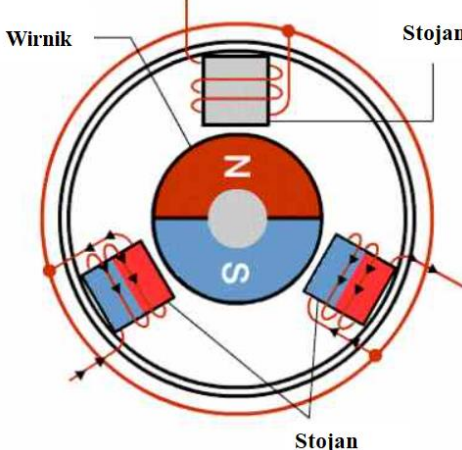
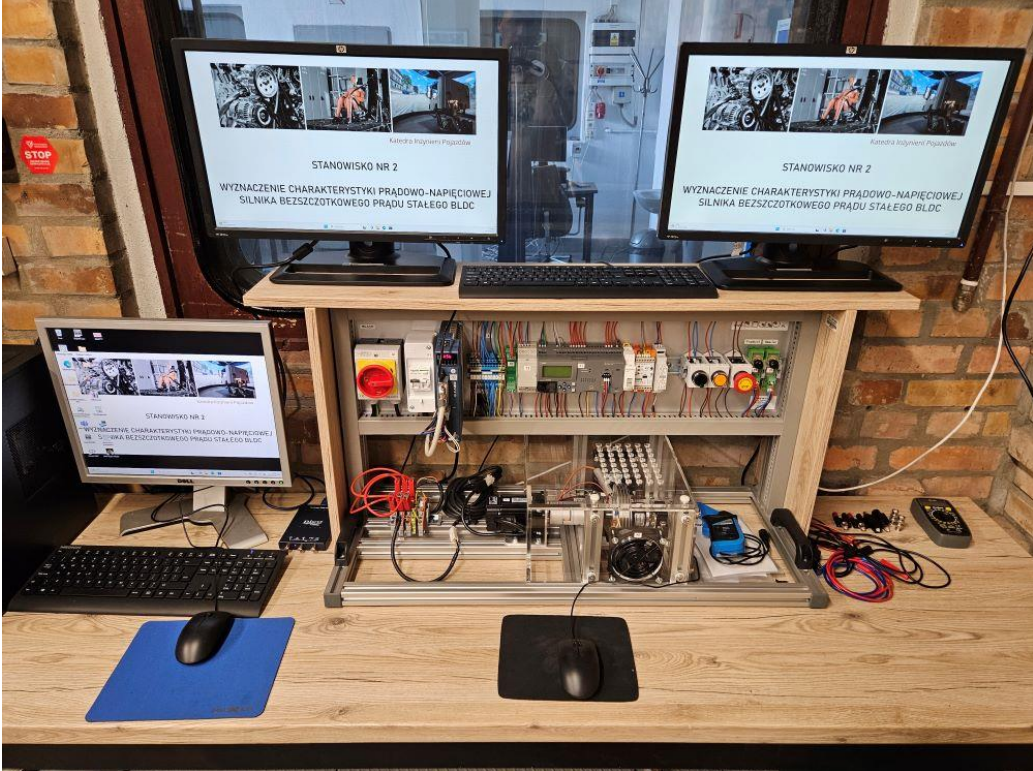




Nr ćw.	Układy napędowe elektryczne i hybrydowe
2	Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej silnika bezszczotkowego prądu stałego BLDC

