeLa 8

2. Scenariusz 1- Zasady budowy i eksploatacji silników elektrycznych 10

2.1. Cel scenariusza 1 10

2.1.1. Silnik indukcyjny (IM) 10

2.1.2. Maszyny synchroniczne (SM) 12

2.1.3. Maszyny prądu stałego (DCM) 17

2.2. Wirtualny montaż maszyn elektrycznych 19

2.2.1. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi (PMSM) 26

2.2.2. Silnik indukcyjny (IM) 28

2.2.3. Silnik reluktancyjny (SRM) 29

2.2.4. Silnik komutatorowy prądu stałego (WSDCCM) 30

2.2.5. Silnik prądu stałego z magnesami trwałymi (PMDC) 31

2.2.6. Generator z magnesami trwałymi (PMG) 32

2.3. Zasada działania maszyn elektrycznych 33

3. Scenariusz 2 - Sterowanie procesem sortowania paczek w magazynie wysokiego składowania 35

3.1 Język FBD (Function Block Diagram) 35

3.2 Podstawowe bloki języka FBD 36

3.3 Standardowe bloki funkcjonalne 38

3.4 Budowa sterownika 43

3.5 Opis programu 44

Scenariusz 3 - Linia sortująca z przenośnikiem taśmowym 48

4.1. Cel scenariusza 48

4.2. Wstęp 48

4.3. Składanie linii sortującej w wirtualnej rzeczywistości 50
4.4. Czujnik pojemnościowy.....51
4.5. Czujnik indukcyjny.....52
4.6. Siłownik elektromagnetyczny 54
4.7. Działanie linii sortującej 55
Załącznik A -HTC VIVE: INSTRUKCJA UŻYTKOWNIKA 56
Wstęp 56
Kontrolery 56
Uruchamianie 57
Kontrolka 57
Użytkowanie.....57
Stacje bazowe.....58
Instalacja 58
Uruchamianie 59
Kontrolka 59
Hełm VR 59
Dopasowanie soczewek 59
Czyszczenie piankowej poduszki 60
Czyszczenie soczewek 60
Kontrolka świetlna 61
Hub przyłączeniowy zestawu (Link box) 61
Konfiguracja SteamVR.....62

1. Wstęp

1.1. Wstęp

W XXI wieku w szkolnictwie wyższym coraz częściej wykorzystywane są nowoczesne technologie, które mają ułatwić studentom zrozumienie abstrakcyjnych tematów, a nauczycielom przekazywanie wiedzy w interesujący sposób. Obecnie tradycyjne metody nauczania, choć znacznie ulepszone, nie są w stanie wzbudzić wystarczającego zainteresowania wśród studentów, którzy dorastali w dobie Internetu, telefonów komórkowymi i tabletów.

Nowoczesne technologie informatyczne są szeroko wdrażane w edukacji inżynieryjnej (w tym w mechatronice) jako narzędzia do doskonalenia praktycznych umiejętności. Badania laboratoryjne są istotną częścią edukacji, jednakże generują wysokie koszty. Dlatego coraz częściej rzeczywiste laboratoria i urządzenia zastępowane są symulacjami, które można również kontrolować za pomocą rzeczywistości wirtualnej (VR).

Dzięki wirtualnej rzeczywistości studenci mają możliwość wizualizacji abstrakcyjnych koncepcji, obserwacji wydarzenia w skali mikro lub makro, poznawania różnych środowisk i interakcji ze zdarzeniami i obiektami, które zwykle są niedostępne ze względu na miejsce, czas lub czynnik bezpieczeństwa. Symulacje laboratoryjne VR zapewniają interaktywne wrażenia. Użytkownicy mogą swobodnie poruszać się po środowisku, wchodzić w interakcje z obiektami, przeprowadzać testy oraz podejmować decyzje i popełniać błędy, dopóki nie zrozumieją danego zagadnienia.

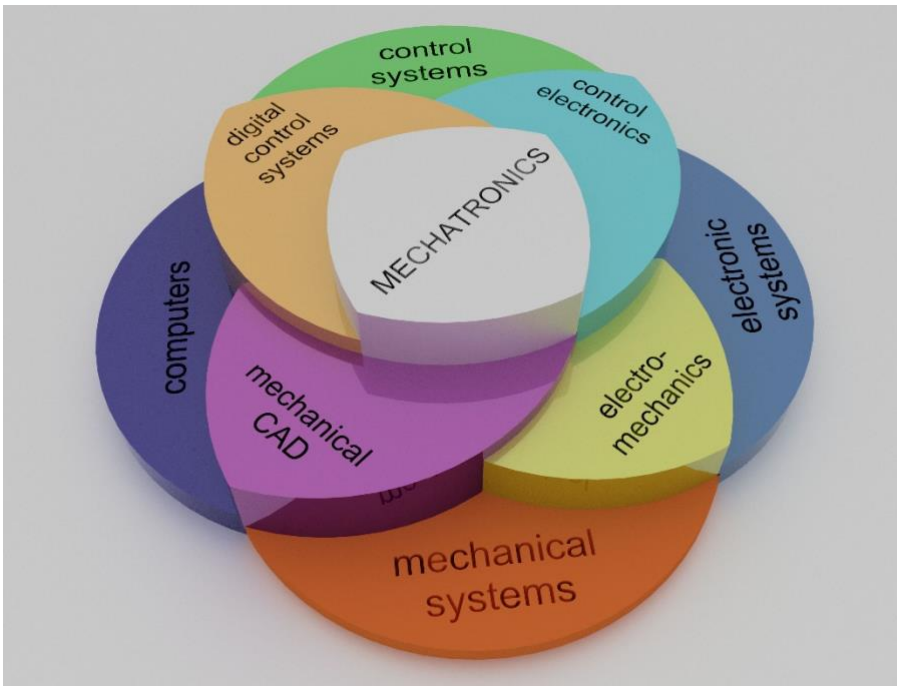
1.2. Nauczanie mechatroniki

Mechatronika to interdyscyplinarna dziedzina nauki, która stanowi połączenie inżynierii mechanicznej, elektrycznej, komputerowej, automatyki i robotyki, w celu osiągnięcia idealnej równowagi między strukturą mechaniczną, a jej ogólną kontrolą i wydajnością.

W ostatnim czasie mechatronika dołączyła do listy najczęściej wybieranych kierunków studiów, a absolwenci mechatroniki są bardzo doceniani na rynku pracy. Niestety, wielu studentów ma problemy ze zrozumieniem zagadnień związanych mechatroniką, ze względu na ich złożoność, a także konieczność abstrakcyjnego i analitycznego myślenia. Braki w podstawach hamują ich dalszy rozwój i możliwość eksploracji bardziej skomplikowanych problemów.

W codziennej pracy, dydaktycy bardzo często borykają się z brakiem dostępu do nowoczesnego sprzętu. Ponadto, na zajęciach laboratoryjnych nie ma możliwości demontażu dostępnych urządzeń w celu prezentacji komponentów i konstrukcji, a także wyjaśnienia związanych z tym zjawisk fizycznych. Ćwiczenia laboratoryjne wykonywane są pod nadzorem, a studenci nie mają możliwości samodzielnego konfigurowania sprzętu, doświadczania stanów awaryjnych i skutków błędnej konfiguracji, które mogą prowadzić do uszkodzeń obsługiwanych urządzeń. Ponadto, studenci nie mają możliwości ćwiczenia i nadrabiania zaległości poza harmonogramem zajęć.

Coraz częściej studenci wykonują ćwiczenia oparte na wirtualnych urządzeniach. Poprzez interaktywne symulatory uczą się jak systemy i urządzenia mechatroniczne działają w rzeczywistości, pomimo tego, że ich wirtualne odpowiedniki nie w pełni odzwierciedlają fizyczne zjawiska i poszczególne procesy.



Rys. 1.1. Struktura i kluczowe elementy mechatroniki

Odpowiadając na powyższe problemy, proponujemy wzbogacić program studiów poprzez wdrożenie innowacyjnej metody nauczania i uczenia się mechatroniki opartej na wirtualnej rzeczywistości (VR). Wierzymy, że poprzez wirtualne laboratoria jesteśmy w stanie poprawić jakość i skuteczność nauczania, a także kwalifikacje, kompetencje i umiejętności absolwentów, przez co zwiększy się ich konkurencyjność na rynku pracy.

1.3. Świat wirtualny a rzeczywisty

Termin wirtualna rzeczywistość odnosi się do symulacji komputerowej przedstawiającej środowisko, w którym można się poruszać i wzajemnie oddziaływać z wirtualną przestrzenią, zdarzeniami, obiektami i osobami (awatarami). Wirtualne środowisko jest zwykle trójwymiarowe i często stanowi replikę realnego świata pod względem wyglądu i zachodzących w nim zjawisk fizycznych.

Koncepcja wirtualnej rzeczywistości zrodziła się już w latach 60 XX wieku, kiedy opracowywano pierwsze symulatory lotu. W miarę postępu technologii, określenie wirtualna rzeczywistość zaczęło wiązać się z tzw. hełmem wirtualnej rzeczywistości, który generuje i wyświetla interaktywne środowisko z realizmem wizualnym.

VR symuluje fizyczną obecność użytkownika w sztucznie wygenerowanym świecie i umożliwia mu interakcję z tym środowiskiem. Wykorzystanie VR w edukacji daje wielkie możliwości.

Przykładowo, VR może służyć jako środowisko szkoleniowe, które pomaga studentom podnosić swoje kwalifikacje dzięki możliwości uczenia się przez praktykę.

Edukacja z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości polega na przekazywaniu, ćwiczeniu i sprawdzaniu wiedzy użytkownika za pomocą interaktywnych scenariuszy i środowisk odzwierciedlających rzeczywiste sytuacje. Poprzez zapewnienie wciągającego środowiska, które stymuluje różne zmysły, nauka staje się przyjemniejsza zarówno dla ucznia, jak i dla nauczyciela.

1.4. Projekt ViMeLa

Projekt ViMeLa (ang. Virtual Mechatronic Laboratory) to innowacyjne narzędzie do nauczania i uczenia się mechatroniki. Rezultaty projektu mają przyczynić się przede wszystkim do poprawy następujących kompetencji: zasady budowy maszyn elektrycznych, zasady działania zaawansowanych systemów mechatronicznych, obsługa i unikanie stanów awaryjnych, działanie sterowników, kalibracja wielkości fizycznych charakteryzujących pracę systemów mechatronicznych i ich komponentów.

"Powiedz mi, a zapomnę. Naucz mnie, to zapamiętam.

Zaangażuj mnie, to się nauczę."

(Benjamin Franklin)

Aplikacja ViMeLa składa się z trzech scenariuszy:

1. Budowa oraz zasada działania silników elektrycznych;
2. Sterowanie procesem sortowania paczek w magazynie wysokiego składowania.
3. Linia sortująca z przenośnikiem taśmowym.

Innowacyjność proponowanej koncepcji polega na opracowaniu nowatorskiego systemu do nauki mechatroniki z wykorzystaniem technologii VR. W tym celu opracowano wirtualne, interaktywne środowisko w formie fabryki (patrz Rys, 1.2), w której umieszczone są osobne przestrzenie robocze dla trzech scenariuszy. Student może obserwować, poruszać się po terenie, a także wprowadzać zmiany w celu realizacji ćwiczeń laboratoryjnych.

Rys. 1.2. Hala fabryczna wykonana w projekcie ViMeLa z wykorzystaniem VR

" Jedynym źródłem wiedzy jest doświadczenie "

(Albert Einstein)

2. Scenariusz 1- Zasady budowy i eksploatacji silników elektrycznych

2.1. Cel scenariusza 1

Celem tej części aplikacji VR jest zapoznanie użytkownika z silnikami elektrycznymi, ich podstawowymi częściami i budową, a także zasadą działania. Dlatego też przygotowane zostały w środowisku VR modele 3D sześciu rzeczywistych maszyn elektrycznych. Scenariusz składa się z dwóch części. Pierwsza część ćwiczenia umożliwi studentom poznanie głównych części wybranych typów maszyn elektrycznych i zdobycie umiejętności wirtualnego montażu i demontażu maszyn elektrycznych. Montaż i demontaż wymagają wyboru odpowiednich części tych maszyn (tj. rdzenia stojana, rdzenia wirnika, magnesów trwałych, uzwojenia, łożysk, wału, obudowy itp.). Moduł symulacyjny ma na celu przedstawienie zasad działania maszyn używanych w systemach mechatronicznych. W drugiej części scenariusza wirtualny model silnika synchronicznego z magnesem trwałym pozwoli studentom przeanalizować wpływ warunków zasilania (tj. wartości napięcia i częstotliwości, częstotliwości impulsów) na wydajność i jego charakterystykę pracy.

2.1.1. Silnik indukcyjny (IM)

Maszyna indukcyjna to taka, w której prądy przemienne są dostarczane bezpośrednio do uzwojenia stojana i na zasadzie zjawiska indukcji elektromagnetycznej transformowane są na wirnik. Przepływ mocy ze stojana do wirnika jest związany ze zmianą częstotliwości, a moc wyjściowa to moc mechaniczna przenoszona na obciążenie podłączone do wału silnika. Silnik indukcyjny jest najczęściej stosowanym silnikiem w przemyśle. Powodem popularności silników indukcyjnych są: prostota konstrukcja, niezawodność i niski koszt, w połączeniu z dobrą przeciążalnością, minimalnymi wymaganiami serwisowymi i dobrą sprawnością. Wirnik silnika indukcyjnego może być wykonany w dwóch wariantach. W silniku z uzwojonym wirnikiem stosowane są uzwojenia rozłożone z zaciskami podłączonymi do izolowanych pierścieni ślizgowych zamontowanych na wale silnika (Rys. 1.3). Jest to tzw. silnik pierścieniowy. Drugi typ nazywany jest wirnikiem klatkowym (Rys. 1.4), gdzie uzwojenia stanowią pręty

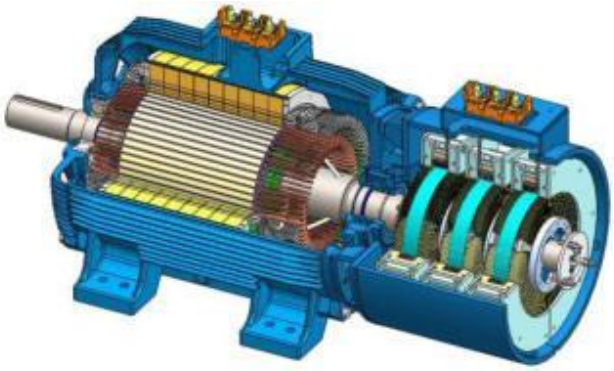
osadzone w wirniku i zwarte na każdym końcu poprzez przewodzące pierścienie. Zaciski uzwojenia wirnika są zatem niedostępne w konstrukcji klatkowej, podczas gdy w konstrukcji pierścieniowej zaciski uzwojenia wirnika są dostępne za pośrednictwem szczotek węglowych osadzonych na pierścieniach ślizgowych. Stojan trójfazowego silnika indukcyjnego posiada trzy uzwojeń, które są przesunięte o 120 stopni w przestrzeni, tworząc w ten sposób uzwojenie trójfazowe. Przyłożenie przemiennego napięcia trójfazowego do uzwojenia stojana powoduje przepływ prądów w tym uzwojeniu i pojawienie się wirującego pola magnetycznego, które wzbudza w uzwojeniu wirnika (tzw. klatce) siłę elektromotoryczną i przepływ prądów. Na skutek wzajemnego oddziaływania pola i prądów w wirniku wystąpi siła elektromagnetyczna, która wywołuje moment obrotowy zgodny z kierunkiem wirowania pola magnetycznego.

Główne części każdego silnika indukcyjnego to:

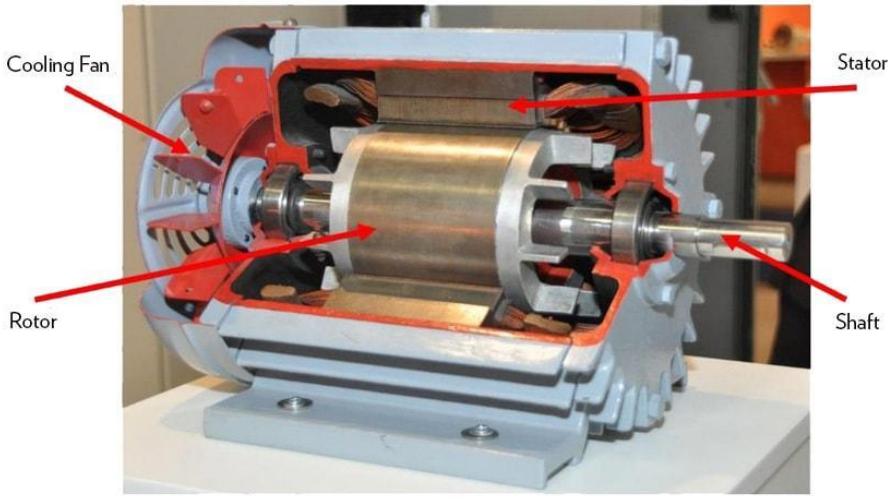
- Użłobkowany rdzeń magnetyczny stojana,
- Uzwojenie elektryczne stojana,
- Użłobkowany rdzeń magnetyczny wirnika,
- Uzwojenie elektryczne wirnika,
- Wał wirnika,
- pokrywy z łożyskami,
- Układ chłodzenia,
- Obudowa.

Maszyny indukcyjne można klasyfikować na wiele sposobów. Oto niektóre z nich:

- Z ruchem obrotowym lub liniowym,
- Zasilane jedno-, trój- lub wielofazowo,
- Z wirnikiem uzwojonym (pierścieniowy) lub klatkowym.



Rys. 1.3. Silnik indukcyjny pierścieniowy



Rys. 1.4. Silnik indukcyjny klatkowy

2.1.2. Maszyny synchroniczne (SM)

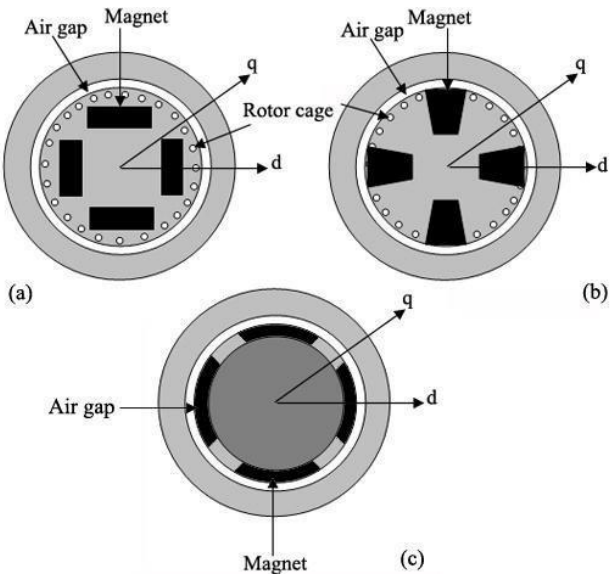
Maszyna synchroniczna to przetwornik elektromechaniczny, który przekształca energię elektryczną w energię mechaniczną lub odwrotnie. W pierwszym przypadku maszyna taka pracuje jako silnik, w drugim – jako generator. Oznacza to, że maszyny synchroniczne są odwracalnymi maszynami elektrycznymi. Dotyczy to również wszystkich innych obrotowych maszyn elektrycznych, takich jak maszyny indukcyjne i maszyny prądu stałego. Prędkość obrotowa silnika synchronicznego jest proporcjonalna do częstotliwości napięcia zasilania. W klasycznych konstrukcjach silnika synchronicznego, wirnik posiada uzwojenie wzbudzające i pole magnetyczne w wirniku wzbudzone prądem stałym. Obecnie uzwojenie wzbudzające jest zastępowane magnesami trwałymi, taka maszyna staje się wówczas maszyną synchroniczną z magnesami trwałymi. W ciągu ostatnich kilku lat producenci maszyn elektrycznych zwykle produkują synchroniczne generatory z magnesami trwałymi, które są głównie wykorzystywane jako generatory w turbinach wiatrowych.

