



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

Upravljanje električnim vozilom

PROJEKTNI ZADATAK
- DRUGI CIKLUS STUDIJA -

Student:
Vedad Halimić

Mentor:
V. prof. dr Senad Huseinbegović.

Sarajevo, septembar 2021.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Motor	1
1.2	Papučica gasa	1
1.3	Pretvarač	3
1.3.1	Pinovi energetskog pretvarača	3
1.4	Upravljanje motorom	4
1.5	Konfiguracija parametara pretvarača	7
1.6	Operacija identifikacije ugla	7
1.7	Model vozila	9
	Prilozi	11
A	8000W DC Brushless Car Motor Datasheet	12
B	Control Box	16
	Literatura	18

Poglavlje 1

Uvod

U ovom radu je predstavljeno upravljanje električnim vozilom (slika 1.1) sa pogonom na sva četiri točka. Proizvođač motora je kompanija *QSMOTOR*. Snaga motora je 8000W, a standardni napon napajanja iznosi 72V. Svaki od motora je spojen na odgovarajući pretvarač/invertor. Motori su trofazni i sadrže dva seta Hallovih senzora za određivanje brzine i pozicije. Datasheet motora je dat u prilogu A, a dokumentacija pretvarača *KLS7275H* u [1]. Razvoj upravljačkog prototipa će biti realiziran pomoću dSpace sistema.

1.1 Motor

Motor je trofazni sa 16 pari polova, nominalne snage 8000W. Za mjerenje brzine i pozicije motora, dostupna su dva seta Hallovih senzora. Moguće je mjeriti i temperaturu motora pomoću temperaturnog senzora *KTY83/122*. Motor sadrži dva konektora, čiji pinovi odgovaraju pinovima na *DJ7061Y-2.3-21* konektoru energetskog pretvarača. Svaki od konektora daje informacije sa Hallovog i temperaturnog senzora.

1.2 Papučica gasa

Brzinu motora je moguće zadavati pomoću papučice gasa. Model koji je odabran ima serijski broj *JKH-005-A-65*. Prema specifikaciji proizvođača *SAYOO*, datoj u [2], dužina kabla spojenog na kočnicu iznosi 65cm. U kابلu se nalazi 5 žica raspoređenih na dva konektora - jedan sa tri, drugi sa četiri žice. Raspon ulaznog i izlaznog napona papučice gasa iznosi od 0 do 5V. Ovaj element se konceptualno ponaša kao otpornik sa klizačem koji je spojen na napon napajanja. Izlazni napon otpornika ovisi o položaju klizača, odnosno u ovom slučaju - položaja papučice gasa. Pinovi, prikazani na slici (1.2), imaju funkcije date u nastavku.

- (1) - plus napon napajanja (5V)
- (2) - minus napon napajanja (0V, masa)
- (3) - izlazni napon
- (4) - izlazni kontakt prekidača
- (5) - ulazni kontakt prekidača



Slika 1.1: Električno 4x4 vozilo

JKH-□□5-A		
1 Red		
2 Black		
3 Green		
	DJ7031-6.3-21	DJ7021-6.3-21
	Port definition	Wiring diagram
Blue	5-Switch input	
Yellow	4-Switch output	
Green	3-Hall output signal	
Black	2-GND	
Red	1-Hall input voltage	