1.	Wprowadzenie teoretyczne
	<p>Silniki BLDC (BLDC, ang. brushless) Jak sama nazwa wskazuje, bezszczotkowe silniki prądu stałego nie używają szczotek (W przypadku silników szczotkowych szczotki dostarczają prąd przez komutator do cewek na wirniku)</p> <p>Silniki BLDC, podobnie jak wszystkie silniki prądu stałego, wytwarzają ruch obrotowy lub inny ruch poprzez oddziaływanie dwóch pól magnetycznych: elektromagnesu i magnesu stałego. Połączenie tych dwóch elementów w taki sposób, że przyciągają się i odpychają, powoduje ruch obrotowy. Silnik BLDC zwykle składa się ze stojana, który zawiera wiele uzwojeń tworzących elektromagnesy. Obrotowa część silnika, czyli wirnik, zawiera magnesy trwałe, które oddziałują z uzwojeniami, wywołując ruch. Aby wytworzyć ruch, seria impulsów jest przykładana do uzwojeń stojana w określonej kolejności. Gdy pola magnetyczne zmieniają się i oddziałują z wirnikiem, wytwarzany jest ruch. Liczba uzwojeń stojana i liczba magnesów trwałych (par biegunów) w wirniku różnią się w zależności od wielkości i typu BLDC. Im więcej par stojanów i biegunów, tym wyższy moment obrotowy może wygenerować wirnik. Większość silników BLDC zwykle wykorzystuje trzy grupy uzwojeń do wytwarzania sekwencji impulsów, które oddziałują z magnesami wirnika i zapewniają zdolność rotacji [1]. Schemat silnika przedstawiono na rysunku 1.</p>  <p>Rys.1. Schemat silnika BLDC [1]</p> <p>Silnik bezszczotkowy prądu stałego ma zwykle sprawność 85-90%, podczas gdy silniki szczotkowe osiągają zwykle sprawność ok. 75-80%. Są ciche, lżejsze i mają znacznie dłuższą żywotność. Silniki BLDC mają wiele konkretnych zalet w porównaniu z innymi typami silników elektrycznych.</p> <p>Ze względu na swoją wydajność i długowieczność są szeroko stosowane w urządzeniach pracujących w trybie ciągłym. Od dawna są używane w pralkach, klimatyzatorach i innej elektronice użytkowej; a od niedawna pojawiają się w wentylatorach, gdzie ich wysoka sprawność przyczyniła się do znacznego zmniejszenia zużycia energii. Silniki bezszczotkowe stosowane są również w elektromobilności. Używa się ich jako element napędowy w samochodach elektrycznych a także w rowerach, hulajnogach, skuterach, motocyklach i wielu innych pojazdach transportu osobistego [2].</p>