Silnik synchroniczny jest zbudowany z wielofazowego (przeważnie trójfazowego) uzwojenia prądu przemiennego, znajdującego się na rdzeniu stojana, które jest podłączone do źródła zasilania prądu przemiennego. Drugim elementem tego rodzaju silnika jest wirnik, którego konstrukcja określa typ silnika synchronicznego. Silniki z uzwojeniem wzbudzającym na wirnikach z biegunami utajonymi lub wydatnymi o mocy od 150 kW do 75 MW i większych są dominującym typem silników występujących w przemyśle. W szczotkowym silniku synchronicznym wzbudzenie (prąd wzbudzający) jest dostarczane przez prostowniki montowane na wale ze wzbudnicy prądu

przemiennego. W silniku synchronicznym z pierścieniem ślizgowym wzbudzenie jest zasilane z wzbudnicy montowanej na wale lub z oddzielnego źródła zasilania prądem stałym. Silniki indukcyjne z synchronizacją o mocy poniżej 4 kW, zwykle zasilane z przemienników częstotliwości, są zaprojektowane z inną reluktancją w poprzek szczeliny powietrznej w osi podłużnej i poprzecznej w celu uzyskania momentu reluktancyjnego i są nazywane silnikami reluktancyjnymi. Silniki synchroniczne, w których do wzbudzenia stałego pola magnetycznego wykorzystano magnesy trwałe i sterowane są przez przekształtnik tranzystorowy ze źródła prądu stałego są nazywane bezszczotkowymi silnikami prądu stałego (brushless DC motors - BLDC), a jeśli są zasilane z trójfazowego źródła zasilania, są one określane jako silniki synchroniczne z magnesami trwałymi (permanent magnet synchronous motor - PMSM).

W tej części przedstawiono opis konstrukcji silników z magnesem trwałymi i silnika reluktancyjnego, ponieważ te typy maszyn są uwzględnione w części montażowej Scenariusza 1. Scenariusz ten zorganizowany w następujący sposób. Wybrano trzy podstawowe układy geometryczne magnesów trwałych (Rys. 1.5) dla maszyn z magnesami trwałymi ze zwykłymi stojanami:

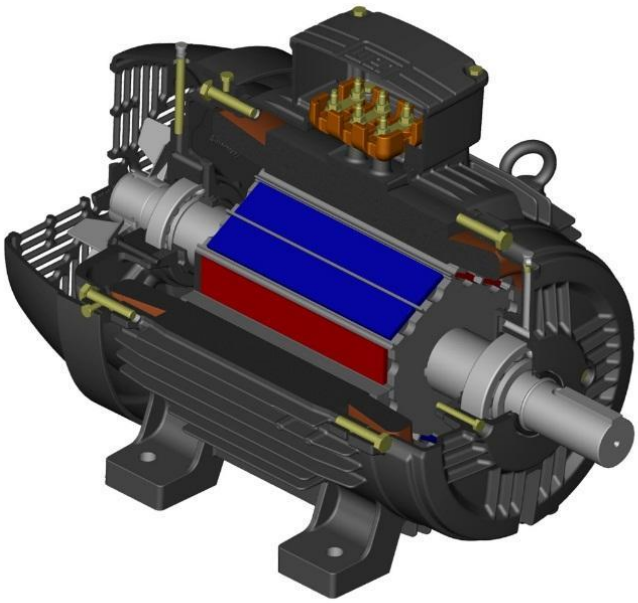
1. Magnesy montowane powierzchniowo.
2. Magnesy utajone.
3. Z koncentratorami magnetycznymi.



Rys. 1.5. Układ magnesów trwałych na wirniku maszyn synchronicznych
a) magnesy utajone,
b) z koncentratorami magnetycznymi,
c) magnesy montowane powierzchniowo

Rys. 1.6 pokazuje podstawową topologię silnika z magnesami zamontowanymi na powierzchni wirnika i typowym uzwojeniem stojana. Rysunek ten nie pokazuje niektórych ważnych aspektów

mechanicznych maszyny, takich jak sposób mocowania magnesów trwałych na wirniku, dlatego należy traktować go jako ogólny zarys.



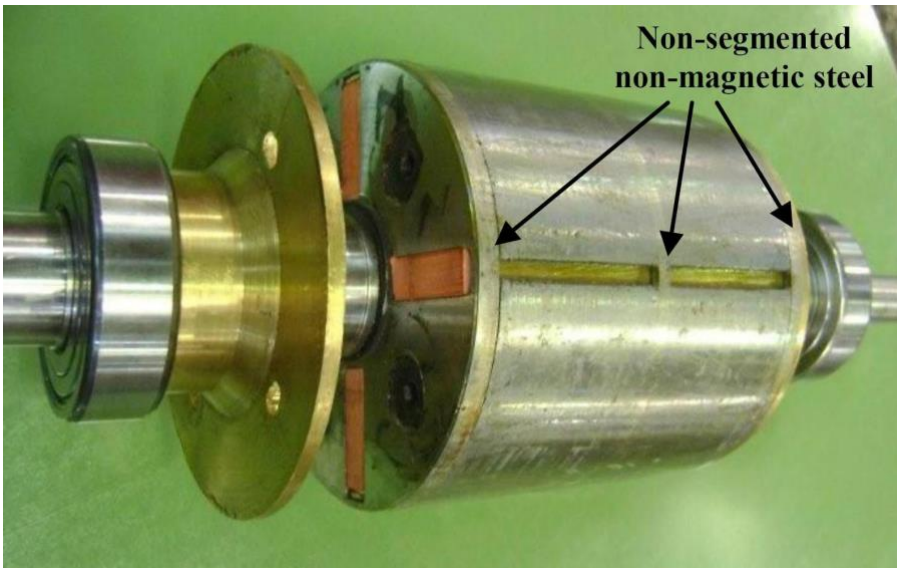
Rys 1.6. Maszyna synchroniczna z magnesami trwałymi montowanymi powierzchniowo (z 2 magnesami na biegun)

Rys. 1.6 przedstawia przekrój osiowy sześciobiegunowej (p = 3) maszyny. Sześć magnesów jest zamontowanych na cylindrycznym „rdzeniu" wirnika lub bezpośrednio na wale (dla małych silników), wykonanym z materiału ferromagnetycznego. W niektórych zastosowaniach magnesy mogą być związane ze stalą. Magnesy są montowane przy pomocy kleju, ale np. w maszynach o dużej prędkości obrotowej, wymagane są bardziej trwałe sposoby mocowania: taśma lub pierścień mocujący.

Uzwojenie stojana tej maszyny jest typowe, bardzo podobne do uzwojenia silnika indukcyjnego, składającego się z drutów umieszczonych w żłobkach rdzenia stojana. Sam rdzeń stojana jest wykonany z materiału ferromagnetycznego zwykle w postaci pakietu izolowanych blach krzemowych (w celu ograniczenia strat wiroprądowych). Parametry i grubość tych blach są określone przez wymagane wartości częstotliwości napięcia zasilania i sprawności. Tego rodzaju maszyna jest prosta w budowie. Warto zauważyć, że indukcja magnetyczna w szczelinie powietrznej jest prawie taka sama jak w magnesach, tak więc tego rodzaju maszyna nie może mieć indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej większej niż indukcja remanencji magnesów trwałych. Jeżeli stosuje się tanie magnesy ferrytowe, uzyskuje się stosunkowo niską indukcję, a w konsekwencji stosunkowo niską sprawność i moc. W przypadku nowoczesnych, wysokowydajnych materiałów, z których wykonane są magnesy trwałe, w których indukcja remanencji może być rzędu 1,2 T, a indukcja

w szczelinie powietrznej może być rzędu 1 T. Należy również zauważyć, że magnesy w tym rodzaju silnika znajdują się tak właściwie w „szczelinie powietrznej” maszyny, a zatem są narażone na harmoniczne czasowe i przestrzenne uzwojenia stojana MMF. Ponieważ niektóre magnesy trwałe mają znaczną przewodność elektryczną (szczególnie magnesy o wyższej wydajności), wszelkie pola asynchroniczne będą miały tendencję do wytwarzania w nich prądów wirowych i wynikających z tych prądów strat mocy.

Figure 1.7. Silnik synchroniczny z magnesami utajonymi



Rys. 1.8. Silnik synchroniczny z koncentratorami magnetycznymi

Wirniki z magnesami utajonymi i koncentratorami magnetycznymi zostały opracowane w celu wyeliminowania kilku wad silników z magnesami montowanymi powierzchniowo:

- Konstrukcje koncentrujące strumień powodują, że indukcja magnetyczna w szczelinie powietrznej jest wyższa niż indukcja magnetyczna w samych magnesach.
- W konstrukcjach z magnesami utajonymi istnieje pewien stopień ochrony magnesów przed wpływem pól harmonicznych wyższych rzędów.
- Niektóre typy silników z magnesami utajonymi mają zalety z punktu widzenia sterowania.

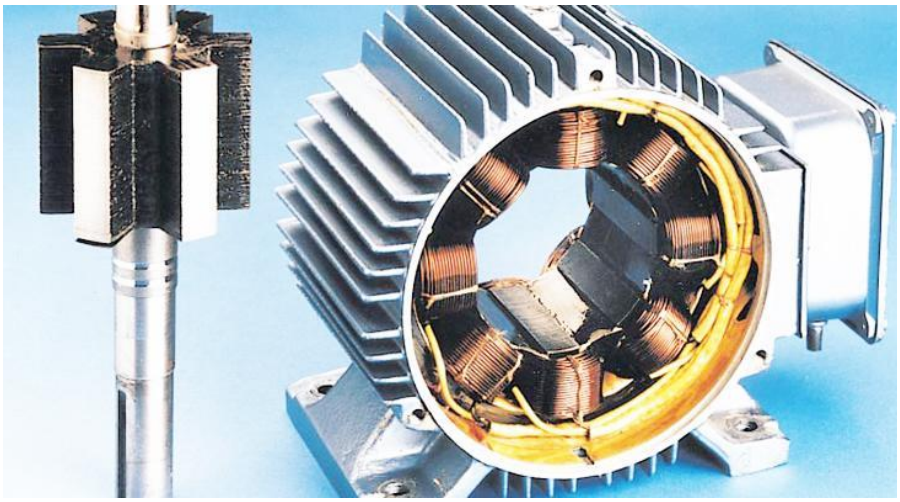
- Niektóre typy konstrukcji z magnesami utajonymi mają (lub twierdzi się, że mają) zalety technologiczne w porównaniu z konstrukcjami z magnesami montowanymi powierzchniowo.

Główne części maszyn synchronicznych z magnesami trwałymi to:

- Użłobkowany rdzeń magnetyczny stojana,
- Uzwojenie elektryczne stojana,
- Rdzeń magnetyczny wirnika,
- Magnesy trwałe,
- Wał silnika,
- Pokrywy z łożyskami,
- Układ chłodzenia,
- Obudowa.

Ta część zawiera krótkie wprowadzenie do przełączanego silnika reluktancyjnego (SRM) i jego zasady działania. Kluczem do zrozumienia każdej maszyny jest zasada wytwarzania momentu obrotowego. Działania maszyny i jej istotne cechy można określić analizując wzór na moment obrotowy. Wyrażenie to określa związek między strumieniem skojarzonym lub indukcyjnością maszyny a położeniem wirnika. Moment obciążenia maszyny w funkcji prędkości obrotowej pochodzi od charakterystyka indukcyjności w funkcji położenia wirnika maszyny. Podobnie jak dla innych maszyn sformułowano zastępczy obwód dla stanów dynamicznych dla silnika reluktancyjnego. Działanie maszyny w funkcji momentu obrotowego w funkcji prędkości zależy od indukcyjności w funkcji położenia wirnika charakterystycznego dla maszyny i podobnie jak w przypadku innych maszyn, formułowany jest dynamiczny obwód równoważny dla SRM. Istnieją różne konfiguracje wirnika SRM.

Chociaż SRM jest rodzajem maszyny synchronicznej, ma pewne nowatorskie cechy. Posiada w swoim uzwojeniu cewki magneśnicy silnika prądu stałego i nie posiada ani cewek, ani magnesów w swoim wirniku. Zarówno stojan, jak i wirnik mają wydatne bieguny. Taką maszynę pokazano na Rys. 1.9. Za każdym razem, gdy pobudzone są przeciwległe bieguny stojana, wirnik ustawia się w pozycji równowagi, w której obwód magnetyczny posiada najmniejszą reluktancję. Podczas gdy dwa bieguny wirnika są w pozycji równowagi względem dwóch zasilonych biegunów stojana, pozostałe bieguny wirnika nie są w tym stanie (w obwodzie magnetycznym występuje dla nich niesymetria, a co za tym idzie reluktancja w tym obwodzie jest większa) w stosunku do innego zestawu biegunów stojana. Obrót wirnika do następnej pozycji równowagi nastąpi, gdy kolejny zestaw biegunów stojana zostanie zasilony. Obrót wirnika jest możliwy, poprzez sekwencyjne przełączanie zasilania kolejnych uzwojeń stojana. Dlatego też ten silnik jest nazywany silnikiem przełączanym reluktancyjnym.



Rys. 1.9. Synchroniczny silnik reluktancyjny

Główne części synchronicznych maszyn reluktancyjnych to:

- Rdzeń stojana z wystającymi biegunami,
- Uzwojenie elektryczne stojana,
- Rdzeń wirnika z zębami,
- Wał silnika,
- Pokrywy z łożyskami,
- Układ chłodzenia,
- Obudowa.

Zwykle stojan i wirnik posiadają różną liczbę zębów (biegunów). Jako przykład na Rys. 1.10. pokazano różne kombinacje liczby biegunów stojana i wirnika.

a) 8/10 poles b) 16/12 poles c) 24/18 poles

Figure 1.10. Różne warianty synchronicznego silnika

2.1.3. Maszyny prądu stałego (DCM)

Z historycznego punktu widzenia maszyna prądu stałego była najwcześniejszym elektromechanicznym przetwornikiem i zwiastowała początek ery elektrycznej. Słynne eksperymenty Faradaya z miedzianymi tarczami doprowadziły do dalszych wynalazków, które przyczyniły się do ewolucji maszyny prądu stałego na pierwsze źródło energii elektrycznej wykorzystywane do celów oświetleniowych.

Najbardziej charakterystyczną cechą maszyny prądu stałego jest jej wszechstronność. Maszyna jest odwracalna, więc może działać albo jako generator przetwarzający energię mechaniczną na energię elektryczną w postaci prądu stałego i napięcia, albo jako silnik,

przekształcając energię elektryczną w energię mechaniczną. Generatory prądu stałego nie są obecnie w powszechnym użyciu, ponieważ wytwarzanie, przesyłanie i dystrybucja prądu przemiennego są korzystniejsze z ekonomicznego punktu widzenia. Generatory prądu stałego mogą być stosowane w sytuacjach, w których zużycie energii elektrycznej odbywa się bardzo blisko miejsca wytwarzania, i gdy jest wymagane, aby napięcia wyjściowe posiadały ściśle wymagane parametry.

Charakterystyka pracy silników prądu stałego oferuje wyraźne zalety, które czynią je atrakcyjnymi do wielu zastosowań przemysłowych. Szeroką gamę charakterystyk prędkości i momentu obrotowego można uzyskać w wyniku różnych kombinacji połączeń uzwojenia jako obcowzbudnego, szeregowego lub bocznikowego. Szeroki zakres prędkości i precyzyjne sterowanie można łatwo uzyskać za pomocą układu maszyn prądu stałego.

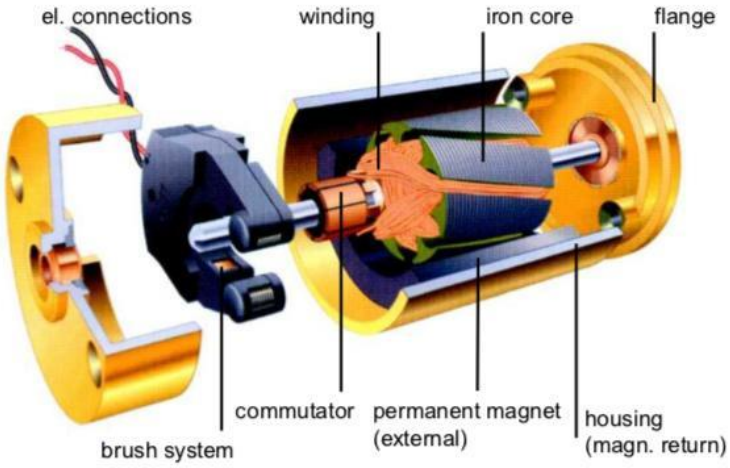
Maszyna prądu stałego jest obrotowym elektromechanicznym przetwornikiem energii z biegunami wydatnymi stojana, w których pole magnetyczne jest wzbudzane przez jedno lub więcej uzwojeń. Uzwojenie twornika maszyny prądu stałego znajduje się na wirniku. Prąd w tym uzwojeniu doprowadzany jest do niego lub z niego za pomocą szczotek węglowych stykających się z miedzianymi segmentami komutatora. Widok przekroju 2-biegunowego silnika prądu stałego pokazano na Rys. 1.11.

Rys. 1.11. Dwubiegunowy silnik prądu stałego

Uzwojenia twornika składają się z cewek z przewodami umieszczonymi w żłobkach rdzenia wirnika równolegle do wału. Uzwojenie wzbudzające jest zasilane prądem stałym, w wyniku czego strumień szczeliny powietrznej jest prawie stały pod każdym z biegunów. W trybie pracy generatora wirnik obraca się ze stałą prędkością, w wyniku czego indukowane napięcia pojawiają się w cewkach twornika.

Indukowane napięcia są przemienne i aby wytworzyć prąd stały muszą zostać wyprostowane. Rolę prostownika pełni komutator, który jest cylindrem zamontowanym na wirniku i utworzonym z miedzianych segmentów izolowanych od siebie i od wału wirnika. Segmenty

komutatora stykają się z nieruchomymi szczotkami węglowymi. Komutator jest w zasadzie mechanicznym prostownikiem pełnofalowym. Pole magnetyczne wytworzone przez prąd stały w uzwojeniu wzbudzającym jest nieruchome względem stojana. Prądy twornika wytwarzają stacjonarny rozkład strumienia magnetycznego, którego oś jest ustawiona pod kątem prostym do strumienia pola. Oddziaływanie dwóch rozkładów strumienia tworzy moment obrotowy, który wprawia wirnik maszyny w ruch.
W niektórych nowszych konstrukcjach uzwojenie wzbudzenia stojana może być zastąpione magnesami trwałymi, a silnik staje się silnikiem komutatorowym prądu stałego z magnesami trwałymi. Widok tego silnika przedstawiono na Rys. 1.12.