Slika 1.2: Pinovi papučiće gasa

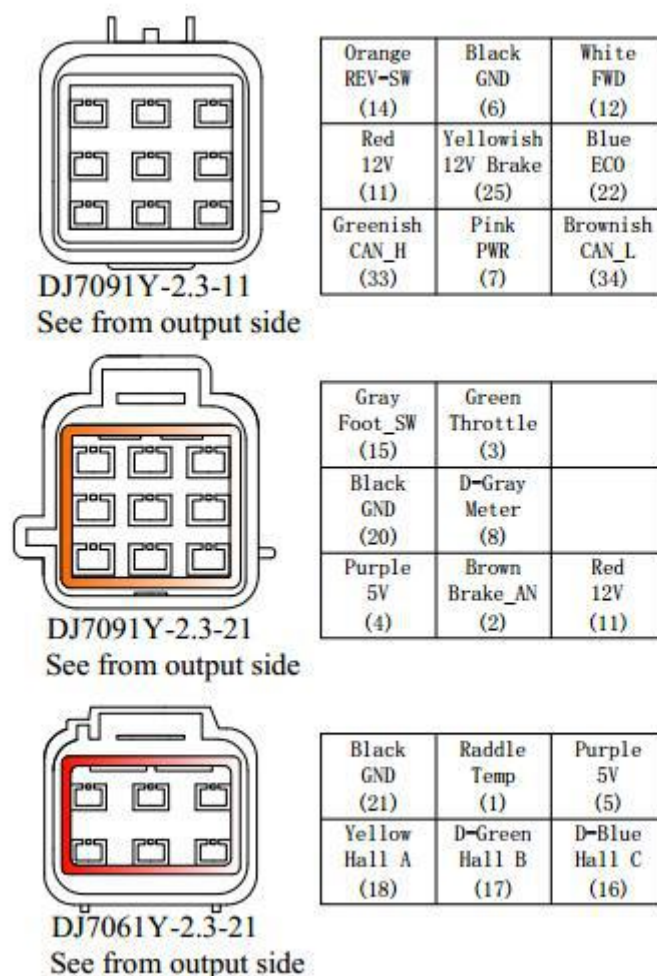
1.3 Pretvarač

Energetski pretvarač *KLS7275H* proizvođača *Kelly* sadrži 5 digitalnih ulaza: prekidače za gas i kočnicu, prekidače za kretanje naprijed i nazad, te prekidač za *boost* način rada. Dostupna su 3 analogna ulaza: gas, kočnica i temperatura motora. Opseg ulaznog napona može varirati od 0 do 5V. Za upravljanje je moguće koristiti i palicu (*engl. joystick*), pri čemu pozicija palice određuje zadanu brzinu i smjer kretanja. *Cruise* režim rada, koji je također dostupan, podrazumijeva zadržavanje zadane brzine vrtnje motora sve dok se ne zada nova brzina ili aktivira kočnica. Pretvarač podržava povezivanje putem *CAN* mreže.

1.3.1 Pinovi energetskog pretvarača

KLS7275H kontroler posjeduje tri konektora prikazana na slici (1.3) i 22 pina. Pored standardnih pinova za napajanje, pretvarač posjeduje pinove za prikupljanje informacija sa motora (Hallow senzor i temperaturni senzor), kao i pinove za definiranje smjera i brzine vrtnje motora. Žica spojena na odgovarajući pin je označena jedinstvenom bojom i brojem. Funkcije pinova su date u nastavku.

- Konektor *DJ7091Y-2.3-11*
 - (14) REV-SW - prekidač za kretanje nazad
 - (6) GND - minus napona napajanja, povratni signal, masa
 - (12) FWD - prekidač za kretanje naprijed
 - (11) 12V - naponski izvor od 12V
 - (25) 12V Brake - ručna kočnica
 - (22) ECO - prekidač za štedljivi način rada
 - (33) CAN-H - *high* pin za CAN komunikaciju
 - (7) PWR - plus napona napajanja pretvarača
 - (34) CAN-L - *low* pin za CAN komunikaciju
- Konektor *DJ7091Y-2.3-21*
 - (15) FOOT-SW - prekidač za gas
 - (3) Throttle - analogni ulaz za gas (0 – 5V)
 - (20) GND - minus napon napajanja, povratni signal, masa
 - (8) Meter - kopija signala sa Hallowog senzora
 - (4) 5V - naponski izvor od 5V
 - (2) Brake-AN - *boost* funkcija ili analogni ulaz za regenerativni tip kočenja
 - (11) 12V - naponski izvor od 12V
- Konektor *DJ7061Y-2.3-21*
 - (21) GND - minus napon napajanja, povratni signal, masa
 - (1) Temp - temperatura motora
 - (5) 5V - naponski izvor od 5V