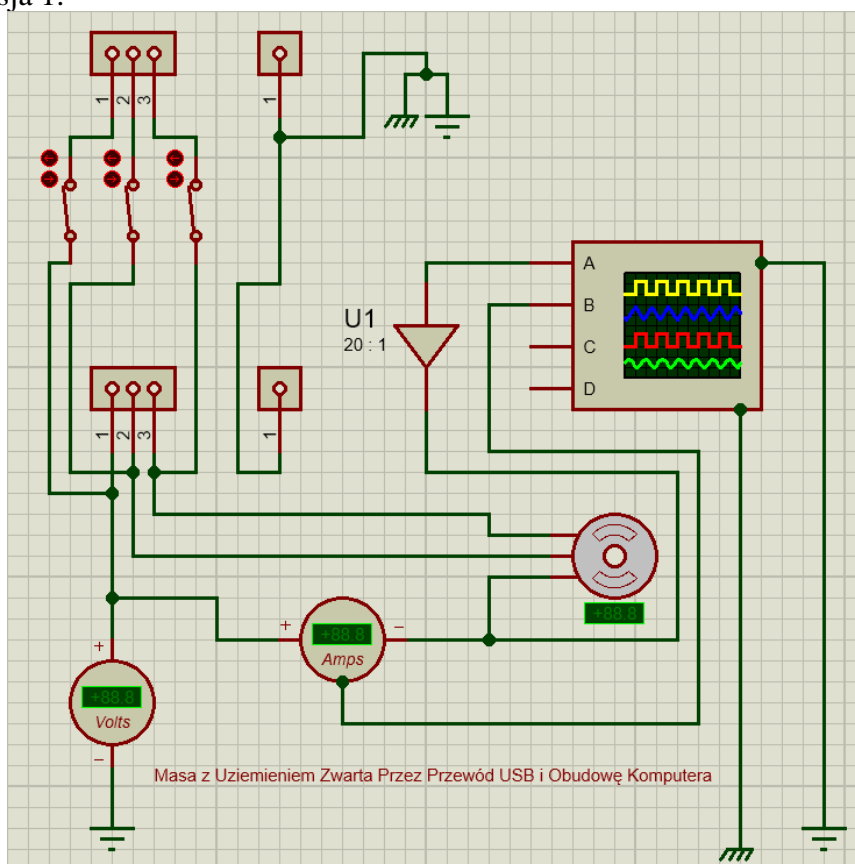
	<p>Przydatna literatura:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Krykowski K., Silniki PM BLDC właściwości sterowanie aplikacje. Wydawnictwo BTC, Legionowo 20152. Makiela D., Wysokoobrotowe silniki BLDC. SPATIUM Instytut Naukowo-Wydawniczy, 20203. GLINKA T., Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 200. <p>Przydatne materiały:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Brushless Motor - How they work BLDC ESC PWM The Engineering Mindset https://www.youtube.com/watch?v=yiD5nCfmbV02. BLDC Silnik bezszczotkowy https://www.youtube.com/watch?v=wUcCgnhnyB8 <p>Bibliografia:</p> <p>[1] https://www.ebmia.pl [2] https://ultrarobotics.pl</p>
2.	Aparatura pomiarowa i przyrządy
	<ol style="list-style-type: none">1. zespół silnika z hamulcem2. oscyloskop3. multimetr4. sonda cęgowa – prądowa5. sterownik silnika6. tłumik sygnału
3.	Stanowisko pomiarowe/badawcze
	

4. Przebieg ćwiczenia

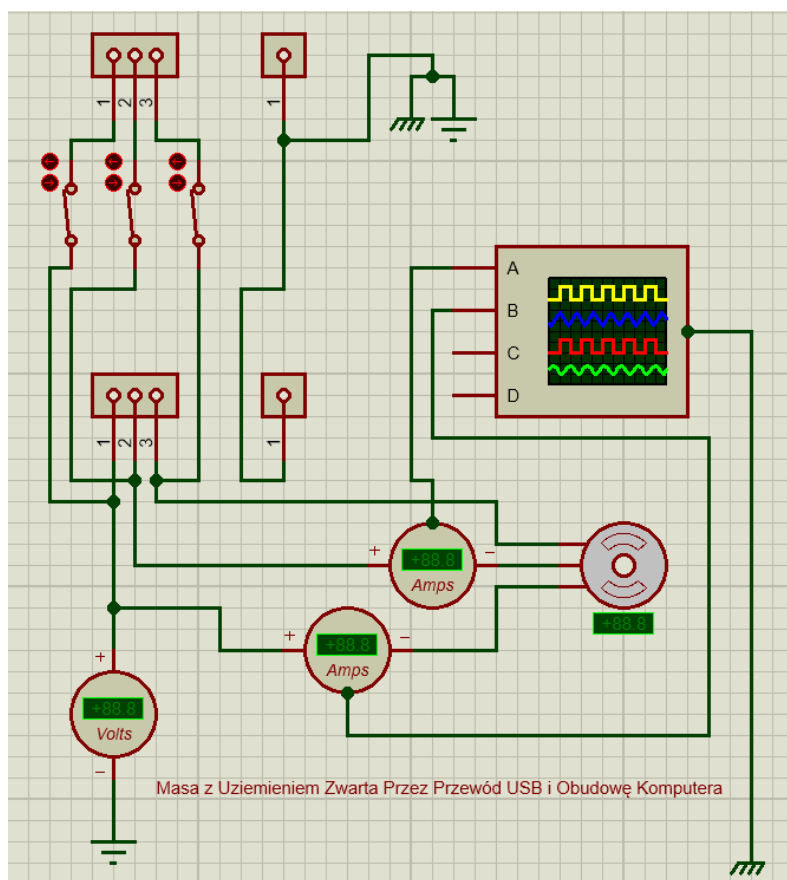
Część 1. Wykonanie charakterystyki prądowo-napięciowej i weryfikacja stopnia wypełnienia impulsu