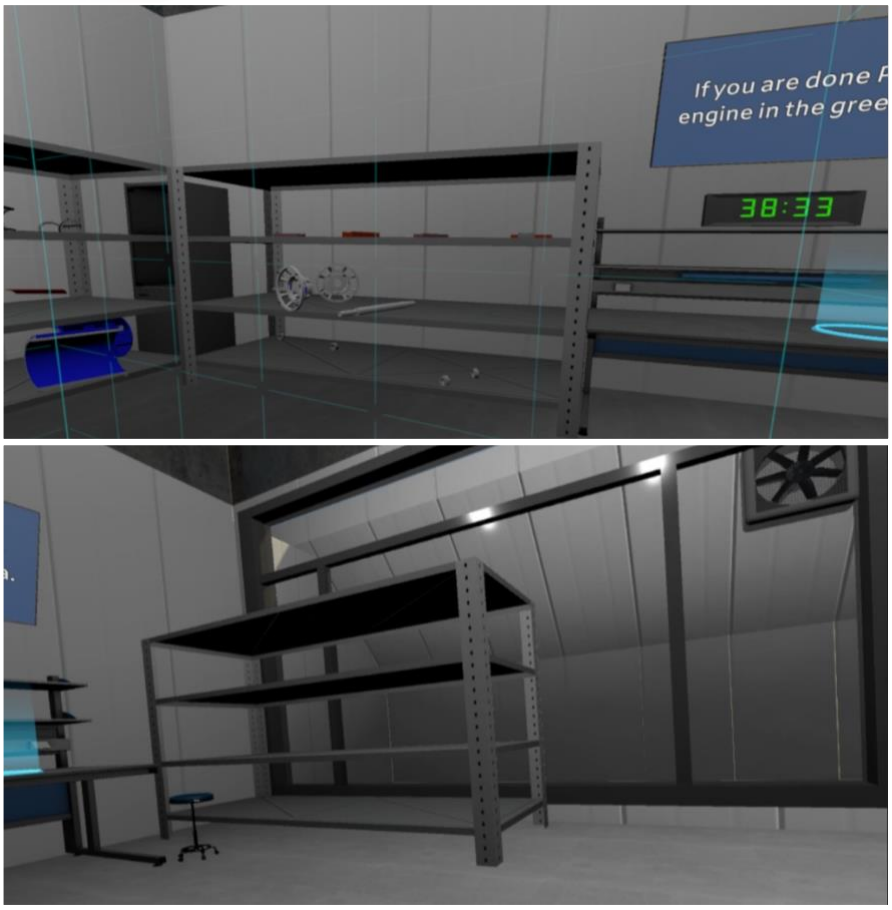
Rys. 1.12. Dwubiegunowy silnik komutatorowy prądu stałego z magnesami

Główne części każdego rodzaju silnika prądu stałego to:

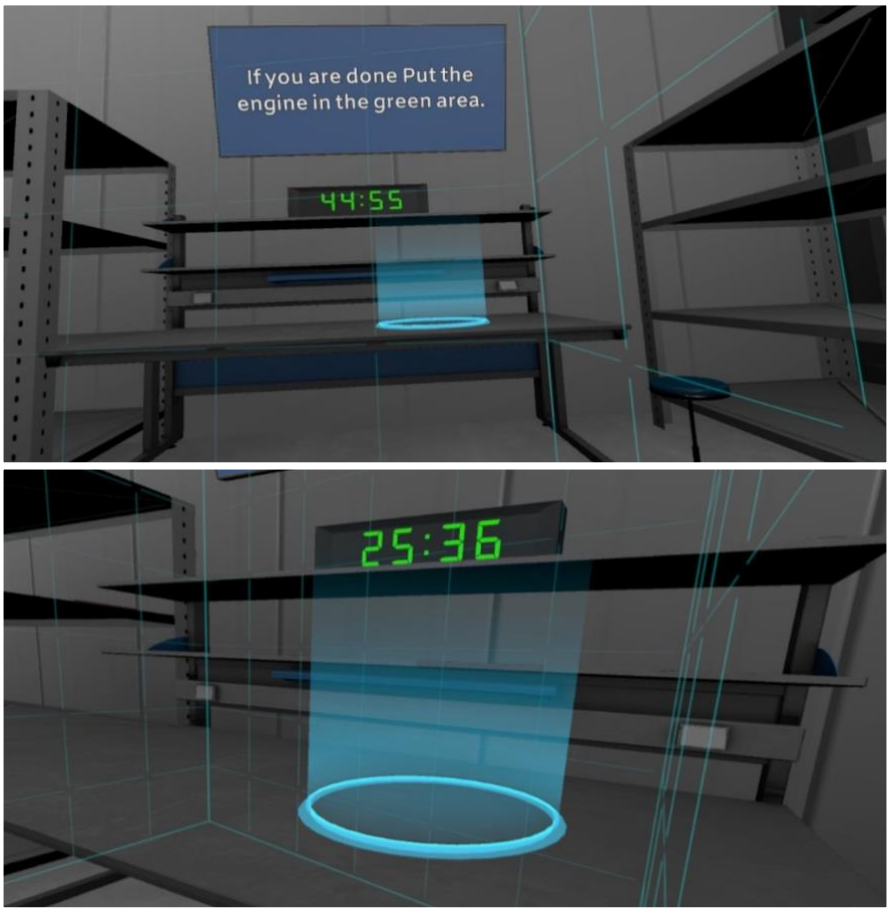
- Rdzeń stojana z wystającymi nabiegunnikami i uzwojeniem lub rdzeń stojana z magnesami trwałymi.
- Rdzeń magnetyczny wirnika ze żłobkami.
- Wał silnika.
- Pokrywy z łożyskami.
- Układ chłodzenia.
- Obudowa.

2.2. Wirtualny montaż maszyn elektrycznych

Środowiskiem pracy dla tego ćwiczenia jest hala fabryczna z półkami i stołem montażowym. Prezentację tego środowiska pokazano na Rys. 1.13. Widok stołu montażowego pokazano na Rys. 1.14. Części do wszystkich sześciu maszyn są umieszczone na półkach, jak pokazano na Rys. 1.15, Rys. 1.16 i Rys. 1.17.

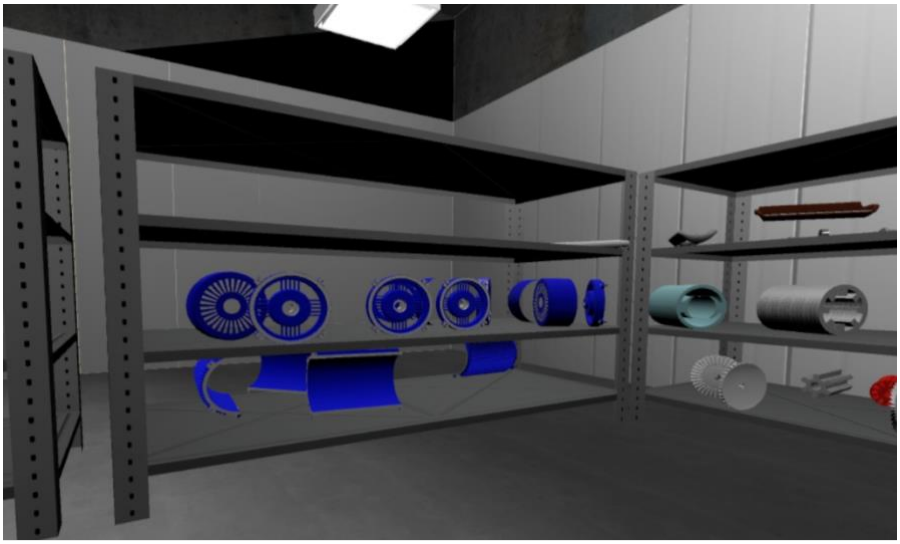


Rys. 1.13. Widok środowiska pracy dla Scenariusza 1 - Budowa maszyn elektrycznych

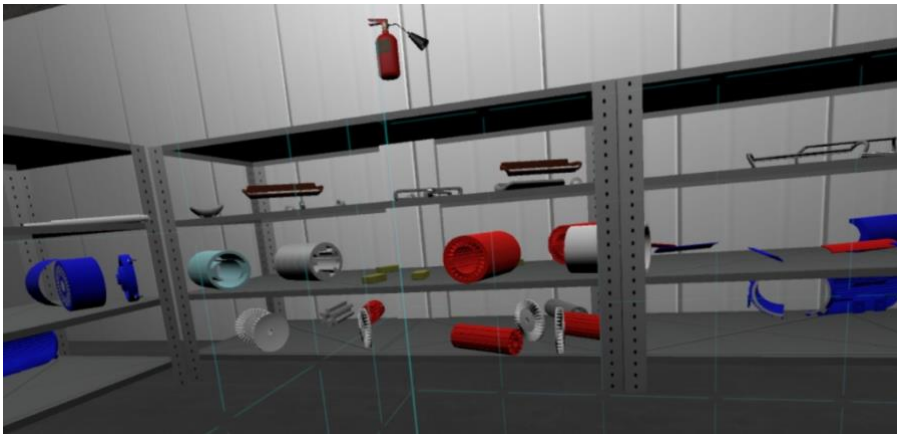


Rys. 1.14. Widok stanowiska montażowego dla Scenariusza 1 - Budowa maszyn elektrycznych

Rys. 1.15. Widok półek z częściami maszyn elektrycznych dla Scenariusza 1



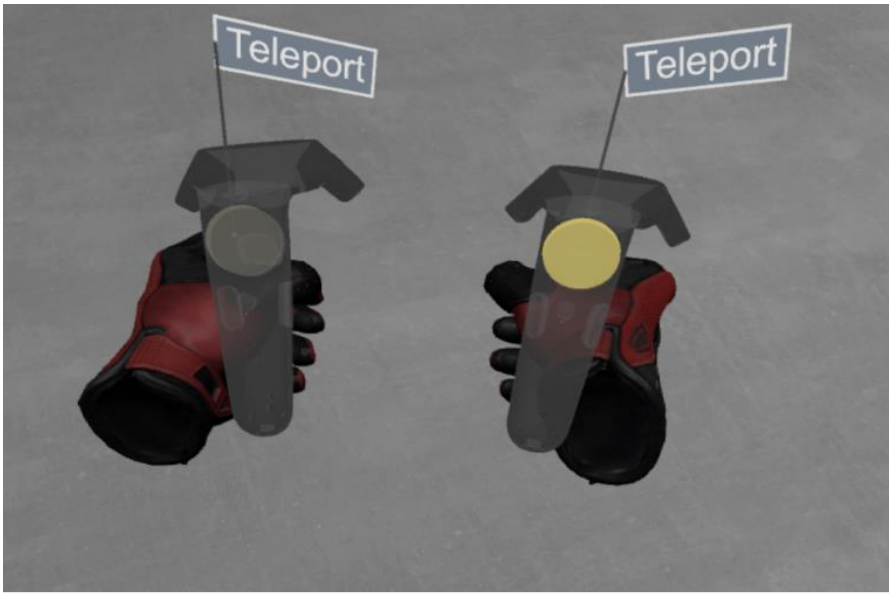
Rys. 1.16. Widok półek z częściami maszyn elektrycznych dla Scenariusza 1



Rys. 1.17. Widok półek z częściami maszyn elektrycznych dla Scenariusza 1

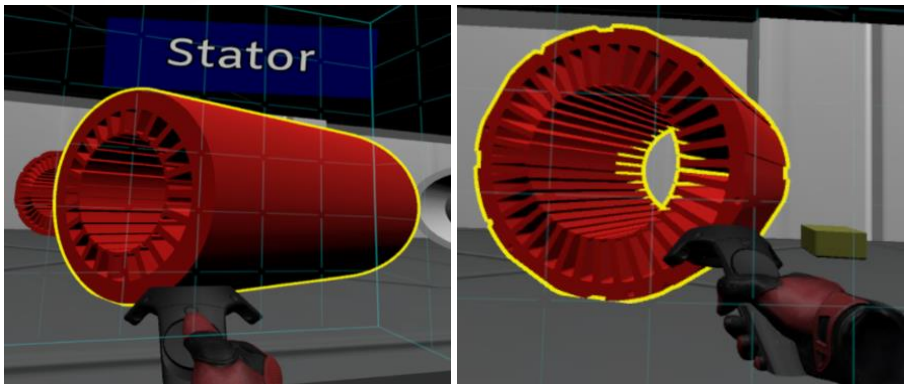
Każdy student otrzyma zadanie złożenia określonego rodzaju maszyny elektrycznej wybranej z listy 6 maszyn, które zostały wcześniej opisane. Części za pomocą uchwytów VR należy podnieść z półek

i położyć na stole roboczym. Widok uchwytów w środowisku VR pokazano na Rys. 1.18.



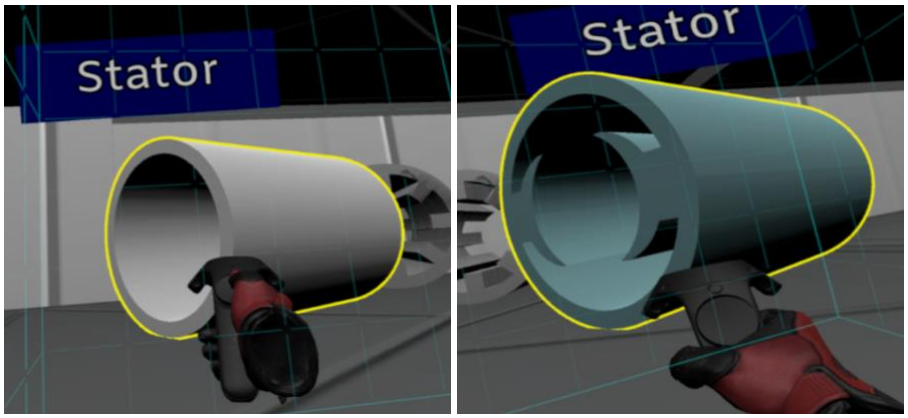
Rys. 1.18. Widok dwóch uchwytów widzianych w środowisku VR w okularach VR

Za pomocą tych dwóch uchwytów użytkownik może poruszać się po obszarze roboczym, zbierać części z półek i montować maszyny. Duży okrągły przycisk w górnej części uchwytu (1) służy do poruszania się po obszarze roboczym (teleportacja). Spust w dolnej części uchwytu (7) służy do podnoszenia części silnika i umieszczania ich w miejscu pracy, jak pokazano na Rys. A.1. Aby podnieść część z półki, należy przesunąć uchwyt bardzo blisko części, którą użytkownik chce wybrać. Gdy uchwyt jest wystarczająco blisko, część zostanie podświetlona żółtą linią obramowania; na tym etapie konieczne jest pociągnięcie za spust i utrzymanie go w tej pozycji, dopóki użytkownik nie będzie chciał postawić wybranej części na stole roboczym; po zwolnieniu spustu część zostanie również zwolniona i umieszczona. Prezentację wybranych rdzeni stojana pokazano na Rys. 1.19, Rys. 1.20 i Rys. 1.21. Wygląd wybranych rdzeni wirników, wałów i łożysk pokazano na rys. 1.22, rys. 1.23, rys. 1.24 i rys. 1.25. Uzwojenia stojana i wirnika, pręty wirnika i pierścienie zwierające, a także komutator pokazano na rys. 1.26, rys. 1.27 i rys. 1.28. Wygląd wybranych magnesów trwałych dla dwóch typów silników przedstawiono na rys. 1.29 i rys. 1.30. Wygląd górnej i dolnej obudowy silnika oraz pokrywy przedniej i tylnej obudowy pokazano odpowiednio na rys. 1.31 i rys. 1.32. Gdy uchwyt jest umieszczony wystarczająco blisko części silnikowej, opis części pojawia się w pobliżu jako wskazówka dla użytkownika.



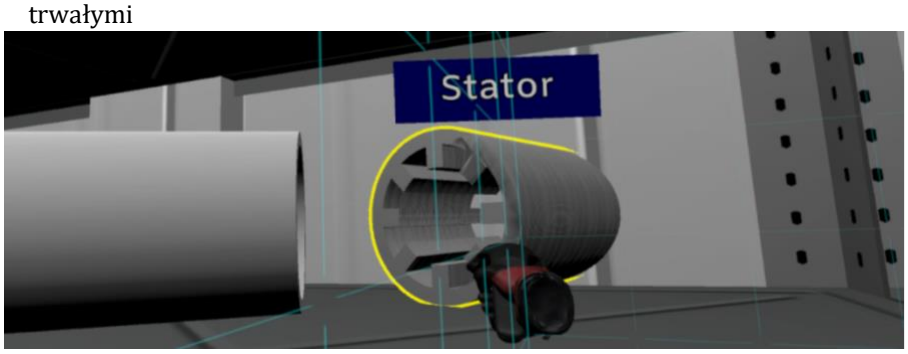
a) Silnik indukcyjny b) Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi

Rys. 1.19. Wygląd wybranego rdzenia stojana

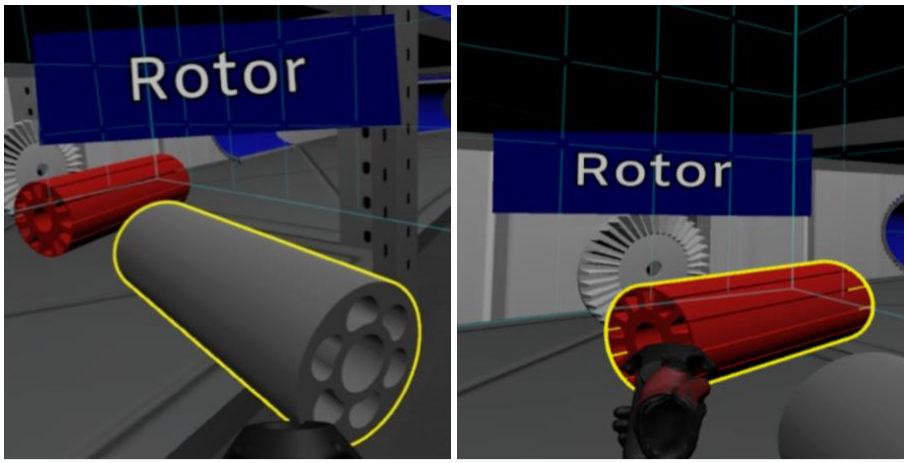


a) Silnik prądu stałego z magnesami trwałymi b) Silnik komutatorowy prądu stałego

Rys. 1.20. Wygląd wybranego rdzenia stojana

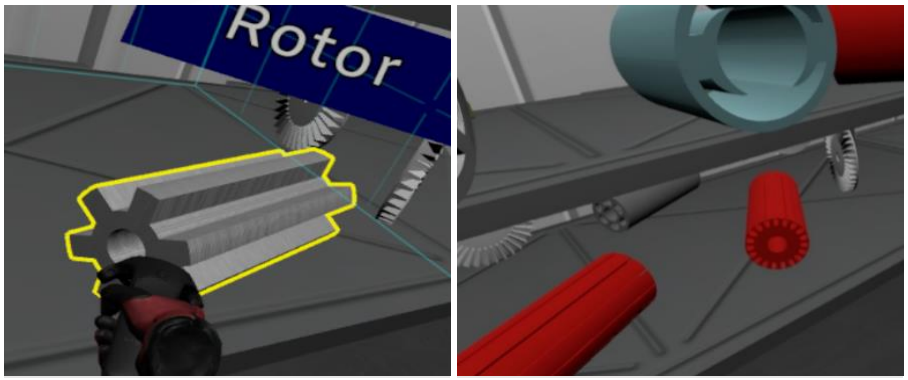


Rys. 1.21. Wygląd wybranego rdzenia stojana dla silnika reluktancyjnego



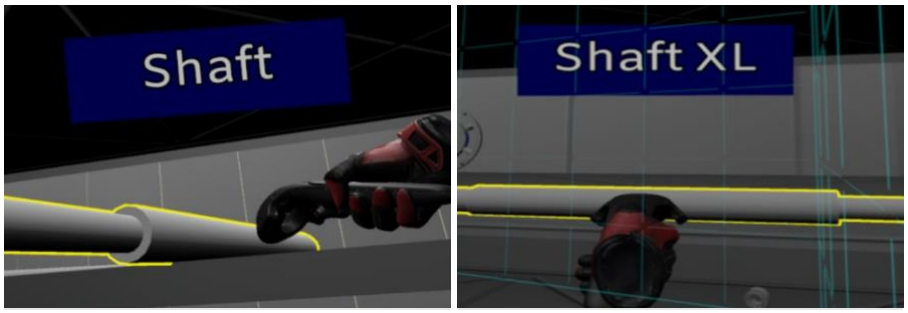
a) Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi b) Silnik komutatorowy prądu stałego