Slika 1.3: Pinovi Kelly KLS7275H pretvarača

- (18) Hall A - signal Hallovog senzora za fazu A
- (17) Hall B - signal Hallovog senzora za fazu B
- (16) Hall C - signal Hallovog senzora za fazu C

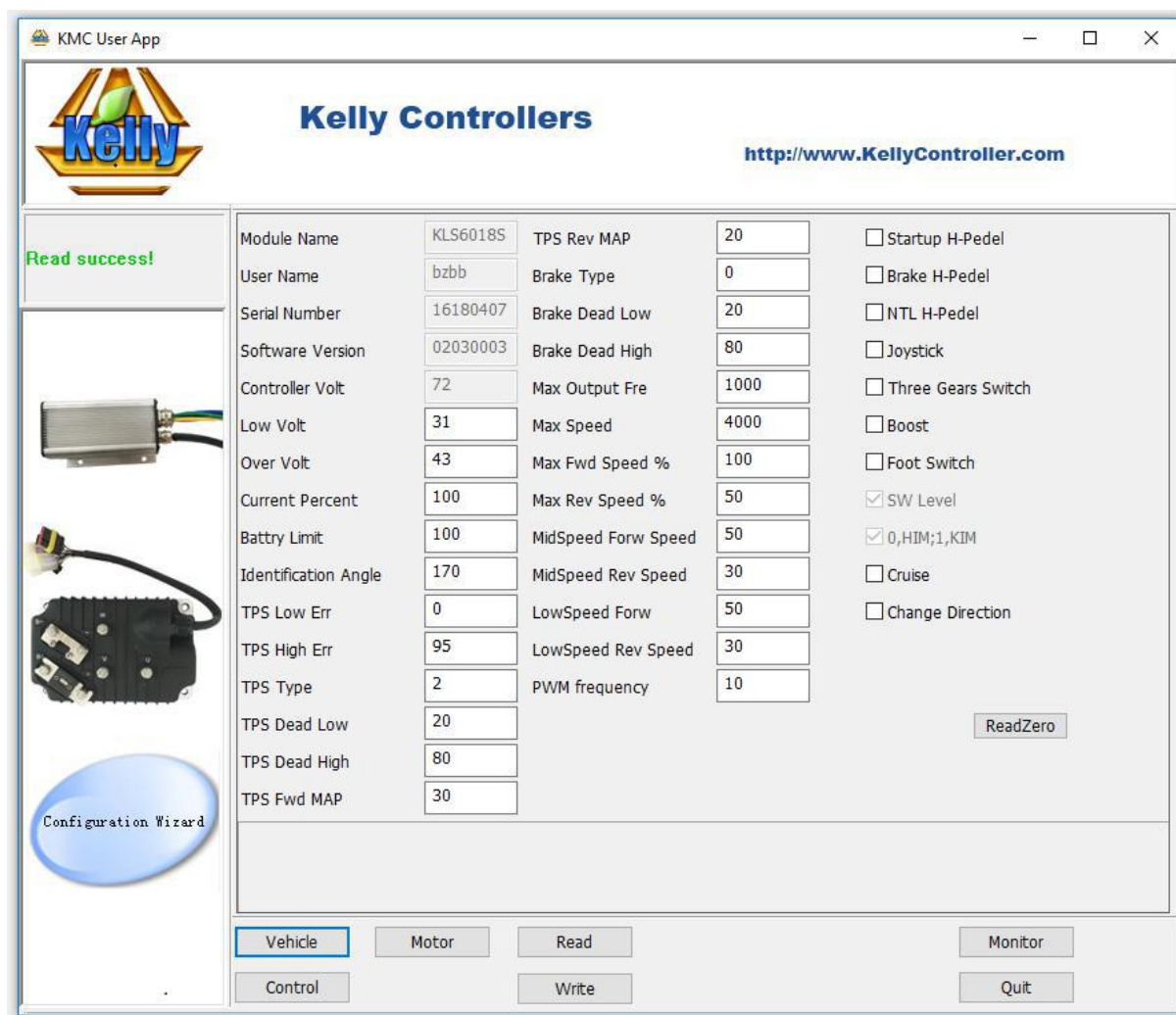
1.4 Upravljanje motorom

Energetski pretvarač/kontroler koristi vektorsku modulaciju (*engl. space-vector modulation*) za upravljanje trofaznim motorom. Za upravljanje cjelokupnim sistemom vozila, potrebno je uključiti dodatni sloj upravljanja, koji će upravljati paralelno sa svim pretvaračima koji su povezani sa motorima.

