

Systemkonstruktion Z3

(Kurs nr: SSY 046)

Tentamen 21 oktober 2009

Tid: 08:30-12:30,

Lokal: Väg och vatten-salar.

Lärare: Jonas Fredriksson, tel 772 1359

Tentamen omfattar 50 poäng, för betyg tre (3) krävs 20 poäng, för betyg fyra (4) krävs 30 poäng och för betyg fem (5) krävs 40 poäng.

Tillåtna hjälpmedel:

- Matematiska och fysikaliska tabeller, t ex Beta och Physics handbook.
- Typgodkänd kalkylator.

Lösningarna anslås efter tentamen på avdelningens anslagstavla samt på kursens hemsida.

Tentamenresultat anslås senast den 6 november på avdelningens anslagstavla samt på kursens hemsida.

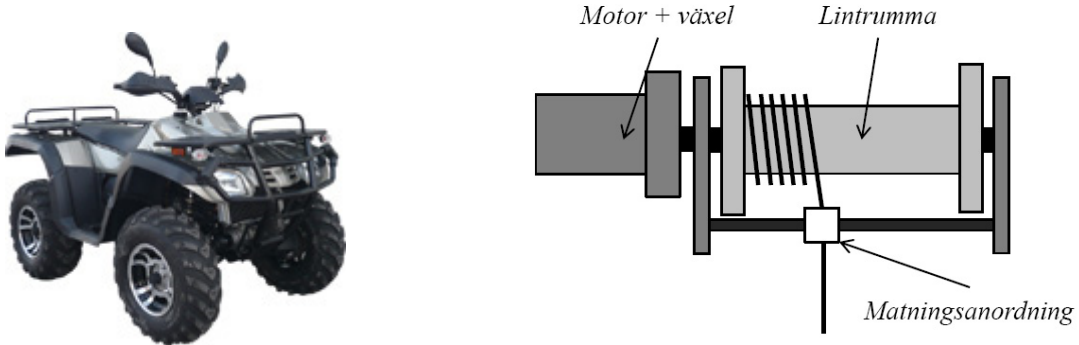
Granskning av rättning sker den 9 och 10 november kl 12:30-13:15 på avdelningen.

Lycka till!

Institutionen för signaler och system
Chalmers tekniska högskola

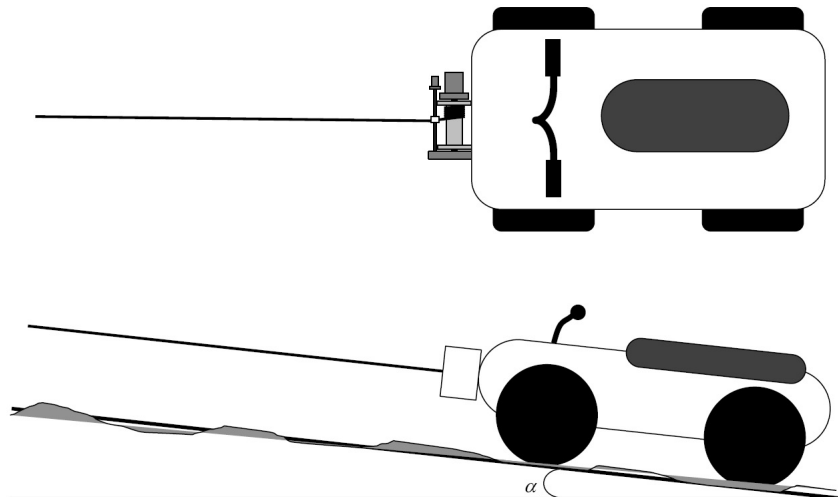
Design av vinsch

Som ingenjör skall du konstruera en vinsch till ett litet terränggående fordon. Vinschen kan användas för att bärga andra fordon i samma storleksklass (upp till 350 kg) eller dra loss sig självt vid fastkörningen. Ett exempel på ett sådant fordon och vinsch visas nedan.