Rys. 1.22. Wygląd wybranego rdzenia wirnika

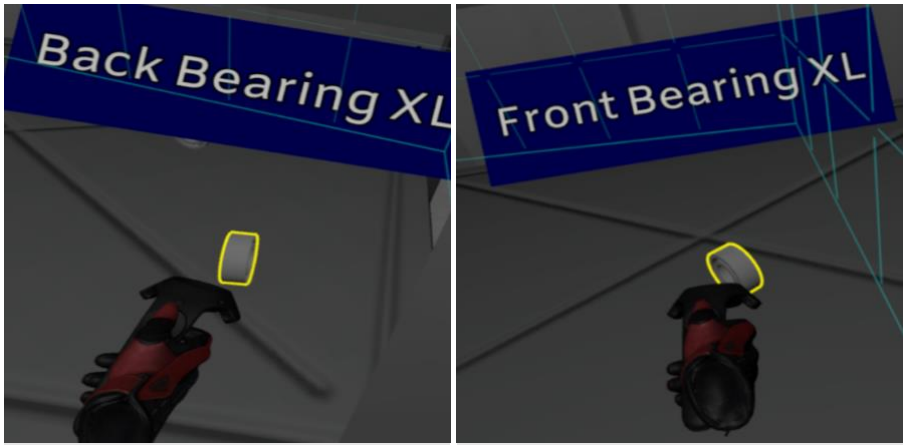


a) Silnik reluktancyjny b) Silnik indukcyjny

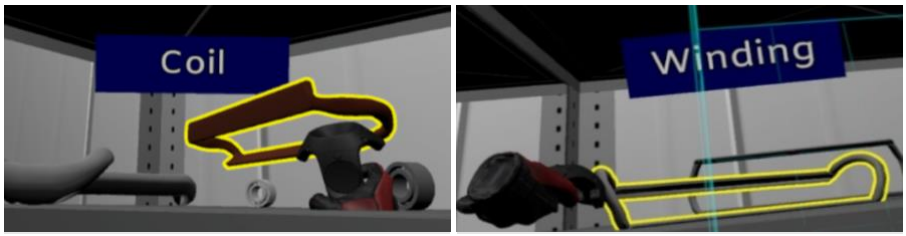
Rys. 1.23. Wygląd wybranego rdzenia wirnika



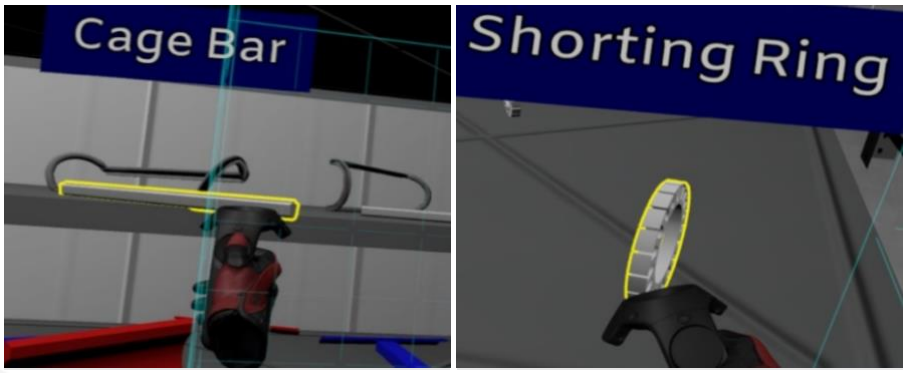
Rys. 1.24. Wygląd wybranych wałów



Rys. 1.25. Wygląd wybranych łożysk

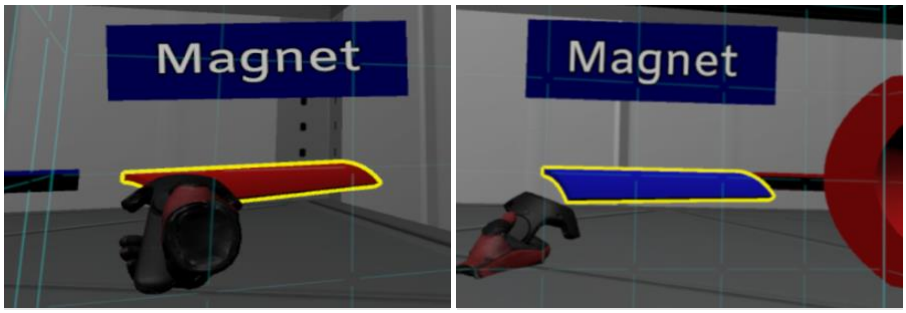


Rys. 1.26. Wygląd wybranych cewek i uzwojeń

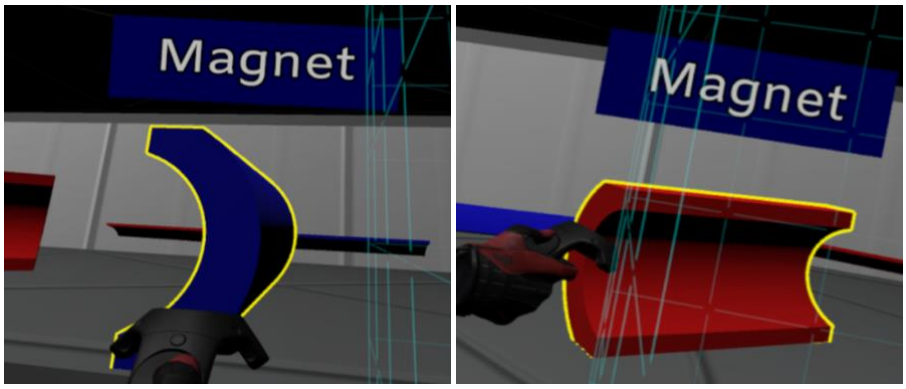


Rys. 1.27. Wygląd wybranego pręta klatki i pierścienia zwierającego silnika indukcyjnego klatkowego

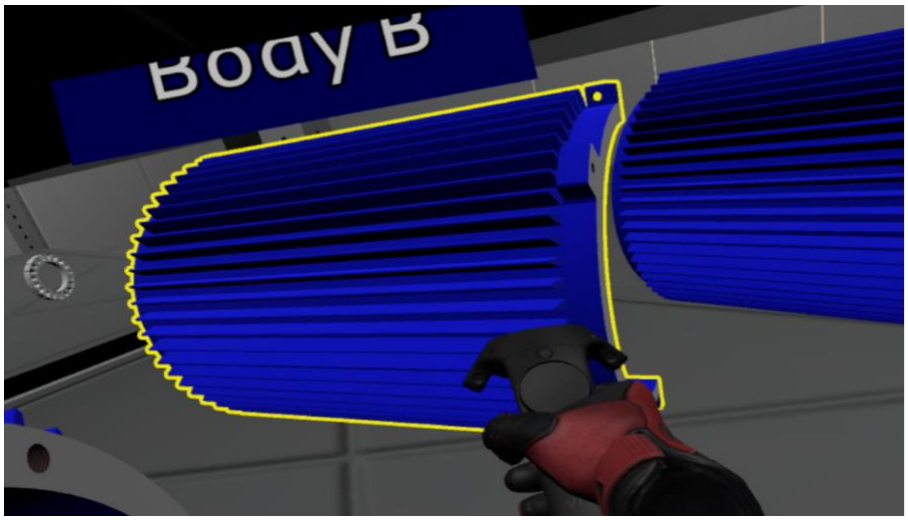
Rys. 1.28. Wygląd wybranego komutatora dla silników prądu stałego



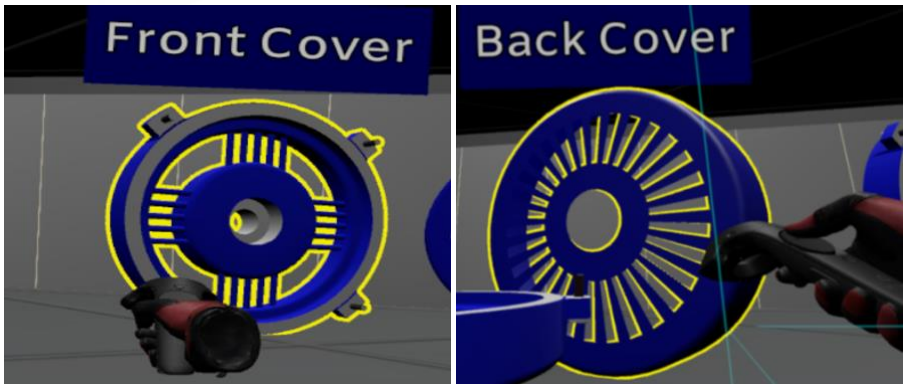
Rys. 1.29. Wygląd wybranych magnesów trwałych silnika synchronicznego z magnesami trwałymi



Rys. 1.30. Wygląd wybranych magnesów trwałych silnika prądu stałego z magnesami trwałymi



Rys. 1.31. Wygląd wybranej dolnej i górnej części obudowy silnika



Rys. 1.32. Wygląd wybranej przedniej i tylnej osłony silnika

Po umieszczeniu wszystkich części na stole roboczym użytkownik może przystąpić do budowy maszyny elektrycznej. Najpierw użytkownik powinien zbudować wirnik. Oznacza to, że wał powinien być zamontowany na rdzeniu wirnika, a także na dwóch łożyskach. Można to zrealizować w taki sposób, że gdy wał wirnika jest blisko prawidłowej pozycji, przylgnie do żelaznego rdzenia wirnika. Jeśli wirnik ma uzwojenie, uzwojenie należy zamontować, a jeśli silnik ma magnesy trwałe, należy zamontować magnesy. Dodatkowo, gdy silnik ma komutator, komutator również musi zostać zamontowany. Następnie użytkownik powinien przystąpić do budowy stojana. Uzwojenie stojana należy zamontować w żłobkach stojana lub na biegunach stojana silnika prądu stałego i silnika reluktancyjnego. Jeśli silnik ma tylko magnesy trwałe na stojanie, wówczas tylko magnesy trwałe powinny być umieszczone na rdzeniu stojana (w przypadku silnika prądu stałego z magnesami trwałymi).

2.2.1. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi (PMSM)

Części tego silnika, które należy zmontować, to:

#	Część	Ilość części
1	Rdzeń stojana z 36 żłobkami	1
2	Uzwojenie stojana	1
3	Rdzeń wirnika	1
4	Wał silnika	1
5	Magnesy trwałe	6 (3N & 3S)
6	Łożyska	2
7	Obudowa	1

Tabela 1.1 Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi

Wykaz części silnika pokazano w Tabeli 1.2.

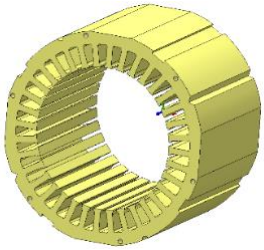
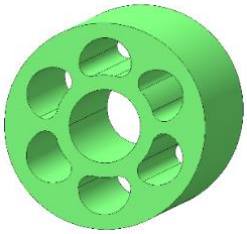
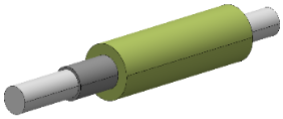
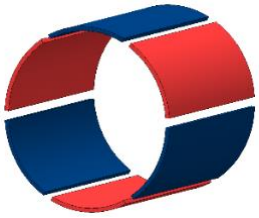
#	Część	Widok
1	Rdzeń stojana z 36 żłobkami	
2	Rdzeń wirnika	
3	Wał silnika	
4	Magnesy trwałe	

Tabela 1.2 Widok głównych części silnika

Wszystkie niezbędne części są umieszczone na półkach w pomieszczeniu montażowym VR. Użytkownik powinien rozpocząć ćwiczenie od zdjęcia części z półki i przeniesienia jej na stół montażowy. Najpierw użytkownik montuje wał w rdzeń wirnika, a następnie powinien dodać łożyska. Następnie należy na rdzeniu wirnika zamocować we właściwym miejscu magnesy trwałe. W następnym kroku należy umieścić w żłobkach rdzenia stojana uzwojenia stojana. Kolejny etap to umieszczenie całego wirnika w otworze rdzenia stojana, a następnie górnej i dolnej część obudowy montowanego silnika. Na tym etapie kończy się pierwsza część ćwiczenia.

2.2.2. Silnik indukcyjny (IM)

Części tego silnika, które należy zmontować, to:

#	Część	Ilość części
1	Rdzeń stojana z 24 żłobkami	1
2	Uzwojenie stojana	1
3	Rdzeń wirnika z 19 żłobkami	1
4	Pręty wirnika	19
5	Pierścienie zwierające wirnika	2
6	Wał silnika	1
7	Łożyska	2
8	Obudowa	1

Tabela 1.3. Silnik indukcyjny

Wykaz części silnika pokazano w Tabeli 1.4.

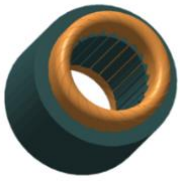
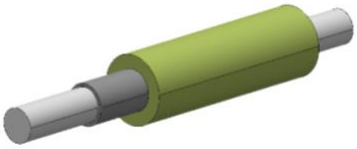
#	Część	Widok
1	Rdzeń stojana z 24 żłobkami	
2	Rdzeń wirnika z 19 żłobkami	
3	Wał silnika	
4	Pręty wirnika i pierścienie zwierające	

Tabela 1.4. Widok głównych części silnika

Wszystkie niezbędne części są umieszczone na półkach w pomieszczeniu montażowym VR. Użytkownik powinien rozpocząć ćwiczenie od zdjęcia części z półki i przeniesienia jej na stół montażowy. Najpierw użytkownik montuje wał w rdzeń wirnika, a następnie powinien dodać łożyska. W kolejnym kroku należy w 19 żłobkach wirnika umieścić 19 miedzianych prętów. Następnie zamocować po każdej stronie wirnika dwa pierścienie zwierające, tworząc w ten sposób uzwojenie wirnika, czyli tzw. klatę wirnika. W następnym kroku należy umieścić w żłobkach rdzenia stojana uzwojenie. Kolejny etap to umieszczenie całego wirnika w otworze rdzenia stojana, a następnie do zmontowanego silnika należy dodać

górną i dolną część obudowy. Na tym ostatnim etapie kończy się pierwsza część ćwiczenia.

2.2.3. Silnik reluktancyjny (SRM)

Części tego silnika, które należy zmontować, to:

#	Część	Ilość części
1	Rdzeń stojana z 8 nabiegunnikami i uzwojeniem skupionym	1
2	Rdzeń wirnika z 6 zębami	1
3	Wał silnika	1
4	Łożyska	2
5	Obudowa	1

Tabela 1.5. Silnik reluktancyjny

Wykaz części silnika pokazano w Tabeli 1.6.

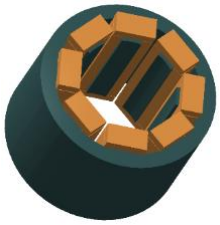
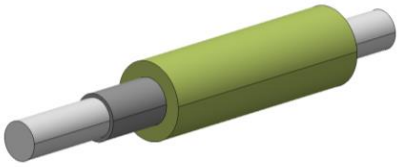
#	Część	Widok
1	Rdzeń stojana z 8 zębami i uzwojeniem skupionym	
2	Rdzeń wirnika z 6 zębami	
3	Wał silnika	

Tabela 1.6. Widok głównych części silnika

Wszystkie niezbędne części są umieszczone na półkach w pomieszczeniu montażowym VR. Użytkownik powinien rozpocząć ćwiczenie od zdjęcia części z półki i przeniesienia jej na stół montażowy. Najpierw użytkownik montuje wał w rdzeń wirnika z 6 zębami, a następnie powinien dodać łożyska. W następnym kroku należy umieścić na 8 zębach rdzenia stojana cewki. Kolejny etap to umieszczenie całego wirnika w otworze rdzenia stojana, a następnie do zmontowanego silnika należy dodać górną i dolną część obudowy. Na tym ostatnim etapie kończy się pierwsza część ćwiczenia.

2.2.4. Silnik komutatorowy prądu stałego (WSDCCM)

Części tego silnika, które należy zmontować, to:

#	Część	Ilość części
1	Rdzeń stojana z dwoma nabiegunnikami	1
2	Cewki stojana	2
3	Rdzeń stojana z 12 żłobkami i uzwojeniem twornika	1
4	Wał silnika (rozmiar XL)	1
5	Komutator	1
6	Łożyska (rozmiar XL)	2
7	Obudowa	1

Tabela 1.7.Silnik komutatorowy prądu stałego

Wykaz części silnika pokazano w Tabeli 1.8.

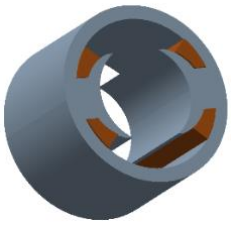
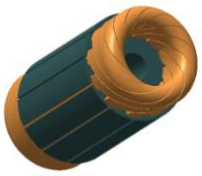
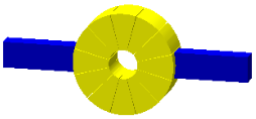
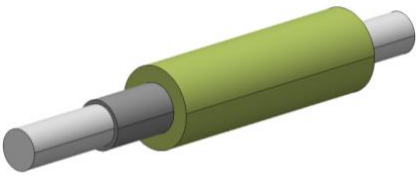
#	Część	Widok
1	Rdzeń stojana z dwoma nabiegunnikami	
2	Rdzeń stojana z 12 żłobkami i uzwojeniem twornika	
3	Komutator i szczotki	
4	Wał silnika (rozmiar XL)	

Tabela 1.8. Widok głównych części silnika

Wszystkie niezbędne części są umieszczone na półkach w pomieszczeniu montażowym VR. Użytkownik powinien rozpocząć ćwiczenie od zdjęcia części z półki i przeniesienia jej na stół montażowy. Najpierw użytkownik montuje wał w rdzeń wirnika z 12 żłobkami, a następnie powinien dodać komutator i łożyska. W następnym kroku na 2 biegunach rdzenia stojana należy umieścić uzwojenia. Następny etap to umieszczenie całego wirnika w otworze rdzenia stojana, a następnie dodanie górnej i dolnej część obudowy. Na tym ostatnim etapie kończy się pierwsza część ćwiczenia.

2.2.5. Silnik prądu stałego z magnesami trwałymi (PMDC)

Części tego silnika, które należy zmontować, to:

#	Część	Ilość części
1	Rdzeń stojana	1
2	Magnesy trwałe stojana (1-N i 1-S)	2
3	Rdzeń wirnika z 12 żłobkami	1
4	Uzwojenie twornika	1
5	Wał silnika (rozmiar XL)	1
6	Komutator	1
7	Łożyska (rozmiar XL)	2
8	Obudowa	1

Tabela 1.9. Silnik prądu stałego z magnesami trwałymi

Wykaz części silnika pokazano w Tabeli 1.10.