1. Skompletowanie elementów stanowiska niezbędnych do wykonania pomiarów
2. Uruchomienie oprogramowania na komputerach:
 - stanowiska – MD537T,
 - oscyloskopu – PicoScope7
3. Podłączenie przewodów i przyrządów wg schematu (wariant schematu wskazuje Prowadzący).

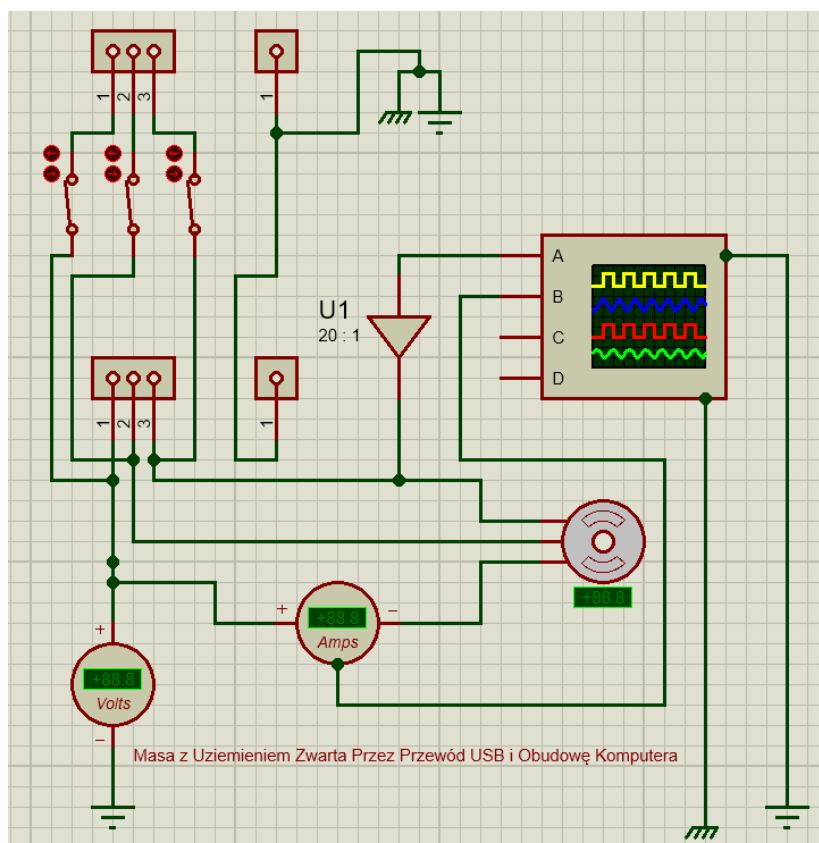
Wersja 1.