Vinschen består huvudsakligen av en elmotor, en växellåda och en lintrumma. Vinschen styrs via en mikrokontroller. Det ska även finnas en matningsanordning, så att vajern ej trasslar in sig i sig själv. På detta vis kan det ordnas så att vajerna inte är upplindad med flera varv på varandra. Vinschen ska enkelt kunna monteras på och av fordonet på en viss tid. Vinschen ska kunna köras dels från en manöverpanel som fästs på styret eller instrumentpanel och dels via fjärrstyrning.

Från kund och projektledning finns följande uppgifter att tillgå: Till vinschen ska en PMDC motor användas samt en stålvaajer. Stålvaajerns längd är 18 m och dess diameter är 4 mm. Ur säkerhetssynpunkt bör inte vajern belastas med mer än $(1/10)$ av tillåten dragspänning. Vinschen ska klara av vinskning i terräng (antagande om friktion mellan däck och mark, 7% av normalkraften), samt att terrängens lutning maximalt får vara 45° . Vinschningshastigheten är begränsad till 6 m/min. Vinschens totala bredd får inte överstiga 70 cm. Lintrumman tillverkas i ett stycke (solid) i ett specialstål med densitet $4.5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Vid fullt inmatad vaajer, ska inte lintrumman fyllas till mer än 80% av dess längd. Vidare har designavdelningen ett önskemål om att längden på lintrumman skall vara minst dubbelt så stor som dess diametern.



I slutet av tentamenstesen finns för uppgiften relevanta datablad. Alla uppgifter kan lösas istort sett oberoende av varandra.

1

Skriv en kravspecifikation för konstruktionen! Kravspecifikationen bör innehålla information kring vinschningshastighet, vajerns dragspänning [Pa], maxlast etc. (Det kan vara nödvändigt att göra uträkningar för att komma fram till vissa krav.) (7p)

Lösning: Kravspecen skall innehålla krav och önskemål på maxlast, vinschningshastighet. Alla krav skall vara numrerade för att få full poäng.

1 Kravspecifikation systemet

1.1 Vinschen skall kunna klara av en maximal last på 2.6 kN eller 260 kg (fritt hängande last).

1.2 Vinschens totala bredd skall vara mindre än 0.7 m.

1.3 Hastigheten vid vinskning skall maximalt vara 0.1 m/s.

2 Kravspecifikation lintrumma

2.1 Lintrummans längd skall vara mer än 2 gånger dess diameter.

3 Kravspecifikation vajer

3.1 Vajerns längd skall vara minst 18 m.

3.2 Vajerns diameter skall vara 0.004 m.

3.3 Vajerns maximala dragspänning får vara 1 GPa.

4 Kravspecifikation styrning

4.1 Vinschen skall kunna styras via manöverpanel.

4.2 Manöverpanelen skall kunna monteras på fordonets styre samt instrumentpanel.

4.3 Vinschen skall kunna styras via manöverpanel.

4.4 Vinschens hastighet skall kunna varieras steglöst mellan 0 och maximal hastighet.

5 Kravspecifikation montering

5.1 Vinschen skall kunna monteras eller avmonteras på mindre än 5 min.

Antag långsam acceleration, $a \approx 0$, detta medför att kraften i vajerna kan uttryckas som

$$F = 0.07mg \cos(45) + mg \sin(45)$$

massan på fordonet är 350 kg, detta ger $F = 2600$ N.

Vajerns dragspänning ges som $\sigma = kF/A$ där k är säkerhetsfaktorn. Detta ger vajerns dragspänning till $\sigma = 10 \cdot 2600 / (0.5\pi(0.004)^2) = 1.03$ GPa.

2

Vad är syftet med funktionsanalysen vid arbete med systematisk konstruktion? Gör en funktionsanalys för vinschen?

(5p)

Lösning: Syftet är att specificera systemets funktioner och systemgränser. Även bryta ned i delsystem. Lösningen bör vara lösningsoberoende.

Förslag på funktionsanalys för vinschen:

- Mata ut vajer.
- Dra in vajer.
- Undvika trassel.
- Kommunicera med omgivning

Lösningsberoende funktionsanalys ger avdrag 1p!