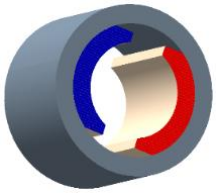
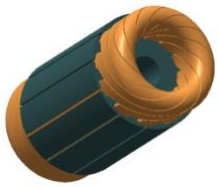
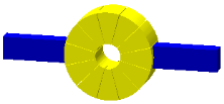
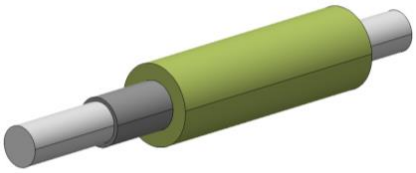
#	Część	Widok
1	Rdzeń stojana z 2 magnesami trwałymi	
2	Rdzeń wirnika z 12 żłobkami i uzwojeniem twornika	
3	Komutator i szczotki	
4	Wał silnika	

Tabela 1.10. Widok głównych części silnika

Wszystkie niezbędne części są umieszczone na półkach w pomieszczeniu montażowym VR. Użytkownik powinien rozpocząć ćwiczenie od zdjęcia części z półki i przeniesienia jej na stół montażowy. Najpierw użytkownik montuje wał w rdzeń wirnika z 12 żłobkami, a następnie powinien dodać komutator i łożyska. W następnym kroku, na rdzeniu stojana, powinny zostać umieszczone dwa magnesy trwałe o biegunowości N i S. Następny etap to umieszczenie całego wirnika w otworze rdzenia stojana, a następnie dodanie górnej i dolnej część obudowy. Na tym ostatnim etapie kończy się pierwsza część ćwiczenia.

2.2.6. Generator z magnesami trwałymi (PMG)

Części tej maszyny, które należy zmontować, to:

#	Część	Ilość części
1	Rdzeń stojana	1
2	Uzwojenie stojana	1
3	Magnesy trwałe wirnika (2-N i 2-S)	4
4	Rdzeń wirnika	1
5	Wał generatora	1
6	Łożyska	2
7	Obudowa	1

Tabela 1.11. Generator z magnesami trwałymi

Wykaz części generatora pokazano w Tabeli 1.12.

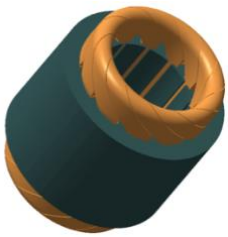
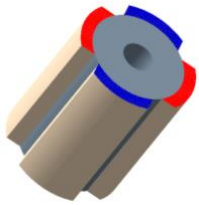
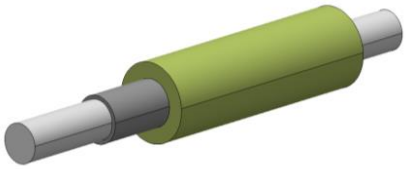
#	Część	Widok
1	Rdzeń stojana z 12 żłobkami i uzwojeniem	
2	Rdzień wirnika z 4 magnesami trwałymi (2-N i 2-S)	
3	Wał generatora	

Tabela 1.12. Widok głównych części generatora

Wszystkie niezbędne części są umieszczone na półkach w pomieszczeniu montażowym VR. Użytkownik powinien rozpocząć ćwiczenie od zdjęcia części z półki i przeniesienia jej na stół montażowy. Najpierw użytkownik montuje wał w rdzeń wirnika, a następnie powinien dodać 4 magnesy trwałe w kolejności N-S-N-S i łożyska. W następnym kroku uzwojenie stojana należy umieścić w szczelinach rdzenia stojana. Kolejnym krokiem jest umieszczenie całego wirnika w otworze rdzenia stojana, a następnie górną i dolną część obudowy należy dodać do zmontowanego silnika. Na tym ostatnim etapie kończy się pierwsza część ćwiczenia.

Uwaga:
Po zmontowaniu silnika należy go umieścić w zaznaczonym miejscu na stole. Jeśli silnik zostanie prawidłowo zmontowany, ćwiczenie automatycznie przejdzie do następnego poziomu, czyli zasad działania maszyn elektrycznych. Jeśli silnik nie zostanie prawidłowo zmontowany, użytkownik będzie miał dwie szanse na skonstruowanie wybranego do ćwiczenia silnika.

2.3. Zasada działania maszyn elektrycznych

W tej części ćwiczenia badany jest silnik synchroniczny z magnesami trwałymi. Silnik jest wstępnie zmontowany i umieszczony na stanowisku badawczym (jak pokazano na Rys. 1.34) wraz z urządzeniem pomiarowym. Dane znamionowe badanego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi wynoszą: Un=50 V=const., nn=1000 obr/min, In=11.38 A.
Badanie należy wykonać w następujących krokach:

Krok 1 – Silnik należy podłączyć do zasilacza i przygotować go do pomiarów, jak pokazano na Rys. 1.35.

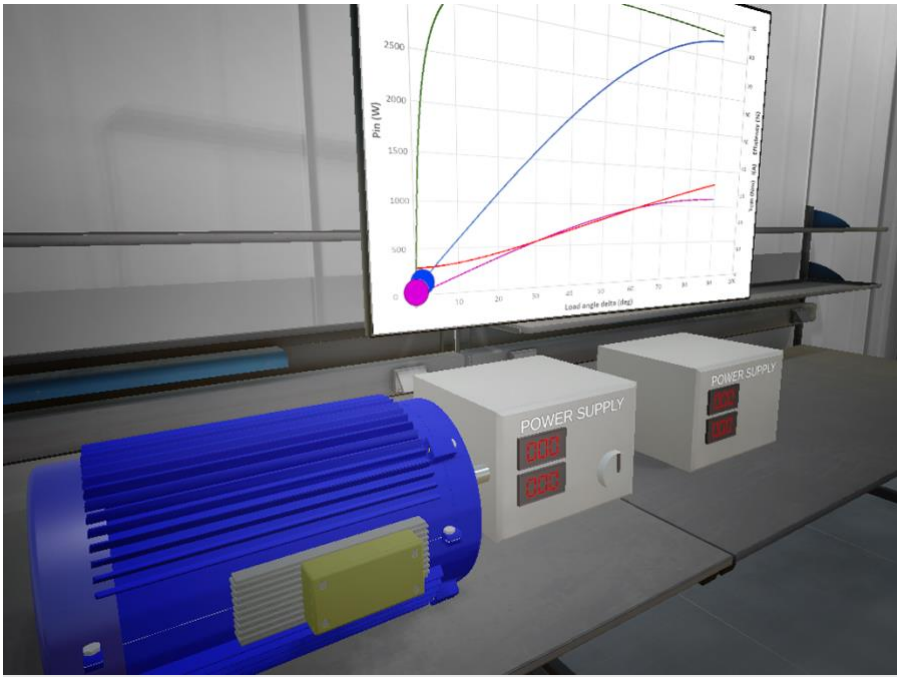
Krok 2 – Włączyć zasilanie wyłącznikiem głównym (Main switch).

Krok 3 – Za pomocą pokrętła Load angle control należy rozpocząć obciążanie silnika poprzez zmianę kąta obciążenia (np. 5˚ lub 10˚). Po ustawieniu zadanej wartości nacisnąć przycisk Record Data. Zarejestrowane dane powinny być pokazane na wykresie jako nowy punkt pomiarowy lub mogą być pokazane jako linia łącząca poprzednie zmierzone punkty. Pomiary należy kontynuować aż do momentu, gdy silnik przestanie pracować przy kącie obciążenia 90˚. Wówczas wyłącznik główny ON / OFF automatycznie przełączy się w pozycję OFF.

Krok 4 – Po zatrzymaniu silnika pojawi się losowo wybrane pytanie z odpowiedzią wielokrotnego wyboru. Użytkownik musi wybrać prawidłową odpowiedź, aby uzyskać punkty.

Po ukończeniu dwóch części scenariusza studenci otrzymają punkty uzyskane w dwóch częściach ćwiczenia i odpowiedzi na losowo zadane pytanie na końcu scenariusza. Jeśli student poprawnie zmontował dany silnik przy pierwszej próbie, otrzyma 100% punktów za ten etap, przy drugiej udanej próbie będzie to 75% punktów, a przy trzeciej udanej próbie 50% punktów. Jeśli student nie wykona wszystkich trzech prób, otrzyma zero punktów, a ćwiczenie nie zostanie zaliczone. W drugiej części ćwiczenia i losowo zadanym pytaniu student będzie miał tylko jedną próbę. Jeśli student prawidłowo podłączy silnik do pomiarów i przeprowadzi badanie w prawidłowy sposób, otrzyma

maksymalną liczbę punktów. To samo dotyczy losowo zadanego pytania. Za złe połączenie i złą odpowiedź student otrzyma zero punktów.

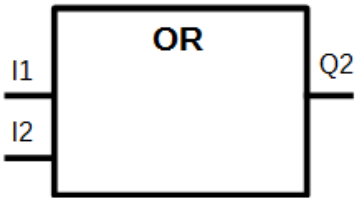


Rys. 1.33. Widok badanego silnika podłączonego do urządzenia

3. Scenariusz 2 - Sterowanie procesem sortowania paczek w magazynie wysokiego składowania

3.1 Język FBD (Function Block Diagram)

Język FBD (Functional Block Diagram) jest językiem graficznym. Wykonanie programu opiera się na przepływie sygnału podobnie do przepływu sygnału między elementami systemu przetwarzania sygnałów. Przepływ sygnału odbywa się z wyjścia (prawa strona) funkcji lub bloku funkcjonalnego do przyłączonego wejścia (lewa strona) następnej funkcji lub bloku funkcjonalnego.
Symbole graficzne reprezentujące poszczególne elementy schematu połączeń bloków to prostokąty i elementy sterujące połączone liniami poziomymi i pionowymi. Przykład bloku języka FBD przedstawiono na rys 3.1.



Rys. 3.1. Przykład bloku w języku FBD, na przykładzie funkcji OR

Obwód – zbiór elementów języka (bloków) wzajemnie połączonych ze sobą za pomocą linii.
Zasady występujące przy wykonywaniu programu:

1. Wartość żadnego elementu obwodu nie jest wyznaczana, jeśli nie wyznaczono wartości wszystkich jego wejść.
2. Wyznaczanie wartości elementu obwodu nie jest zakończone, jeśli nie wyznaczono wartości dla wszystkich jego wyjść.
3. Wykonywanie programu dla całego obwodu nie jest zakończone, jeśli nie wyznaczono wartości wyjść dla wszystkich jego elementów.
4. W ramach jednostki organizacyjnej oprogramowania wykonywanie programu dla obwodu powinno być zakończone, zanim rozpocznie się wykonanie następnego obwodu, w którym wykorzystywane są wyjścia obwodu poprzedniego.

Zasady tworzenia obwodów:

1. Wyjścia bloków funkcjonalnych nie powinny być łączone razem.
2. W przypadku gdy następuje krzyżowanie się linii łączących różne elementy obwodu należy korzystać z symboli przecięcia linii bez połączeń.
3. Struktura programu powinna być liniowa, z jak najmniejszą liczbą przecinających się linii, tak aby była ona jak najbardziej czytelna.
4. W obwodach mogą występować sprzężenia zwrotne, gdy wyjście funkcji lub bloku funkcyjnego jest wprowadzone na wejście innej funkcji lub bloku funkcyjnego, znajdującej się w obwodzie.
5. Kolejność wykonywania obwodów może być zmieniona przez instrukcje skoku.

3.2 Podstawowe bloki języka FBD

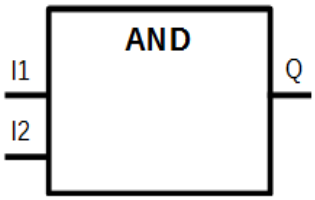
Można wyróżnić następujące podstawowe bloki języka FBD:

- **funkcja logiczna AND** – aby stan wyjścia był 1, wszystkie wejścia muszą być w stanie 1;
- **funkcja logiczna OR** – aby stan wyjścia był 1, dowolne wejście musi być w stanie 1;
- **funkcja logiczna XOR** – aby stan wyjścia był 1, nieparzysta liczba wejść musi być w stanie 1;
- **bloki wyjściowe** – służą do określenia adresu bitu wyjściowego; są odpowiednikiem cewek w języku LD. Można wyróżnić 2 bloki wyjściowe (dla sterowników Siemens S7-1200):
    - wyjściowy blok sterujący,
    - negujący blok wyjściowy.
- bloki ustawiania i kasowania bitu:
    - blok ustawiania (set, S) – kiedy jest aktywowany, wtedy wartość zmiennej pod adresem OUT jest ustawiana na 1, a kiedy nie jest aktywowany – wartość ta pozostaje bez zmian;
    - blok kasowania (reset, R) – kiedy jest aktywowany, wtedy wartość zmiennej pod adresem OUT jest ustawiana na 0, a kiedy nie jest aktywowany – wartość ta pozostaje bez zmian.

Funkcje logiczne posiadają przynajmniej 2 wejścia i jedno wyjście. Do przedstawienia zasady działania poszczególnych funkcji logicznych można posłużyć się tablicą prawdy, która pokazuje stany wyjścia w zależności od stanów wejść. Wejścia i wyjścia w logice bitowej mogą

mieć dwa stany: niski – oznaczony jako logiczne 0 i wysoki – oznaczony jako logiczna 1.

Symbole graficzne podstawowych funkcji logicznych wraz z tabelami prawdy przedstawiono na rys. 3.2, rys. 3.3 i rys. 3.4.

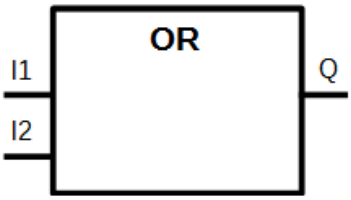


a)

I1	I2	Q
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

b)

Rys. 3.2: Funkcja AND:
a) symbol języka FBD,
b) tabela prawdy

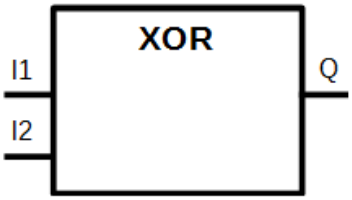


a)

I1	I2	Q
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

b)

Rys. 3.3: Funkcja OR:
a) symbol języka FBD,
b) tabela prawdy



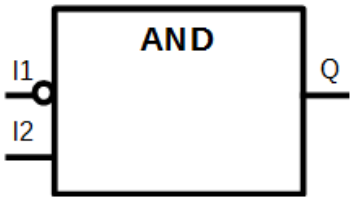
a)

I1	I2	Q
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

b)

Rys. 3.4: Funkcja XOR:
a) symbol języka FBD,
b) tabela prawdy

Wejścia lub wyjścia bloków mogą wymagać zanegowania. Zanegowane wejście lub wyjście odwraca sygnał na przeciwny, tzn. zamienia logiczną „1” na logiczne „0” i odwrotnie. Przykład zanegowania wejścia przedstawiono na rys. 3.5, natomiast blok z zanegowanym wyjściem – na rys. 3.6

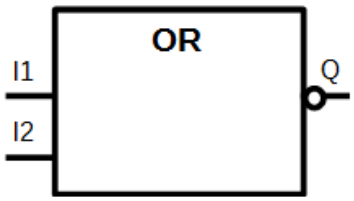


a)

I1	I2	Q
0	0	0
1	0	0
0	1	1
1	1	0

b)

Rys. 3.5.



a)

I1	I2	Q
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

b)

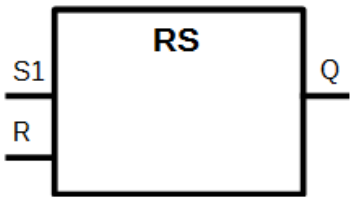
Rys. 3.6.

3.3 Standardowe bloki funkcjonalne

Przerzutniki to elementy umożliwiające warunkowe ustawianie lub kasowanie danego bitu obszaru pamięci. Blok instrukcji zawiera dwa wejścia sterujące S i R oraz jedno wyjście. Kolejność tych wejść określa priorytet danego wejścia oraz tym samym definiuje rodzaj przerzutnika. Można zatem wyróżnić dwa rodzaje przerzutników:

- RS – jest to przerzutnik z dominującym wejściem ustawiającym (S1), w którym nadrzędną rolę spełnia sygnał ustawiający. Oznacza to, że jeśli obydwa sygnały: ustawiający (S1) i kasujący (R), przyjmą wartość 1, to na wyjściu zostanie ustawiona wartość 1.
- SR – jest to przerzutnik z dominującym wejściem kasującym (R1), w którym nadrzędną rolę spełnia sygnał kasujący. Oznacza to, że jeśli obydwa sygnały: ustawiający (S) i kasujący (R1), przyjmą wartość 1, to na wyjściu zostanie ustawiona wartość 0.

Symbole graficzne przerzutników RS i SR wraz z tabelami prawdy przedstawiono na rys. 3.7 i 3.8

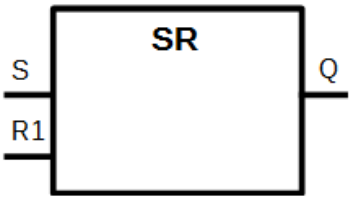


a)

S1	R	Q
0	0	previous* state
0	1	0
1	0	1
1	1	1

b)

Rys. 3.7. Przerzutnik RS:
a) symbol,
b) tabela prawdy



a)

S	R1	Q
0	0	previous* state
0	1	0
1	0	1
1	1	0

b)

Rys. 3.8. Przerzutnik SR:
a) symbol,
b) tabela prawdy

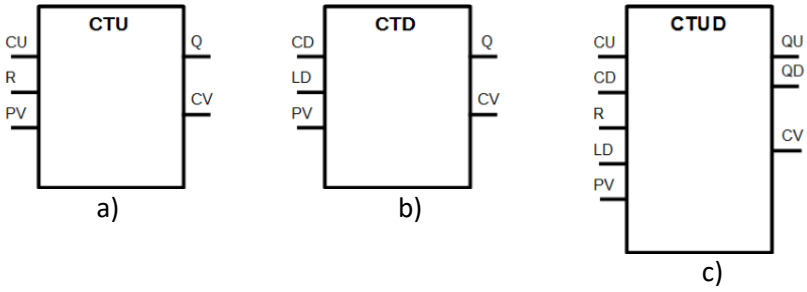
Określenie „previous state” oznacza, że jeśli przed ustawieniem na wejściach S i R logicznych 0 była logiczna 1, to ta logiczna 1 pozostanie, a jeśli było 0, to 0 pozostanie.

Liczniki stosowane są do zliczania wewnętrznych zdarzeń w programie i wewnętrznych zdarzeń procesu, jak np. zliczanie naciśnięć przycisku lub zliczanie zadziałania czujnika zbliżeniowego.

Można wyróżnić 3 podstawowe rodzaje liczników:

- CTU – licznik dodający (counter up).
- CTD – licznik odejmujący (counter down).
- CTUD – licznik dodająco-odejmujący.

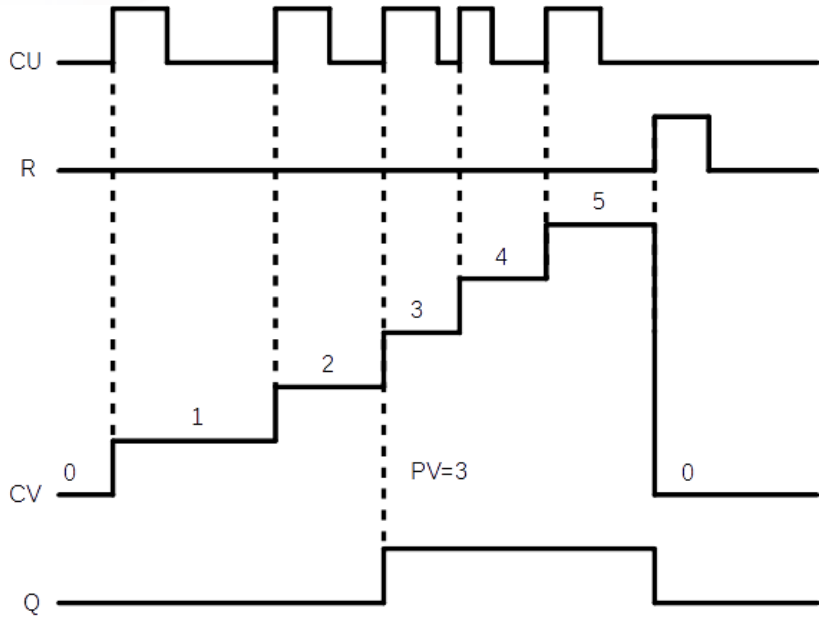
Symbole poszczególnych liczników przedstawiono na rys. 3.9.