Za sada će konceptualno biti razmotreno upravljanje jednim motorom. Shema upravljanja je data na sljedećoj strani. Osnovna ideja upravljanja se zasniva na tome da se na pin (3) KLS7275H pretvarača dovodi signal u rasponu od 0 do 5V, koji će proporcionalno svojoj vrijednosti - određivati željenu brzinu vrtnje motora. Izvor signala gasa može biti potencijometar ili nožna papučica, što se također mora uzeti u obzir prilikom konfiguracije samog pretvarača. U prikazanoj konfiguraciji je potrebno obezbijediti signal koji će na pinu (15) davati informaciju

o stanju papučice gasa. Funkcija analognog regenerativnog kočenja se može realizirati na sličan način, pri čemu za razliku od gasa, nije potrebna informacija da li je papučica aktivirana. Na pinu (25) je moguće realizirati 12V ručnu kočnicu.

Korisnik može mijenjati smjer vrtnje motora, odnosno smjer kretanja vozila (naprijed ili nazad) dovođenjem odgovarajuće kombinacije signala na pinove (12) i (14). Na osnovu ulaznih signala, energetski pretvarač pokreće trofazni DC motor bez četkica. Pinovi (16), (17) i (18) služe za prikupljanje signala sa Hallovog senzora na samom motoru. Napajanje Hallovog senzora iznosi 5V.