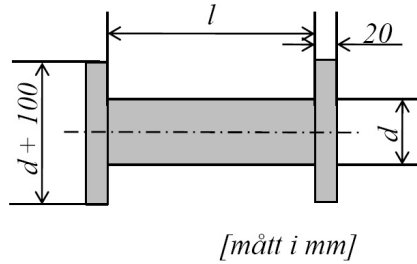
3

Ur miljö- och ergonomishänseende bör massan på vinschen minimeras. Formulera designen av vinschens lintrumma (se figur nedan) som ett optimeringsproblem. Välj design variabler, design paramterar, design funktioner, målfunktion och bivillkor (om sådana finns), och formulera på formen:

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) \\ \text{subject to:} \quad & x_{min} \leq x \leq x_{max} \\ & g_i(x) \leq 0 \\ & g_j(x) = 0 \end{aligned}$$

Motorns massa ges från val av motor, så den behöver inte tas med i optimeringen. Det kan antas att motor, växellåda plus övriga delar till att hålla fast lintrumman, kan antas vara 0.35 m. Inom vilket område (feasible region) kan man förvänta sig att hitta en lösning på problemet, skissa området?

(10p)



Lösning:

Design variabler: l och d

Design parametrar: $d_{vajer} = 4$, $l_{vajer} = 18000$, $\rho = 4.5 \cdot 10^3$ och övriga mått i figuren, alla uträkningar är i mm.

Design funktioner: $m = \rho V$, $V = \pi \frac{d^2}{4} l + 2\pi \frac{(d+100)^2}{4} 20$. Den längden som vadjern täcker lintrumman, fås som d_{vajer} multiplicerat med antal varv. Antal varv ges som $l_{vajer}/(\pi d)$. Lintrumman får täckas till max 80%.

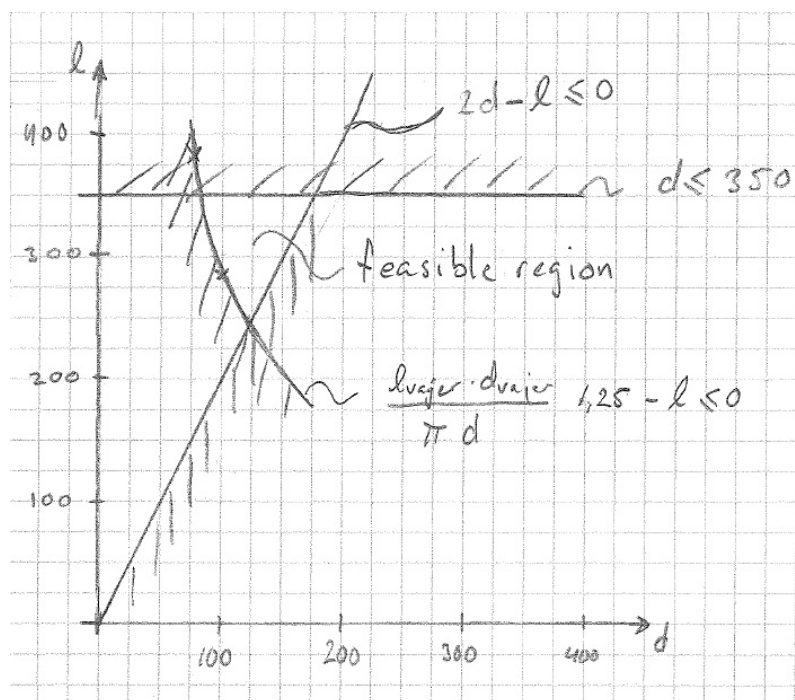
Målfunktion: Minimera massan, dvs $\min \rho V = \rho(\pi \frac{d^2}{4} l + 2\pi \frac{(d+100)^2}{4} 20)$