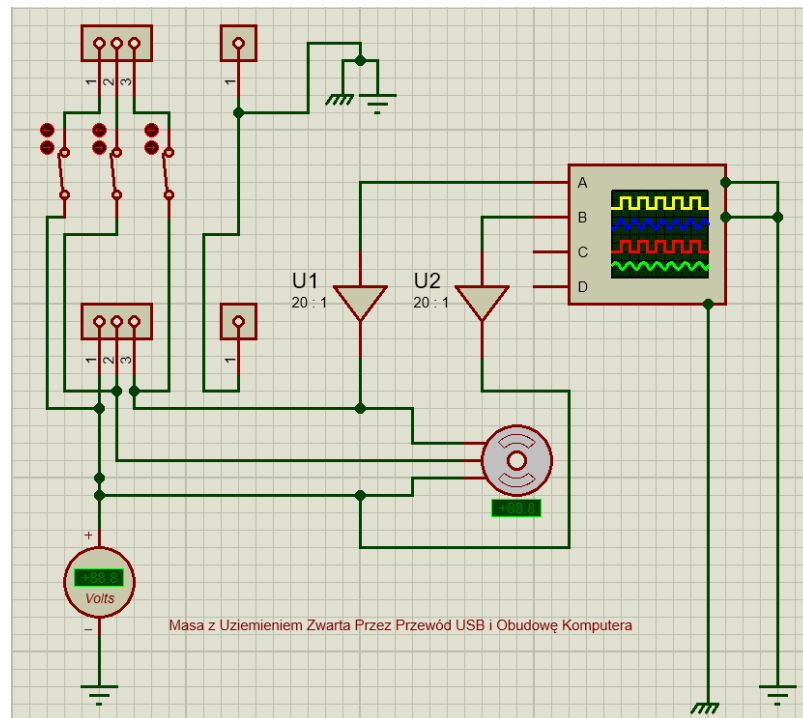
Wersja 2.



Wersja 3.



Wersja 4.



4. Zerowanie sondy przy wyłączonym zasilaczu
5. Włączenie multimetru kontrolnego i wybranie prawidłowego zakresu pomiarowego
6. Weryfikacja połączeń przez prowadzącego (!)
7. Uruchomienie stanowiska
8. Wykonanie pomiarów zgodnie z protokołem (pkt. 5) – charakterystyka prądowa i weryfikacja stopnia wypełnienia impulsu
9. Wyłączenie stanowiska

Część 2. Weryfikacja przesunięcia faz napięcia

10. Przebrojenie układu w celu weryfikacji przesunięcia faz napięcia (wg schematu numer 2)
11. Weryfikacja połączeń przez prowadzącego (!)
12. Ustawienie oprogramowania w celu wykonania pomiaru
13. Pomiar przesunięcia wykresów prądu
14. Zakończenie pomiarów i wyłączenie przyrządów w odwrotnej kolejności do włączania

Część 3. Weryfikacja ilości cykli pełnego obrotu silnika

15. Ustawienie wybranej prędkości silnika
16. Obliczenie czasu wykonania pełnego obrotu silnika
17. Pomiar ilości pełnych cykli zmiany prądu, w okresie jednego obrotu silnika (Do wygładzenia przebiegu można użyć funkcji rozszerzenia bitowego procesora DSP)