Slika 1.4: Program za konfiguraciju energetskog pretvarača

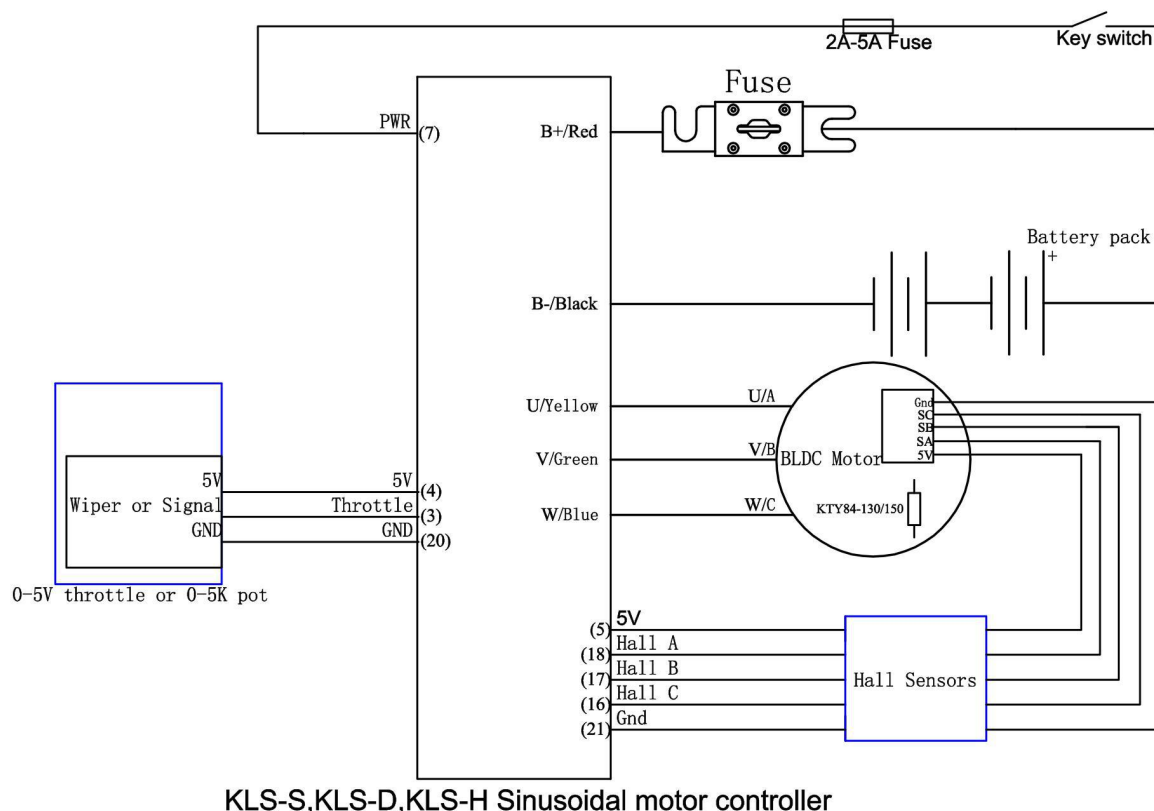
1.5 Konfiguracija parametara pretvarača

Parametre *KLS7275H* kontrolera je moguće podešavati pomoću PC ili Android uređaja. Veza sa PC uređajem se ostvaruje preko *USB-RS232* konektora. Softver za konfiguraciju je dostupan na zvaničnoj stranici proizvođača. Dijaloški okvir programa je prikazan na slici (1.4). Podešavanja vezana za motor i samo vozilo koje će motor pogoniti kao dio sistema su odvojena. Informacije kao što su ime modula, serijski broj, verzija softvera i napon pretvarača su dostupna samo za čitanje.

1.6 Operacija identifikacije ugla

Prije puštanja određenog motora u rad, potrebno izvršiti proceduru *identifikacije ugla*. Ova operacija se izvršava korištenjem aplikacije na računaru koji je povezan sa energetskim pretvaračem preko *USB-RS232* konektora. Shema spajanja je data na slici (1.5). Pretvarač je spojen na motor sa tri faze, a sa motora se prenosi signal sa Hallovog senzora. Vanjski element za zadavanje gasa također treba povezati sa pretvaračem, pri čemu taj element može jednostavno biti potencijometar ili papučica gasa.

Komponenta koja se može koristiti u tu svrhu je *Controller Control Box*, prikazana na slici



Slika 1.5: Shema spajanja za operaciju identifikacije ugla

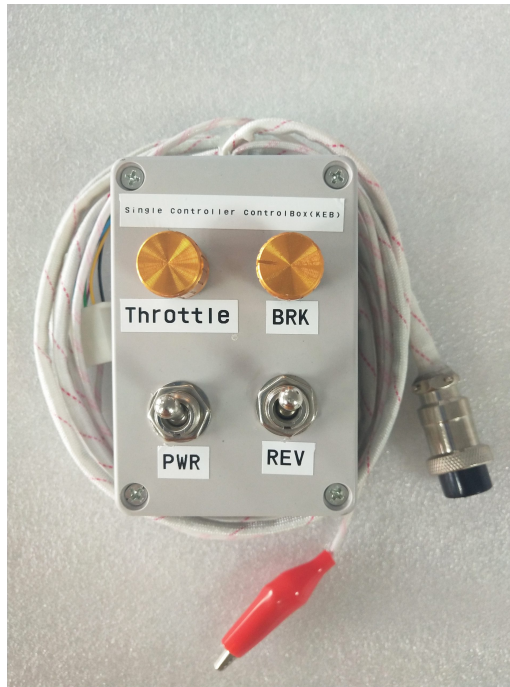
(1.6). Shema spajanja sa kontrolerom preko 14-pinskog konektora je data u prilogu B, pri čemu je za realizaciju identifikacije ugla dovoljno koristiti opciju u kojoj se *PWR* prekidač na kontrolnoj kutiji koristi za *Key switch* na slici (1.5) i konfiguracija *Throttle* potencijometra kao element zadavanja gasa.