Rys. 3.9. Liczniki:
a) dodający,
b) odejmujący,
c) dodająco-odejmujący

Licznik CTU (Rys. 3.9a):

- CU – wejście zliczające narastające zbocza sygnałów,
- CV – current value – aktualny stan licznika (kolejne impulsy pojawiające się na wejściu CU są dodawane do bieżącej wartości CV),
- R – reset – wejście powodujące resetowanie stanu licznika (czyli ustawianie CV=0) po pojawieniu się na nim logicznej 1,
- PV – preset value – wartość zadana, wartość, do której licznik ma zliczać impulsy,
- Q – wyjście; na wyjściu Q pojawia się logiczna 1, gdy CV=PV.



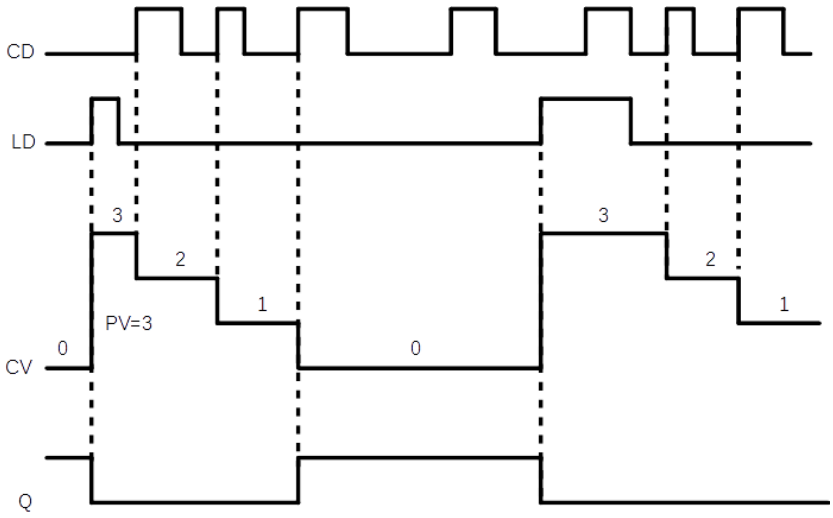
Rys. 3.10. Przebiegi czasowe sygnałów licznika CTU

Zasadę działania licznik CTU można przedstawić na przebiegach czasowych. Przebiegi te przedstawiono na rys. 3.10.

Licznik CTD (Rys. 9b):

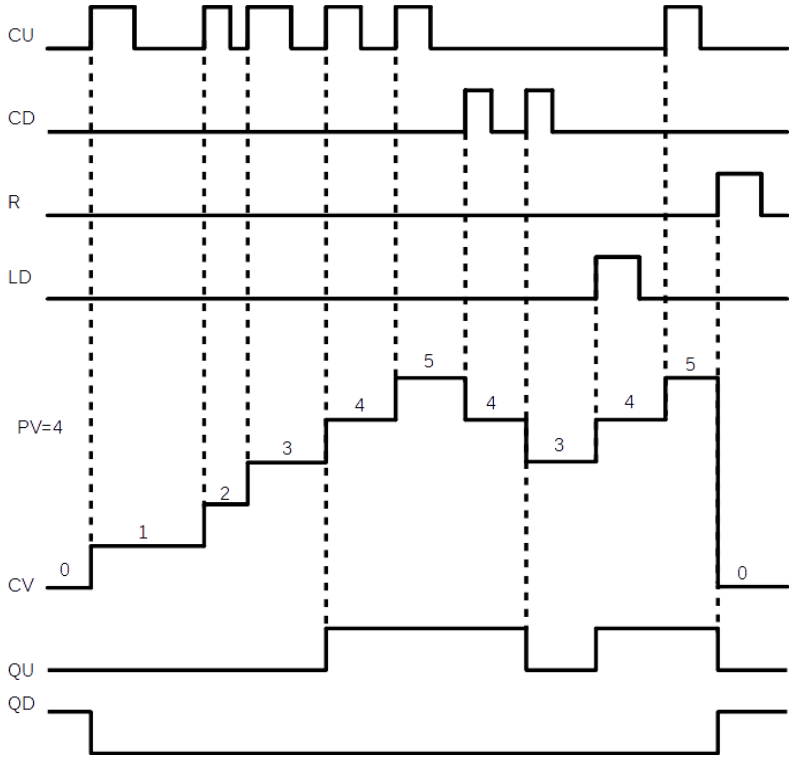
- CD – wejście zliczające narastające zbocza sygnałów,
- CV – current value – aktualny stan licznika (kolejne impulsy pojawiające się na wejściu CU są odejmowane do bieżącej wartości CV),
- LD – load – wejście powodujące załadowanie stanu licznika (czyli ustawianie CV=PV) po pojawieniu się na nim logicznej 1,
- PV – preset value – wartość zadana, wartość, od której licznik zaczyna odliczanie,
- Q – wyjście; na wyjściu Q pojawia się logiczna 1, gdy CV=0.

Zasadę działania licznik CTD można przedstawić na przebiegach czasowych. Przebiegi te przedstawiono na rys. 3.11.



Rys. 3.11. Przebiegi czasowe sygnałów licznika CTD

Liczniki CTUD (Rys. 9c) jest połączeniem liczników CTU i CTD. Posiada zatem 2 wejścia zliczające i 2 wyjścia oraz 1 wejście kasujące, 1 wejście ładujące.
Zasadę działania licznik CTUD można przedstawić na przebiegach czasowych. Przebiegi te przedstawiono na rys. 3.12.

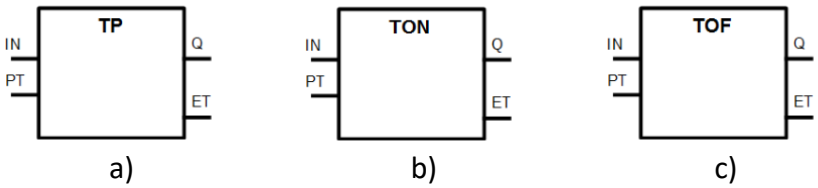


Rys. 3.12. Przebiegi czasowe sygnałów licznika CTUD

Czasomierze to bloki funkcjonalne stosowane do odmierzania czasu bądź włączania lub wyłączania z uwzględnieniem uwarunkowań czasowych (np. z opóźnieniem).
Można wyróżnić 3 podstawowe rodzaje czasomierzy:

- TP – generator impulsu (pulse),
- TON – opóźnione włączenie (on-delay),
- TOFF – opóźnione wyłączenie (off-delay).

Symbole poszczególnych liczników przedstawiono na Rys. 3.13.



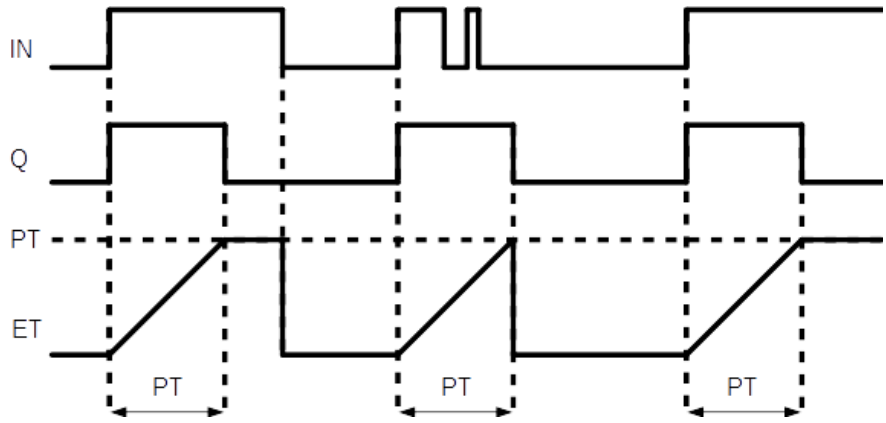
Rys. 3.13. Czasomierze:
a) generator impulsu TP,
b) opóźnione włączenie TON,
c) opóźnione wyłączenie TOF

Czasomierz TP (Rys. 14a):

- IN – wejście wyzwalające czasomierz,
- PT – preset time – czas trwania impulsu,
- ET – eplased time – upływający czas dla generowanego impulsu,

- Q – wyjście.

Zasadę działania czasomierza TP można przedstawić na przebiegach czasowych. Przebiegi te przedstawiono na rys. 3.14.

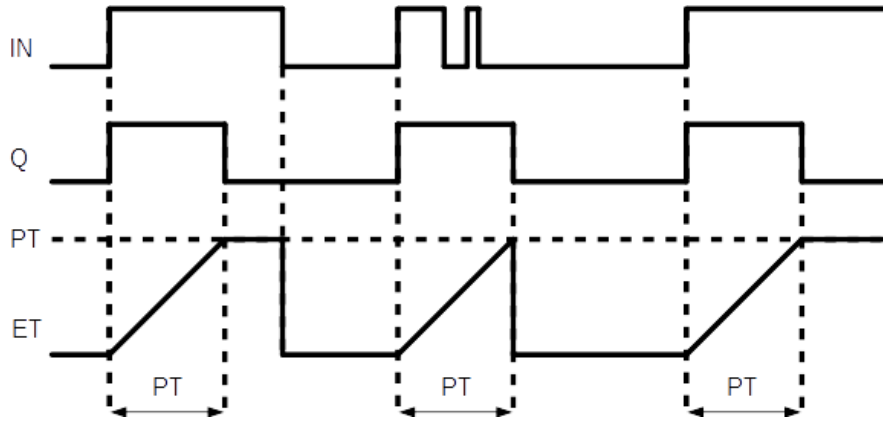


Rys. 3.14. Przebiegi czasowe sygnałów czasomierza TP

Czasomierz TON (Rys. 14b):

- IN – wejście wyzwalające czasomierz,
- PT – preset time – czas trwania opóźnienia włączenia wyjścia Q,
- ET – eplased time – upływający czas,
- Q – wyjście.

Zasadę działania czasomierza TON można przedstawić na przebiegach czasowych. Przebiegi te przedstawiono na rys. 3.15.

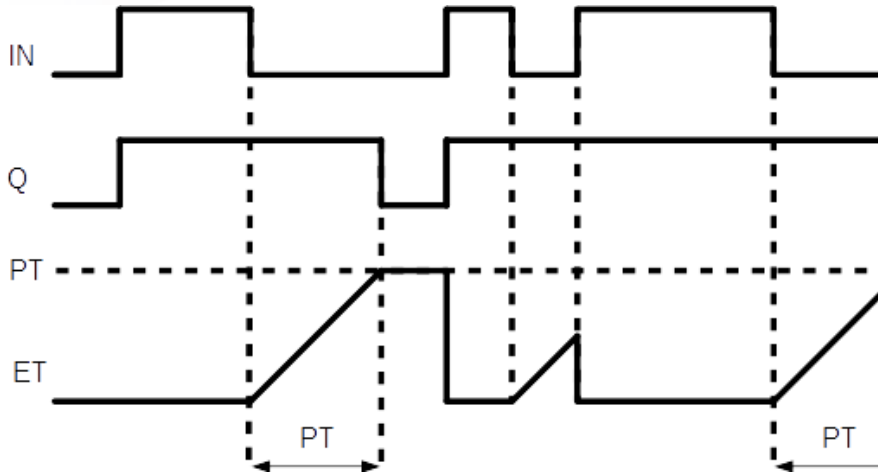


Rys. 3.15. Przebiegi czasowe sygnałów czasomierza TON

Czasomierz TOF (Rys. 3.13c):

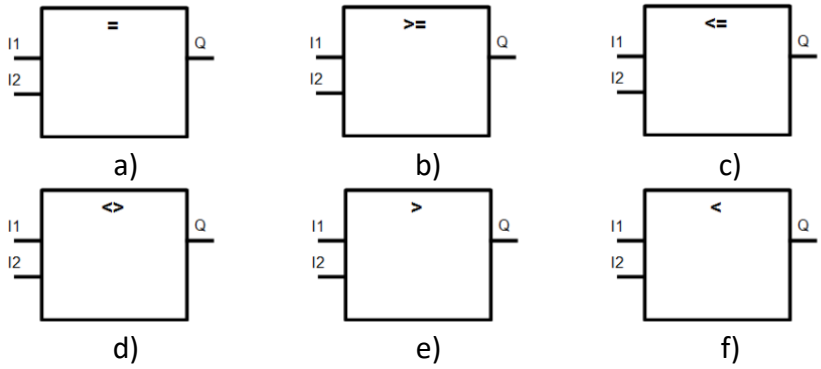
- IN – wejście wyzwalające czasomierz,
- PT – preset time – czas trwania opóźnienia wyłączenia wyjścia Q,
- ET – eplased time – upływający czas,
- Q – wyjście

Zasadę działania czasomierza TOF można przedstawić na przebiegach czasowych. Przebiegi te przedstawiono na rys. 3.16.



Rys. 3.15. Przebiegi czasowe sygnałów czasomierza TOF

Funkcje porównania służą do porównywania dwóch wartości danych tego samego typu przypisanych do wejść I1 i I2. Jeżeli warunek porównania jest spełniony, to na wyjściu Q pojawia się logiczna 1. Symbole funkcji porównania przedstawiono na rys. 3.17.



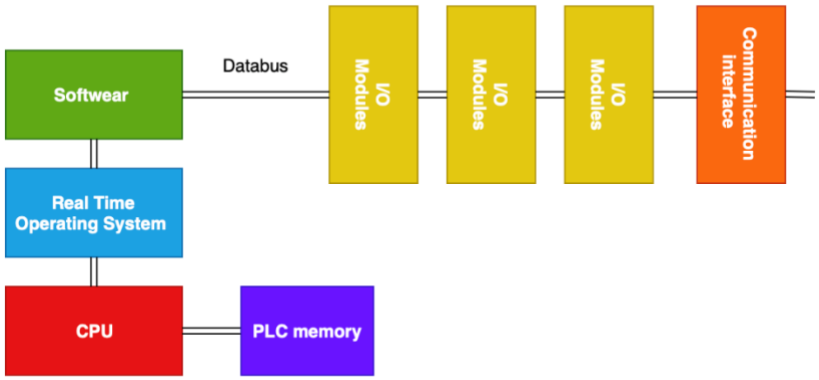
Rys. 3.16. Funkcje porównania z różnymi typami relacji:
a) równy,
b) większy-równy,
c) mniejszy-równy,
d) różny,
e) większy,
f) mniejszy

3.4 Budowa sterownika

Sterownik programowalny (PLC, ang. Programmable Logic Controller) to komputer przemysłowy, który pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywistego wykonuje następujące funkcje:

1. **Zbiera pomiary** za pomocą modułów wejściowych z cyfrowych i analogowych czujników oraz urządzeń pomiarowych;
2. **Wykonuje programy użytkownika,** zawierające zakodowane algorytmy sterowania i przetwarzania danych, przy wykorzystaniu uzyskanych danych o sterowanym procesie lub maszynie;
3. **Generuje sygnały** sterujące, które są odpowiednie do wyników obliczeń programów użytkownika i przekazują je przez moduły wyjściowe do elementów i urządzeń wykonawczych;
4. **Transmituje dane** za pomocą modułów i łączy komunikacyjnych;
5. **Realizuje funkcje diagnostyki** programowej i sprzętowej.

Zgodnie z definicją, sterownik PLC to komputer przemysłowy. Zatem budowa sterownika powinna przypominać budowę komputera. Elementami wspólnymi dla tych dwóch urządzeń są niewątpliwie: mikroprocesor, pamięć RAM i ROM, magistrale, system operacyjny (dla sterowników jest to system czasu rzeczywistego). Dodatkowo sterownik PLC wyposażony jest w układy wejściowe i wyjściowe umożliwiające wymianę informacji między sterownikiem a otoczeniem. Uproszczoną architekturę typowego sterownika programowalnego przedstawiono na rys. 3.17.



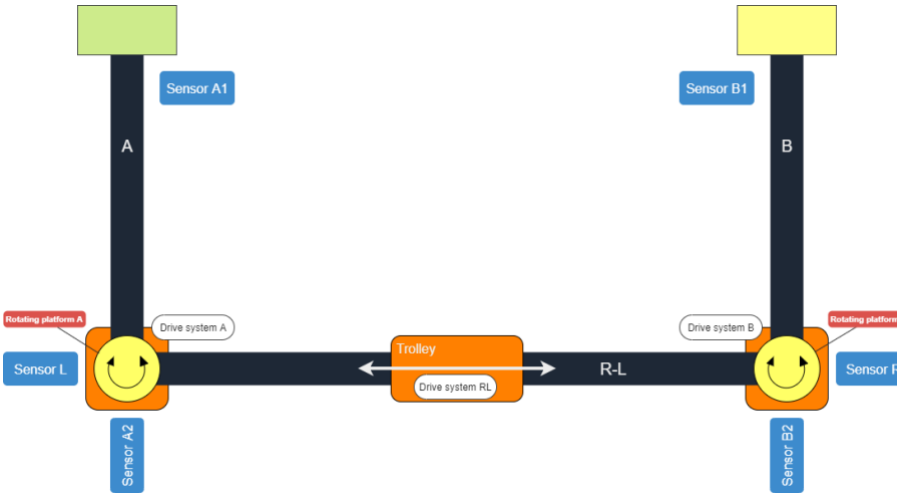
Rys. 3.17: Uproszczona architektura sterownika PLC

3.5 Opis programu

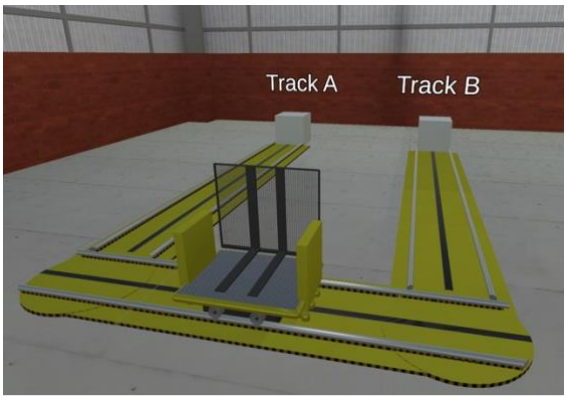
Miejscem realizacji ćwiczeń w tym scenariuszu jest pomieszczenie fabryczne. W pomieszczeniu znajduje się stanowisko z poruszającym się po torach wózkiem oraz tablica symulatora PLC. Widok pomieszczenia przedstawiono na rys. 3.18.

Rys. 3.18. Pomieszczenie fabryczne

Schemat stanowiska przedstawiony jest na rys. 20. Wózek wyposażony jest we własny napęd Drive system RL, który przemieszcza się wraz z nim. Wózek może poruszać się po torach R-L, oraz A i B. Przejazd na sąsiednie tory wymaga obrócenia wózka o 90°. Służą do tego Rotating platform A oraz Rotating platform B. Obydwie obracają się o kąt 90° w obydwu kierunkach. Każda z platform wyposażona jest we własny napęd – odpowiednio: Drive system A i Drive system B. Każdy z torów posiada także czujniki krańcowe: tor A – Sensor A1 i Sensor A2, tor B – Sensor B1 i Sensor B2, oraz tor R-L – Sensor R i Sensor L.