5.	Protokół pomiarowy																																																																																																																																																																								
	<p>Część 1. Wykonanie pomiarów zgodnie z protokołem dla trzech różnych charakterystyk dla stałej prędkości obrotowej</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Prędkość obrotowa silnika</th> <th>Moment obrotowy</th> <th>Moc silnika</th> <th>Natężenie prądu w silniku (sonda B)</th> <th>Napięcie w silniku (sonda A)</th> <th>Moc silnika (A*B)</th> <th>Strata mocy w silniku (do wyliczenia)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>obr/s</td> <td>Nm</td> <td>W</td> <td>mA</td> <td>V</td> <td>W</td> <td>W</td> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Prędkość obrotowa silnika</th> <th>Moment obrotowy</th> <th>Moc silnika</th> <th>Natężenie prądu w silniku (sonda B)</th> <th>Napięcie w silniku (sonda A)</th> <th>Moc silnika (A*B)</th> <th>Strata mocy w silniku (do wyliczenia)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>obr/s</td> <td>Nm</td> <td>W</td> <td>mA</td> <td>V</td> <td>W</td> <td>W</td> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Prędkość obrotowa silnika</th> <th>Moment obrotowy</th> <th>Moc silnika</th> <th>Natężenie prądu w silniku (sonda B)</th> <th>Napięcie w silniku (sonda A)</th> <th>Moc silnika (A*B)</th> <th>Strata mocy w silniku (do wyliczenia)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>obr/s</td> <td>Nm</td> <td>W</td> <td>mA</td> <td>V</td> <td>W</td> <td>W</td> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Lp.	Prędkość obrotowa silnika	Moment obrotowy	Moc silnika	Natężenie prądu w silniku (sonda B)	Napięcie w silniku (sonda A)	Moc silnika (A*B)	Strata mocy w silniku (do wyliczenia)		obr/s	Nm	W	mA	V	W	W	1.								2.								3.								4.								5.								Lp.	Prędkość obrotowa silnika	Moment obrotowy	Moc silnika	Natężenie prądu w silniku (sonda B)	Napięcie w silniku (sonda A)	Moc silnika (A*B)	Strata mocy w silniku (do wyliczenia)		obr/s	Nm	W	mA	V	W	W	1.								2.								3.								4.								5.								Lp.	Prędkość obrotowa silnika	Moment obrotowy	Moc silnika	Natężenie prądu w silniku (sonda B)	Napięcie w silniku (sonda A)	Moc silnika (A*B)	Strata mocy w silniku (do wyliczenia)		obr/s	Nm	W	mA	V	W	W	1.								2.								3.								4.								5.							
Lp.	Prędkość obrotowa silnika	Moment obrotowy	Moc silnika	Natężenie prądu w silniku (sonda B)	Napięcie w silniku (sonda A)	Moc silnika (A*B)	Strata mocy w silniku (do wyliczenia)																																																																																																																																																																		
	obr/s	Nm	W	mA	V	W	W																																																																																																																																																																		
1.																																																																																																																																																																									
2.																																																																																																																																																																									
3.																																																																																																																																																																									
4.																																																																																																																																																																									
5.																																																																																																																																																																									
Lp.	Prędkość obrotowa silnika	Moment obrotowy	Moc silnika	Natężenie prądu w silniku (sonda B)	Napięcie w silniku (sonda A)	Moc silnika (A*B)	Strata mocy w silniku (do wyliczenia)																																																																																																																																																																		
	obr/s	Nm	W	mA	V	W	W																																																																																																																																																																		
1.																																																																																																																																																																									
2.																																																																																																																																																																									
3.																																																																																																																																																																									
4.																																																																																																																																																																									
5.																																																																																																																																																																									
Lp.	Prędkość obrotowa silnika	Moment obrotowy	Moc silnika	Natężenie prądu w silniku (sonda B)	Napięcie w silniku (sonda A)	Moc silnika (A*B)	Strata mocy w silniku (do wyliczenia)																																																																																																																																																																		
	obr/s	Nm	W	mA	V	W	W																																																																																																																																																																		
1.																																																																																																																																																																									
2.																																																																																																																																																																									
3.																																																																																																																																																																									
4.																																																																																																																																																																									
5.																																																																																																																																																																									
6.	Opracowanie wyników																																																																																																																																																																								
	<ul style="list-style-type: none"> - Wykonanie wykresów z wykonanych badań - Wykonanie wymaganych obliczeń 																																																																																																																																																																								
7.	Wymagania do sprawozdania																																																																																																																																																																								
	<p>Sprawozdanie z laboratorium w formie papierowej zawierającej:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tytuł laboratorium, - imiona i nazwiska osób realizujących pomiary, - protokół (tabela) z wynikami, - wykresy z komentarzami, - wnioski 																																																																																																																																																																								
Prowadzący kurs	Lista prowadzących dany kurs Monika Andrych-Zalewska Adam Kamiński	Maile do prowadzących monika.andrych@pwr.edu.pl adam.kaminski@pwr.edu.pl																																																																																																																																																																							
Data aktualizacji instrukcji	10.10.2024																																																																																																																																																																								