Pri povezivanju svih elemenata potrebno je da *PWR* prekidač, odnosno *Key switch* bude u otvorenom stanju. Nakon što se preuzme softver za konfiguraciju i instalira na PC, prekidač za napajanje je potrebno zatvoriti i pokrenuti instalirani softver. Kada se otvori dijaloški prozor programa (slika 1.4), potrebno je kliknuti na opciju *Read*, kako bi se učitali trenutni podaci kontrolera.

Parametri koje je potrebno konfigurirati prije procesa identifikacije ugla se nalaze unutar grupe *Motor*, a odnose se na broj polova motora, tip senzora brzine i iznos struje koja se koristi za identifikaciju. Unutar grupe *Vehicle* potrebno je podesiti parametre: *TPS Type* (način zadavanja gasa), *Max Output Frequency* (maksimalna vrijednost frekvencije za faze motora), *Max Speed* (maksimalna brzina motora, izražena u obrtajima po minuti) i *PWM frequency* (frekvencija širinsko-impulsne modulacije, odnosno metode kojom pretvarač upravlja motorima). Treba napomenuti da brzina rotacije motora, prema specifikaciji proizvođača datoj u prilogu A, brzina rotacije motora iznosi od 550 do 1200 RPM.

Naredni korak u postupku identifikacije ugla je upisivanje broja **170** u parametar *Identification Angle* i odabir opcije *Write*. Zatim je potrebno izaći iz programa za konfiguraciju. Isključivanjem dovoda napajanja na nekoliko sekundi i ponovnim spuštanjem *PWR* prekidača, motor započinje kretanje nasumično u oba smjera. Proces identifikacije traje od 2 do 3 minute.

Kada se proces završi, pretvarač će dati 3 – 2 kod greške - zujalica (*engl. buzzer*) će najprije dati 3, a zatim 2 brza zvučna signala. Zatim je potrebno opet na nekoliko sekundi isključiti



Slika 1.6: Controller Control Box

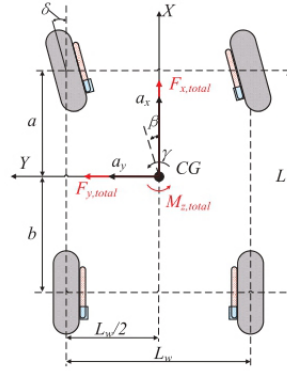
napajanje kontrolera. Nakon ponovnog pokretanja korisničkog sučelja za konfiguraciju kontrolera, potrebno je provjeriti *Identification Angle* parametar, ukoliko je proces identifikacije uspješno izvršen - parametar ima vrijednost 85.

Iako se u procesu identifikacije ugla nije koristio potencijometar za davanje gasa, ovaj element služi za provjeru da li se motor kreće u željenom smjeru. Ukoliko to nije slučaj, potrebno je označiti (*engl. check*) opciju *Change Direction* u programu za konfiguraciju. Da bi se promjena sačuvala potrebno je kliknuti na dugme *Write* i resetirati napajanje.

1.7 Model vozila

Najjednostavniji model vozila predstavlja model sa tri stepena slobode (*engl. degree of freedom*), koji podrazumijeva slobodno kretanje u xy - ravni, te rotaciju oko ose koja prolazi kroz centar mase [3]. Za izvođenje ovog modela, čiji je shematski prikaz dat na slici (1.7), potrebno je uzeti u obzir sljedeće pretpostavke:

- vozilo predstavlja kruto tijelo, pri čemu je dinamika guma i suspenzija zanemarena
- vozilo se kreće po potpuno ravnoj površini
- lokacija centra mase je poznata kao i sve vanjske sile koje djeluju na istu
- vozilo posjeduje tipične senzore za upravljanje elektroničkom stabilnošću (*engl. ESC - electronic stability control*)
- brzina točkova, ugao pri skretanju, pritisak pri kočenju, ugaona brzina i ubranje su poznate veličine
- izlazni moment svakog motora koji se nalazi u točku se može u svakom trenutku precizno mjeriti



Slika 1.7: Model vozila sa tri stepena slobode [3]