Rys. 3.19. Schemat stanowiska



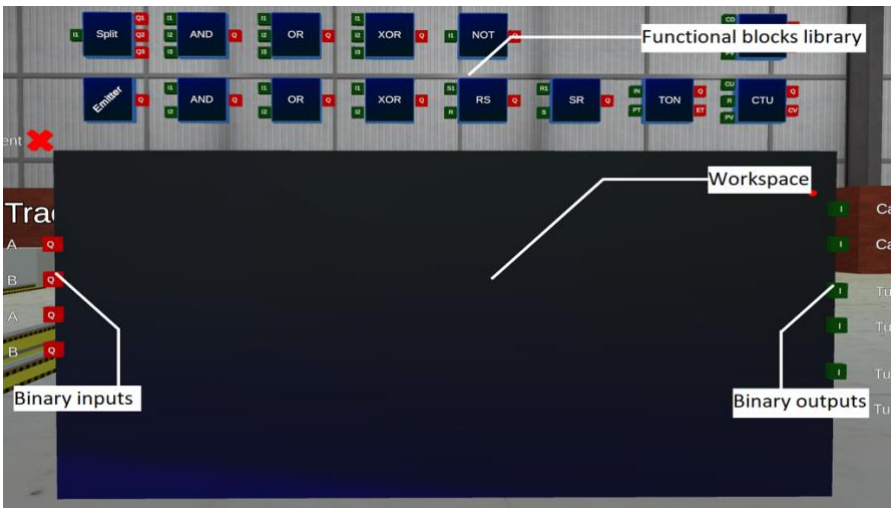
a)

b)

Rys. 3.20.
a) Wygląd stanowiska;
b) Widok z góry

Tablica symulatora PLC składa się z biblioteki bloków funkcyjnych, obszaru roboczego, w którym umieszcza się i łączy bloki tworzące program oraz zacisków wejściowych i wyjściowych. Widok tablicy symulatora PLC przedstawiono na rys. 22. Symulator PLC posiada 4 wejścia i 6 wyjść binarnych. Do wejść podłączone są czujniki: 2 informujące o tym, że wózek znajduje się na platformie obrotowej: Rotating platforma A lub Rotating platforma B, oraz 2 czujniki informujące, że wózek dojechał do końca toru A lub toru B. Wyjścia binarne dają sygnały sterujące do: platform obrotowych –

uruchamiają obrót platform w kierunkach CW i CCW, natomiast 2 wyjścia uruchamiają napęd wózka (w lewo lub w prawo).



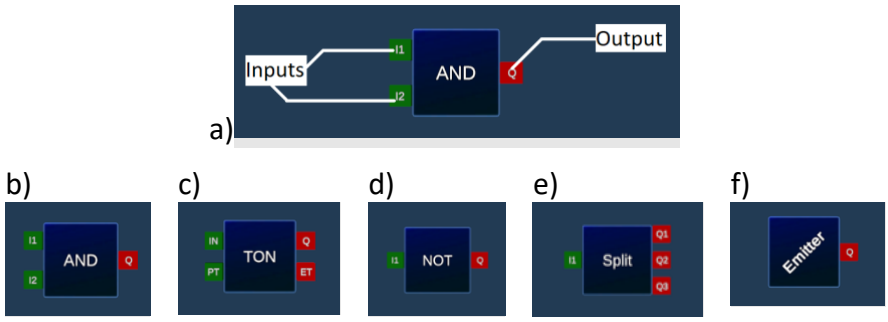
Rys. 3.21. Tablica symulatora PLC

Nad tablicą symulatora PLC znajduje się biblioteka bloków funkcyjnych. Zawiera ona następujące elementy:

- funkcje logiczne AND, OR i XOR,
- blok negujący NOT,
- przerzutniki: SR i RS,
- oraz czasomierz: TON.

Wymienione powyżej elementy występują w wersji z dwoma lub trzema wejściami. Ponadto dostępny jest Split – blok rozdzielający sygnał oraz Emiter – blok ustawiający na wyjściu logiczną „1”.

Symbole przykładowych elementów biblioteki symulatora PLC przedstawiono na rys. 3.22.



Rys. 3.22. Symbole bloków funkcyjnych symulatora PLC:
a) przykład bloku funkcyjnego z 2 wejściami,
b) przykład bloku funkcyjnego z 3 wejściami,
c) czasomierz TON,
d) blok negujący NOT,
e) blok rozdzielający sygnał Split,
f) Emiter

Stworzenie programu sterującego aplikacją przemysłową wymaga wstawienia do obszaru roboczego odpowiednich bloków funkcyjnych i wykonania prawidłowych połączeń pomiędzy nimi. Bloki pobiera się z biblioteki przy pomocy wirtualnej dłoni sterowanej przy pomocy manipulatorów. Pobrany z biblioteki blok należy umieścić w obszarze

roboczym, a następnie połączyć z pozostałymi blokami. Możliwe jest łączenie wyjścia jednego bloku z wejściem kolejnego. Nie można łączyć ze sobą wyjść bloków. Możliwe jest natomiast rozdzielenie sygnału wyjściowego przy pomocy bloku Split. Do uruchomienia programu konieczne jest wstawienie bloku Emiter. Ustawienie wózka w pozycji startowej umożliwia przycisk Reset enviroment znajdujący się obok obszaru roboczego tablicy symulatora PLC.

Scenariusz 3 - Linia sortująca z przenośnikiem taśmowym

4.1. Cel scenariusza

W ostatnich dekadach automatyczne sortowanie stało się ważnym tematem badawczym i rozwojowym. Powstało wiele artykułów naukowych, nowych metod, czujników i siłowników stosowanych dla poprawy efektywności sortowania.
W poniższym ćwiczeniu studenci zapoznają się z procesem recyklingu, którego głównym elementem jest sortowanie. Będą mieli możliwość parametryzacji elektromagnetycznych sensorów i siłowników dla wykorzystania ich w pracy linii sortującej.
W przedsiębiorstwach odpady mieszane najczęściej sortowane są z wykorzystaniem metod konwencjonalnych. Większość odpadów zawiera metal, szkło, papier, plastik oraz materiały biodegradowalne. Mogą być one poddane procesowi recyklingu, którego pierwszym etapem jest sortowanie.
Poprzez samodzielną konfigurację linii sortującej, użytkownik może nauczyć się w jaki sposób można wykorzystać do tego celu udostępnione w ćwiczeniu czujniki i siłowniki.

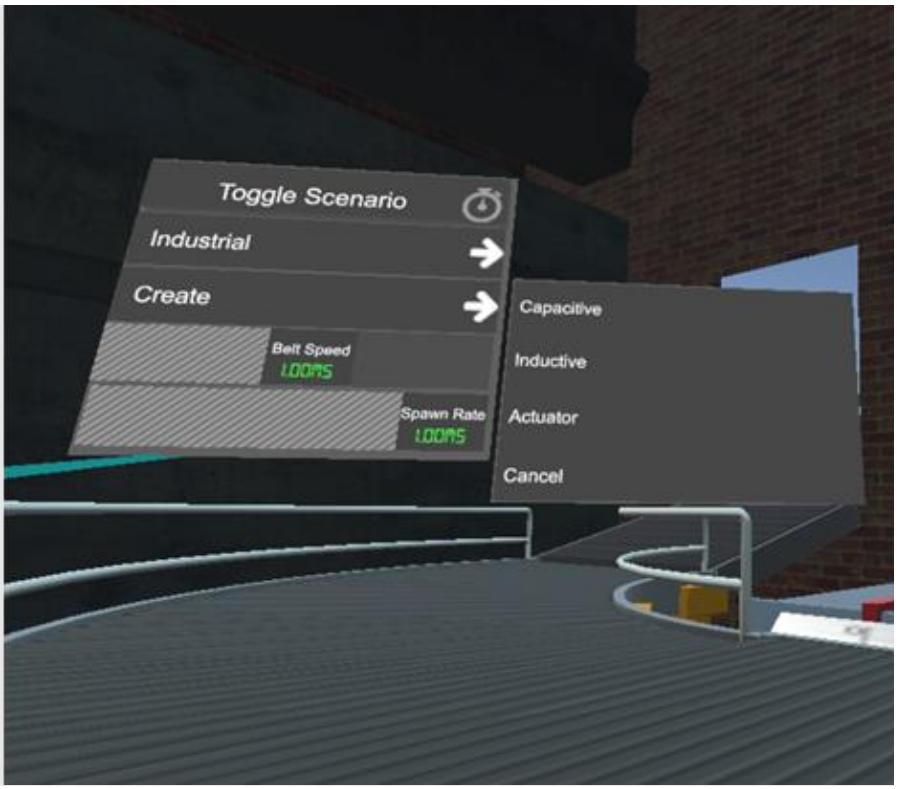
4.2. Wstęp

Zaproponowany scenariusz udostępnia dwie kategorie sortowania: sortowanie odpadów domowych oraz odpadów przemysłowych. Użytkownik dokonuje wyboru rodzaju sortowania w głównym menu (Rys. 4.1). Dodatkowo użytkownikowi udostępniono możliwość regulacji prędkości przenośnika taśmowego oraz definiowania intensywności dostarczania odpadów.
Strzałka w drugim wierszu pozwala na wybranie scenariusza:

- Odpady domowe.
- Odpady przemysłowe.

W scenariuszu dotyczącym odpadów domowych mamy do czynienia z trzema typami materiałów:

- Odpady organiczne;
- Szkło (butelki);
- Plastik (opakowania plastikowe).



Rys. 4.1. Główne menu

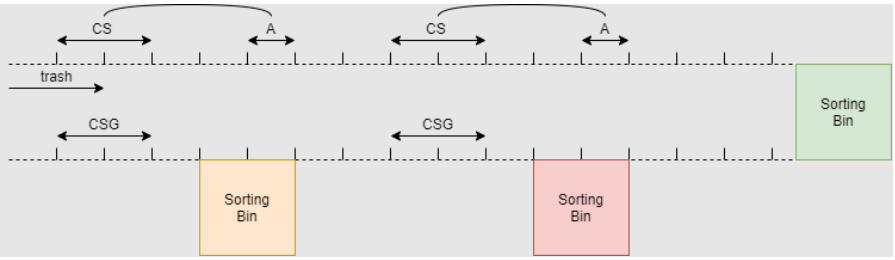
W scenariuszu dotyczącym odpadów przemysłowych mamy do czynienia z trzema typami materiałów:

- Ferromagnetyki i materiały nieprzewodzące.
- Materiały przewodzące i nie ferromagnetyczne (takie jak aluminium i miedź).
- Plastik (plastikowe części silników).

Dla obu przypadków można wykorzystać dwa typy czujników: czujnik indukcyjny i czujnik pojemnościowy. Czujnik indukcyjny jest w stanie rozróżnić obiekty metalowe i ferromagnetyczne, podczas gdy czujnik pojemnościowy dokonuje detekcji odpadów plastikowych, szklanych i organicznych. Gdy czujnik wykryje dany materiał wśród sortowanych odpadów, powinien uruchomić podłączony do niego siłownik tak aby został on wrzucony do odpowiedniego pojemnika. Zadaniem użytkownika jest budowa i konfiguracja linii sortującej. Czas na realizację tego ćwiczenia nie jest limitowany.

4.3. Składanie linii sortującej w wirtualnej rzeczywistości

Czujniki i siłowniki powinny zostać ustawione w ustalonych pozycjach przez użytkownika za pomocą przycisku „Create” w menu głównym (patrz rys. 4.1). Ponieważ wstępnie zdefiniowane gniazda montażowe mają szerokość 20 cm, czujnik indukcyjny o średnicy 20 cm należy umieścić w jednym z predefiniowanych gniazd. Sensor pojemnościowy, którego średnica zawiera się w przedziale 20-60 cm, może zajmować do trzech zasilanych gniazd montażowych po stronie przenośnika taśmowego oraz do trzech uziemionych gniazd po drugiej stronie przenośnika. Siłowniki powinny zostać zamontowane w gniazdach usytuowanych przy odpowiednich pojemnikach na posortowane odpady.
Przykładowa konfiguracja przenośnika taśmowego scenariusza A jest przedstawiona na rysunku 4.2.



Rys. 4.2. Przykładowa konfiguracja przenośnika taśmowego

Po zmontowaniu linii sortującej należy skonfigurować parametry każdego czujnika i siłownika. Aby przejść do edycji parametrów poszczególnych elementów należy je wskazać z wykorzystaniem kontrolera VR.

4.4. Czujnik pojemnościowy

Czujnik pojemnościowy zbudowany jest z dwóch elektrod: jedna jest uziemiona, a druga jest zasilana napięciem przemiennym. Odpad, który zostanie wykryty przez ten czujnik, jest przemieszczany w dielektrycznej przestrzeni pomiędzy jego elektrodami. Różne właściwości dielektryczne odpadów wprowadzają zmiany właściwości dielektrycznych przestrzeni pomiędzy okładzinami czujnika zmieniając jego pojemność C, co w obwodzie prądu przemiennego z łatwością może być wykryte jako zmiana natężenia płynącego przez czujnik prądu (patrz rys. 4.3).

Rys. 4.3. Czujnik pojemnościowy

Wymiary okładzin czujnika (elektrod) mogą być dobrane przez użytkownika spośród udostępnionych: 20, 40 lub 60 cm, tj. zajmuje 1, 2 lub 3 gniazda wzdłuż przenośnika taśmowego.

Poprzez kliknięcie znaku plus na czujniku otwiera się menu danego czujnika.

Użytkownik może w ten sposób ustawić wartość skuteczną (V) oraz częstotliwość napięcia (f), a także wielkość okładzin kondensatora w następujący sposób.

$$10\ \text{kHz} \leq f \leq 20\ \text{MHz}$$

$$100\ \text{mV} \leq V \leq 20\ \text{V}$$

(eq. 1)

Wartość skuteczną prądu czujnika możemy wyznaczyć z równania:

$$\mathrm{I} = \frac{V1}{\left|\frac{1}{j\omega C}\right|} = V2\pi f C \quad [A]$$

(eq. 2)

Wartość skuteczna prądu wykrywanego przez czujnik pojemnościowy mieści się zatem w następującym zakresie:

$$50\ [\mu\text{A}] \leq \mathrm{I} \leq 10\ [\text{mA}].$$

(eq. 3)

Wartości prądu czujnika poniżej 50µA są zbyt niskie i nie podlegają detekcji. Natomiast wartości prądu powyżej 10 mA, mogą doprowadzić do przegrzania a w konsekwencji do uszkodzenia czujnika. Stan przekroczenia dopuszczalnego prądu sygnalizowany jest przez system stanem alarmowym. Czujnik działa poprawnie, jeśli wartości prądu zawarte są w granicach zdefiniowanych w równaniu 3.

4.5. Czujnik indukcyjny

Czujnik indukcyjny jest w stanie wykryć obiekty przewodzące i ferromagnetyki. Zasada jego działania opiera się na prądach wirowych: gdy cewka czujnika jest zasilana prądem zmiennym to w odpadach przewodzących znajdujących się w zasięgu wytwarzanego zmiennego pola magnetycznego wzbudzają się prądy wirowe zaburzające rozkład pola. Zaburzenia te, powodują zmianę reluktacji obwodu magnetycznego czujnika, a zatem jego reaktacji w obwodzie prądu zmiennego. Wprowadzenie przedmiotu przewodzącego w obszar działania czujnika wywołuje zwiększenie reluktacji obwodu magnetycznego natomiast wprowadzenie ferromagnetyka powoduje jej zmniejszenie. Czyli odpowiednio obiekt przewodzący umieszczony przed czujnikiem spowoduje zmniejszenie impedancja cewki, a

ferromagnetyk wzrost impedancja cewki czujnika. Czujnik indukcyjny przedstawiony jest na rysunku 4.4.

Rys. 4.4. Czujnik indukcyjny

Klikając w czujnik, użytkownik otwiera menu, gdzie może ustawić amplitudę i częstotliwość przyłożonego napięcia, które mogą zmieniać się w następujący sposób:

$$10\ \text{kHz} \leq f \leq 1\ \text{MHz}$$

$$100\ \text{mV} \leq V \leq 10\ \text{V}$$

(eq. 4)

Wartość skuteczną prądu czujnika możemy wyznaczyć z równania:

$$I = \frac{V}{|j\omega L|} = \frac{V}{2\pi f L}\ \ [A]$$

(eq. 5)

Prąd wykrywany przez czujnik indukcyjny mieści się w następującym zakresie:

$$50\ [\mu A] \leq I \leq 10\ [mA].$$

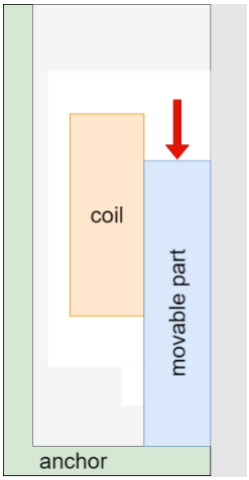
(eq. 6)

Wartości prądu czujnika poniżej 50µA są zbyt niskie i nie podlegają detekcji. Natomiast wartości prądu powyżej 10 mA, mogą doprowadzić do przegrzania, a w konsekwencji do uszkodzenia czujnika. Stan przekroczenia dopuszczalnego prądu sygnalizowany jest

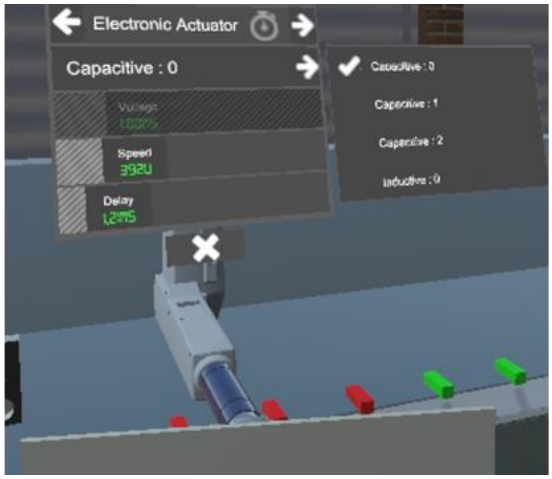
przez system stanem alarmowym. Czujnik działa poprawnie, jeśli wartości prądu zawarte są w granicach zdefiniowanych w równaniu 6.

4.6. Siłownik elektromagnetyczny

Siłownik zbudowany jest z obwodu magnetycznego i cewki. Gdy prąd płynie w cewce, ferromagnetyczna część ruchoma siłownika (na niebiesko, Rys. 4.5a) jest wciągnięty do wnętrza cewki i w rezultacie popychacz (na zielono, Rys. 4.5a) wypycha odpad. Gdy prąd jest wyłączony, ruchoma część wysuwa się z wnętrza cewki za sprawą sprężyny zwrotnej (ruch w dół, Rys. 4.5a) a popychacz zostaje wycofany. Siłownik elektromagnetyczny przedstawiony jest na Rys. 4.5b.