Model kretanja vozila je dat jednačinama (1.1), (1.2), (1.3), (1.4) i (1.5):

$$a_x = \frac{F_{x,total}}{m} \quad (1.1)$$

$$a_y = \frac{F_{y,total}}{m} \quad (1.2)$$

$$\dot{v}_x = a_x - \gamma \cdot v_y \quad (1.3)$$

$$\dot{v}_y = a_y - \gamma \cdot v_x \quad (1.4)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{M_{z,total}}{I_z} \quad (1.5)$$

pri čemu su:

- $F_{x,total}$ i $F_{y,total}$ - resultantne vrijednosti sila koje djeluju na vozilo u smjeru X i Y ose,
- a_x i a_y - ubrzanje vozila u smjeru X i Y ose,
- v_x i v_y - longitudinalna i lateralna brzina vozila,
- γ i I_z - ugaona brzina i moment inercije vozila,
- m i $M_{z,total}$ - masa i ukupni moment sile vozila.

Prilozi

Prilog A

8000W DC Brushless Car Motor Datasheet



QS MOTOR LTD

Phone: +86-188-0166-2699

Email: sales@qsmotor.com

Website: www.qsmotor.com

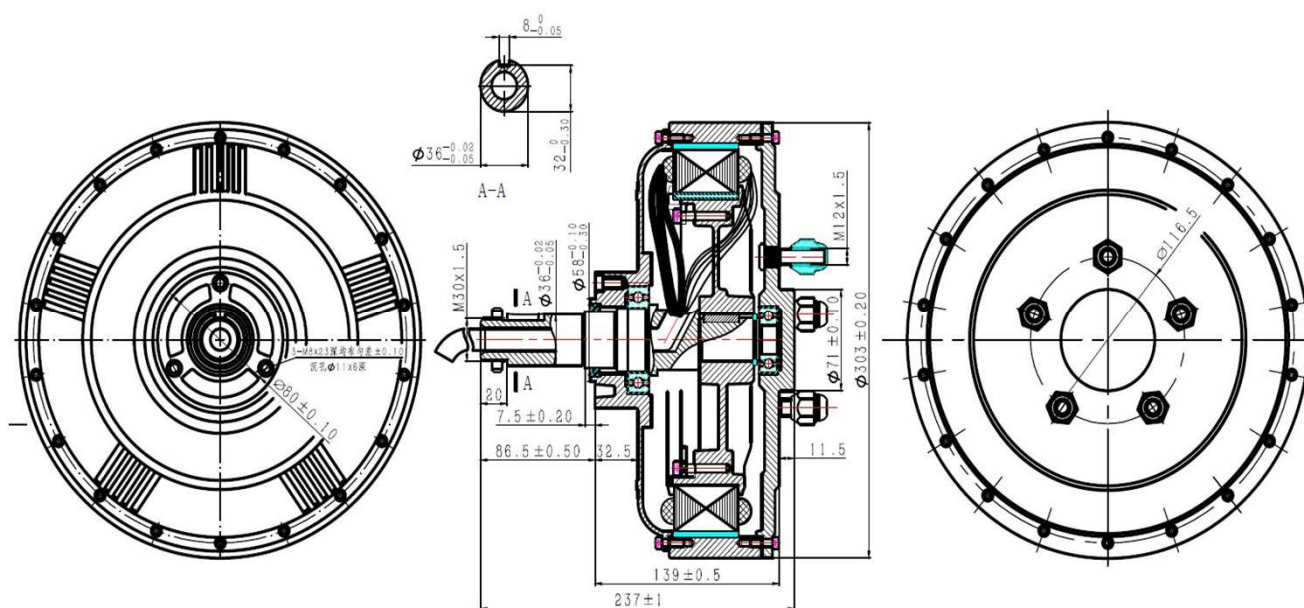
Contact: Harry Zhou

8000W DC Brushless Car Motor (50H 273 V3)



Motor Size	Motor Diameter	303mm
	Recommendation Hub	14 inch or more than 14 inch rim
	Axle	Single Shaft
	PCD	5x117mm (Customizable 100-117mm)
	CB	71mm (or Customizable 60-80mm)
Motor Phase	Number of Motor Phase	3
	Cross Section of Cable	16 Square Millimeter
Motor Power	Rated Power	8000W
	Max. Power	12800W (peak 16000W)
	Rated Voltage	72V (option 84V, 96V, 108V, 120V)
	Continuous Current	127A
	Peak Current	190A (peak 300A less than 5 seconds)
	Magnet Height	50mm
	Number of Pole Pairs	16 Pairs
	Max. Torque	90 - 302N.m
	Max. Efficiency	91%
	Rotating Speed	550 - 1200rpm
	Max. Speed of Scooter	30 - 110km/h
Motor Hall Sensor	Hall Sensor	2 sets (1 for use and 1 for backup)
	Hall Working Votalge	5V (option 12V)
Motor Brake System	Brake Type	Disc Brake
	Disc Size	220mm
Remark	Waterproof Grade	IP54
	Max. Working Temperature	70 °C (peak 120°C in 5 - 10 second)
	Temperature Sensor	KTY83-122
	Color	Black
	Weight	26kgs
	Unit Packing	43x43x41cm/carton
Option	Temperature Sensor	KTY83-122


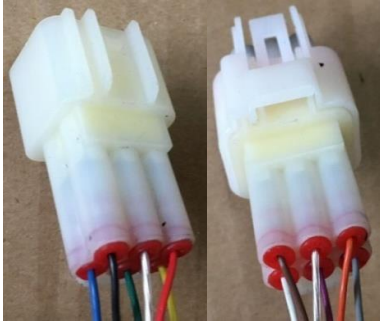
Drawing of Car Motor 273





QS MOTOR LTD

5 Shugang Ave, Luqiao, Taizhou 318057, Zhejiang, China
 QSMOTOR.COM Phone: +86-188-0166-2699 Email: sales@qsmotor.com

Motor has 3 Phase Cables and 2 sets Hall Sensor Plugs	
3 Phase Cables	2 Sets Hall Sensor Plugs
	
Motor Phase Cable	
Motor's YELLOW Cable (big cable), A, U phase.	
Motor's GREEN Cable (big cable), B, V phase.	
Motor's BLUE Cable (big cable), C, W phase.	
The Hall Sensor Plug Set 1.	
The Hall Sensor's YELLOW Cable (small cable, hall A).	
The Hall Sensor's GREEN Cable (small cable, hall B).	
The Hall Sensor's BLUE Cable (small cable, hall C).	
The Hall Sensor's RED Cable (small cable, +5V DC).	
The Hall Sensor's BLACK Cable (small cable, GND).	
The Hall Sensor's Transparent/Crystal Cable (Temperature Sensor).	
The Hall Sensor Plug Set 2.	
The Hall Sensor's GRAY Cable (small cable, hall A).	
The Hall Sensor's PURPLE Cable (small cable, hall B).	
The Hall Sensor's WHITE Cable (small cable, hall C).	
The Hall Sensor's ORANGE Cable (small cable, +5V DC).	
The Hall Sensor's BROWN Cable (small cable, GND).	
The Hall Sensor's Transparent/Crystal Cable (Temperature Sensor).	
Important Notice.	
1. The function of 2 sets hall sensors are same. We use 1 set Hall Sensor Plug and the other 1 set for backup. Please note never try to connect 2 set hall sensor plugs to controller at same time.	
2. Please change the hall plug of controller if the hall plugs do not match with motor. The static electricity may damage the hall sensor of motor if you change the plug of motor.	

Prilog B

Control Box

Literatura

- [1] Kelly Controls, Inc, “KLS-H User Manual”, dostupno na: <https://kellycontroller.com/shop/cls-h> (2020).
- [2] Sayoon Electric Co., Ltd., “JKH Foot Throttle Datasheet”, dostupno na: <http://www.sayoon.com/en/products/switchesandaccessories/footthrottle/1/jkh.html> (2015).
- [3] Zhu, J., Wang, Z., Zhang, L., Dorrell, D. G., “Braking/steering coordination control for in-wheel motor drive electric vehicles based on nonlinear model predictive control”, Mechanism and Machine Theory, Vol. 142, 2019, str. 103586.