(a)



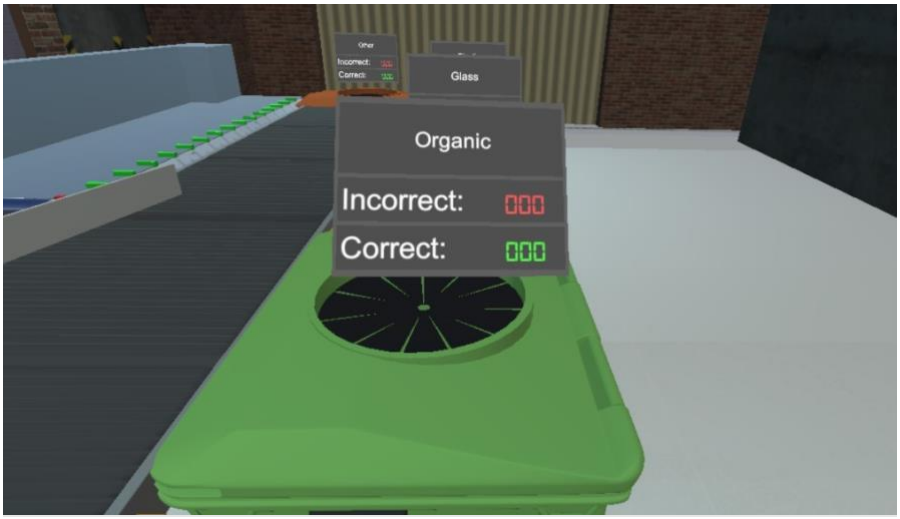
(b)

Rys. 4.5. Siłownik elektromagnetyczny

Podobnie jak w przypadku czujników, użytkownik może otworzyć menu siłownika i dopasować prędkość przesuwania popychacza. Prędkość popychacza wynika bezpośrednio z rozwijanej mocy siłownika, która jest proporcjonalna do kwadratu wartości prądu.
Siłownik należy połączyć z odpowiednim czujnikiem, wybierając jeden z listy utworzonych czujników, jak pokazano na rysunku 4.5b.
Siłownik może wepchnąć odpad do odpowiedniego pojemnika, jeśli prędkość jest ustawiona w prawidłowym zakresie wartości. W przeciwnym razie obiekt zostanie wypchnięty poza pojemnik lub pozostanie na przenośniku taśmowym.
Dla siłownika należy również ustawić odpowiednią wartość opóźnienia zadziałania. Parametr ten należy wyznaczyć na podstawie parametru prędkości przenośnika (patrz menu główne) oraz odległość między zielonymi (lub czerwonymi) słupkami po stronie przenośnika, która wynosi 20 cm.

4.7. Działanie linii sortującej

Po złożeniu i ustawieniu linii sortującej, użytkownik może ją uruchomić: czas trwania tej części ćwiczenia wynosi 2 minuty. Aby aktywować lub wstrzymać działanie linii, użytkownik musi kliknąć „Toggle Scenario” w menu głównym (patrz rys. 4.1). Liczba poprawnie posortowanych śmieci pojawia się na ekranie przy danym pojemniku (patrz ryc. 4.6).



Rys. 4.6. Kosz na odpady organiczne oraz licznik

Załącznik A -HTC Vive: Instrukcja Użytkownika

Wstęp

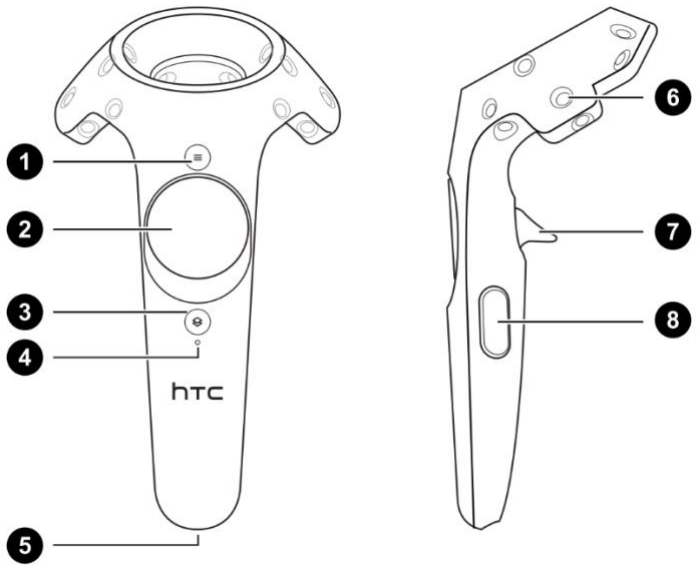
Poniższy rozdział stanowi podstawowy podręcznik użytkowania, konfiguracji i konserwacji zestawu HTC Vive VR. Przewodnik zawiera podstawowe instrukcje, których należy przestrzegać podczas montażu I pierwszego włączania urządzenia. Przewodnik ten oparto na oficjalnym podręczniku użytkownika HTC Vive

https://www.htc.com/managedassets/shared/desktop/vive/Vive

który odpowiednio dostosowano do potrzeb użytkownika aplikacji ViMeLa.

Kontrolery

1. Przycisk menu
2. Gładzik
3. Przycisk systemowy
4. Kontrolka LED
5. Adapter ładowania USB
6. Czujnik śledzenia
7. Spust
8. Przycisk uchwytu



Rys. A.1. Kontroler Vive

Uruchamianie

Aby włączyć kontroler naciśnij i przytrzymaj przycisk systemowy, aż usłyszysz sygnał dźwiękowy. Postępuj w ten sam sposób, aby wyłączyć kontroler. Jeśli włączasz kontrolery po raz pierwszy, powinny się automatycznie sparować z hełmem VR. Aby ręcznie sparować kontrolery, uruchom aplikację SteamVR, a następnie przejdź do
Ustawienia -> Urządzenia -> Sparuj kontrolery
(Settings ⇒ Devices ⇒ Pair Controller)

Kontrolka

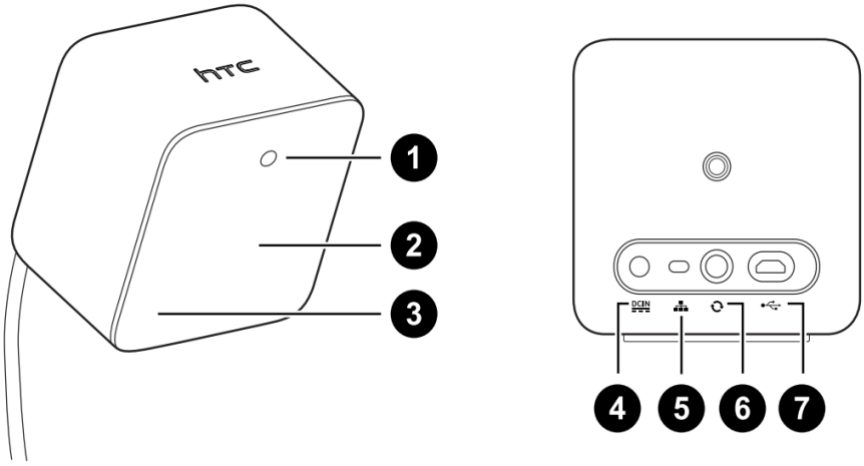
1. Białe światło - kontroler jest w pełni naładowany.
2. Światło miga na niebiesko - kontrolery parują się z hełmem VR.
3. Światło niebieskie - kontroler jest sparowany.
4. Światło miga na czerwono - kontroler jest rozładowany.
5. Światło pomarańczowe - kontroler jest w trakcie ładowania.
6. Światło zielone - kontroler jest aktywny

Użytkowanie

Aby poruszać się w środowisku VR, skieruj kontroler w wybrane miejsce menu i naciśnij spust.
Gładzik może także służyć do poruszania się w VR. Przytrzymując gładzik wyświetlisz wskaźnik teleportacji. Naciśnięcie gładzika powoduje teleportację użytkownika do wybranej lokalizacji.
Za pomocą przycisku systemowego można przejść do głównego menu aplikacji SteamVR z dowolnego miejsca. Po dwukrotnym kliknięciu przycisku systemowego, Menu SteamVR nie wyświetli się na ekranie monitora - widoczne będzie tylko dla użytkownika hełmu VR.

Stacje bazowe

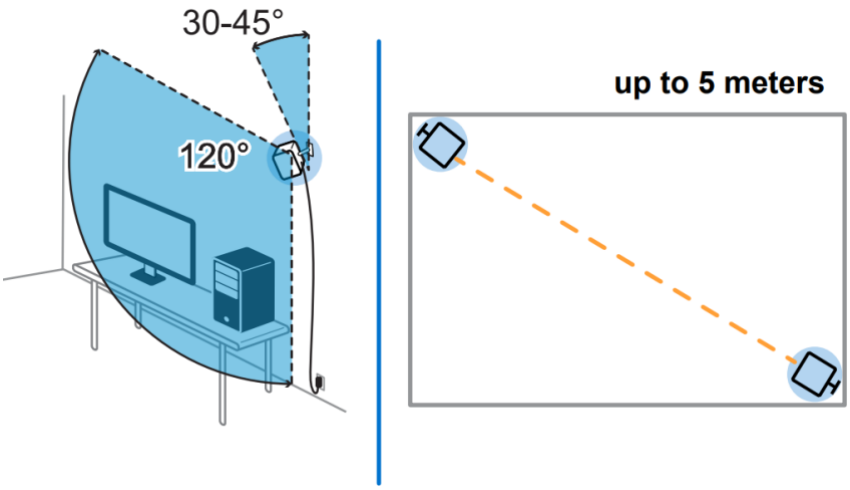
1. Kontrolka LED
2. Obiektyw LED
3. Wskaźnik kanału
4. Port zasilania
5. Przycisk wyboru kanału
6. Port synchronizacji przewodowej
7. Port USB



Rys. A.2. Stacja bazowa Vive

Instalacja

Ustaw stacje bazowe po przekątnej pokoju i powyżej wysokości użytkowników. Aby zapewnić prawidłowe śledzenie, upewnij się, że maksymalna odległość między dwiema stacjami bazowymi zawarta jest w granicach od 2 do 5 metrów. Każda stacja bazowa ma kąt widzenia 120 stopni. Zaleca się, aby były one ustawione pod kątem od 30 do 45 stopni względem kierunku pionowego.



Rys. A.3.

Uruchamianie

Po podłączeniu kabli zasilających do stacji bazowych, naciśnij przyciski kanału znajdujące się z tyłu stacji bazowych tak, aby jedna stacja bazowa była pracowała na kanale „b”, a druga na kanale „c”.

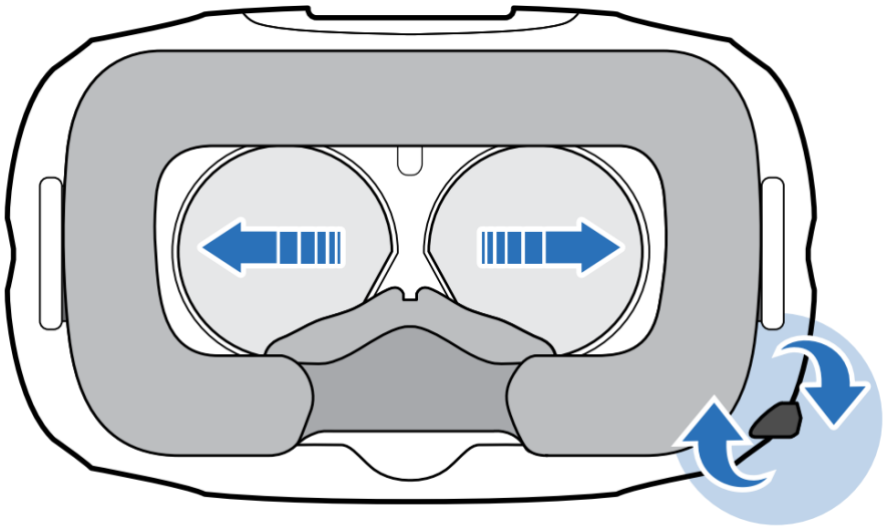
Kontrolka

1. Zielona - stacja bazowa jest aktywna.
2. Migająca zielona - stan czuwania.
3. Fiolet - stacje bazowe próbują się zsynchronizować.
4. Migający fiolet - synchronizacja jest zablokowana

Hełm VR

Dopasowanie soczewek

Aby dopasować soczewki do odległość między źrenicami użytkownika użyj pokrętła w lewym dolnym rogu hełmu VR.



Rys. A.4.

Czyszczenie piankowej poduszki

Aby wyczyścić piankową poduszkę hełmu VR, oderwij ją z obu stron. Następnie wytrzyj poduszkę wilgotną, gładką ściereczką i wysusz w temperaturze pokojowej. Nie zanurzaj, nie mocz, nie szoruj, nie wykręcaj ani nie wybielaj poduszki.

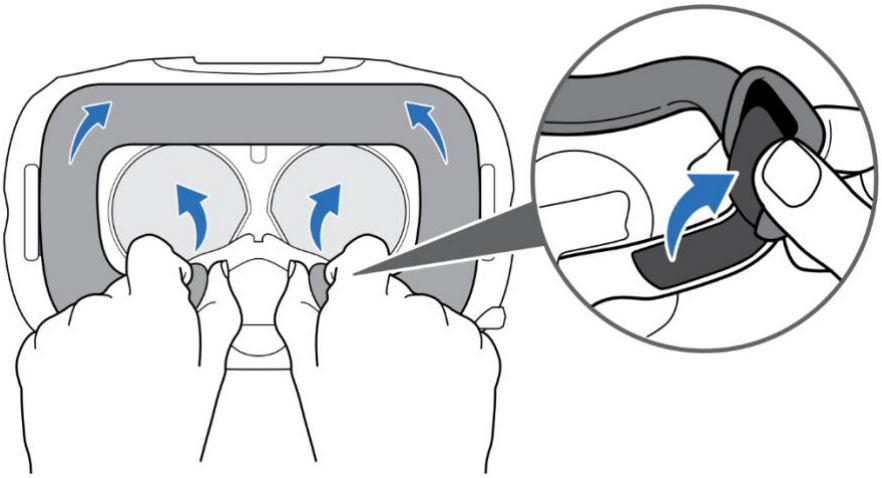


Figure A.5.

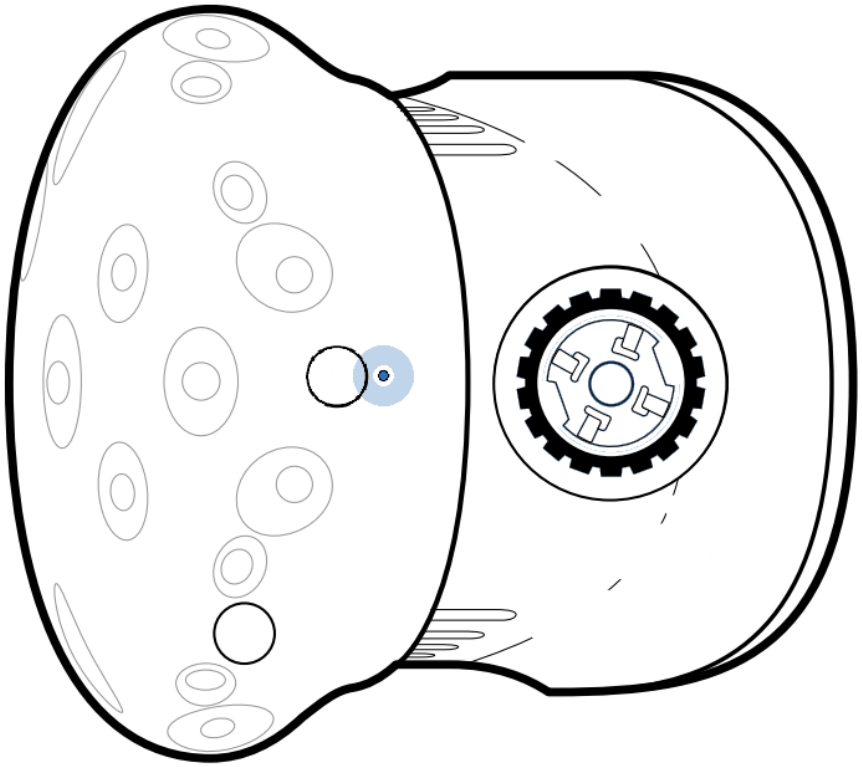
Czyszczenie soczewek

Aby wyczyścić soczewki hełmu VR, przetrzyj je ściereczką z mikro fibry nasączoną alkoholem (lub środkiem do czyszczenia soczewek) okrężnymi ruchami. Nie wystawiaj soczewek na bezpośrednie działanie promieni słonecznych, ponieważ może to spowodować uszkodzenie wyświetlacza.

Rys. A.6.

Kontrolka świetlna

1. Zielona - hełm VR jest aktywny.
2. Migająca zielona - stan czuwania.
3. Czerwona - błąd kabla lub wyświetlacza

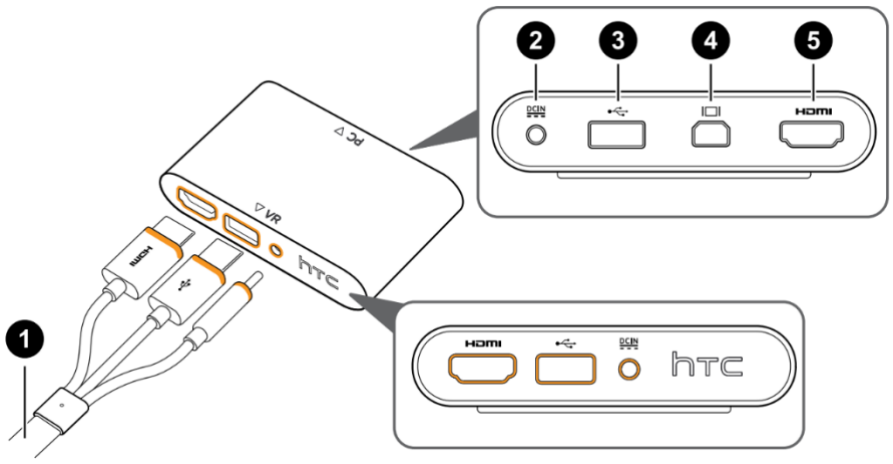


Rys. A.7.

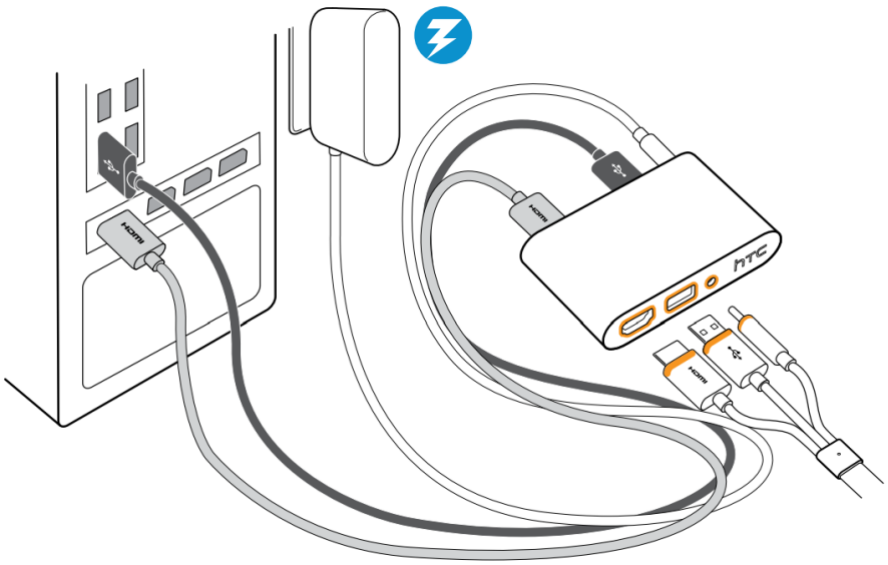
Hub przyłączeniowy zestawu (Link box)

Podłącz hełm VR do komputera za pomocą huba i odpowiednich kabli.
Hełm jest zasilany bezpośrednio z huba.

1. Kabel hełmu VR
2. Port zasilania
3. Port USB
4. Port Mini Display
5. Port HDMI



Rys. A.8.



Rys. A.9.

Konfiguracja SteamVR

Aby móc korzystać z urządzenia HTC Vive, musisz zdefiniować obszar, w którym będzie poruszał się użytkownik.

Aby rozpocząć, pobierz i zainstaluj aplikację Steam ze stron http://store.steampowered.com/. Aby to zrobić, musisz utworzyć konto Steam.

Jeśli posiadasz już aplikację Steam, za jej pomocą zainstaluj aplikację SteamVR. W aplikacji SteamVR rozpocznij proces konfiguracji pomieszczenia (Run Room Setup -> Room-scale) i podążaj za instrukcjami pojawiającymi się na ekranie.