Bivillkor: Längden på trumman kan variera mellan 0 och 350, $0 \leq l \leq 350$, dessutom skall längden vara större än $l_{vajer} d_{vajer}/(\pi d) \cdot 0.8$, detta ger $l_{vajer} d_{vajer}/(\pi d) \cdot 1.25 - l \leq 0$. Vidare skall längden vara mer än 2 gånger dess diameter, $2d - l \leq 0$

Detta ger:

$$\begin{aligned} \min & \quad \rho(\pi \frac{d^2}{4} l + 2\pi \frac{(d+100)^2}{4} 20) \\ \text{givet} & \quad 0 \leq l \leq 350 \\ & \quad l_{vajer} d_{vajer}/(\pi d) \cdot 1.25 - l \leq 0 \\ & \quad 2d - l \leq 0 \end{aligned}$$

Rita området:



4

Vinschen ska som tidigare nämnts drivas med hjälp av en elmotor. Tyvärr är det ej lämpligt att köra en motorn vid så låga varvtal som det rör sig om i fallet med vinschen (dålig verkningsgrad), för att lösa detta kommer en planetväxellåda att kopplas in mellan motor och lintrumma. Välj en lämplig motor och utväxling ur datablad (Välj mellan motorerna 119050*, 119053* och 119056)! Motivera ditt val! Antagande om lintrummans diameter, $d = 140$ mm, antag även att planetväxeln är ideal. Konvertering mellan Nm och Oz-in: $1 \text{ Oz-in} = 0.00706 \text{ Nm}$.

Ledning: Utnyttja diagrammen i databladen.

(10p)

Lösning: För att klara av att vinscha in krävs enligt tidigare uträkning 2600 N vid 0.1 m/s . Detta betyder om vi antar att lintrummans diameter är 0.14 m att moment- och varvtalsbehovet är

$$T = 2600 \cdot 0.07 = 182 \text{ Nm}$$

$$\omega = 0.1/0.07 = 1.43 \text{ rad/s} = 13.6 \text{ rpm}$$

Välj lämpligt arbetsvarvtal $\approx 0.7 \cdot \text{maxvarvtal}$. För de tre aktuella motorerna ger detta:

Motor	Maxvarvtal [rpm]	Arbetsvarvtal [rpm]
119050	4319	3020
119053	3434	2400
119056	2281	1600

Välj därefter utväxling som behövs för respektive motor

<i>Motor</i>	<i>Utväxling</i>	<i>Tillgänglig utväxling</i>
119050	3020/13.6=222	144
119053	2400/13.6=176	144
119056	1600/13.6=117	75

Detta ger arbetspunkterna för respektive motor

<i>Motor</i>	<i>Varvtal [rpm]</i>	<i>Moment [Nm]</i>	<i>Moment [Oz-in]</i>
119050	1960	1.3	179
119053	1960	1.3	179
119056	1020	2.4	344

Ur diagrammen fås att motor 119053* är den enda som kan klara av den aktuella arbetspunkten. Välj motor 119053* tillsammans med en utväxling på 144.

5

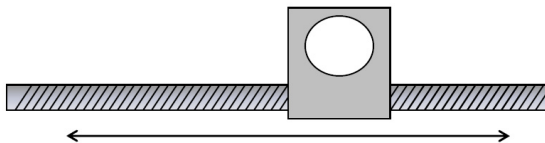
Vinschen kan få sin energi antingen genom ett separat batteri eller kopplas till fordonets batteri. Fordonets batteri är specificerat till 12V, 14 Ah. Är batteriet tillräckligt stort för att klara av både vinsch och fordon, eller bör vinschen drivas med ett separat batteri? Gör överslagsräkningar för att bedöma detta!

(4p)

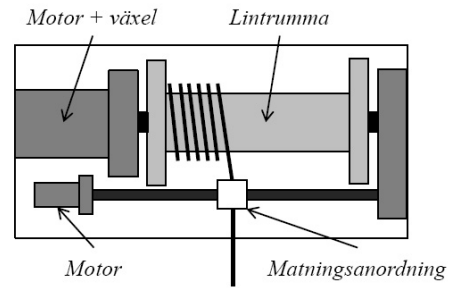
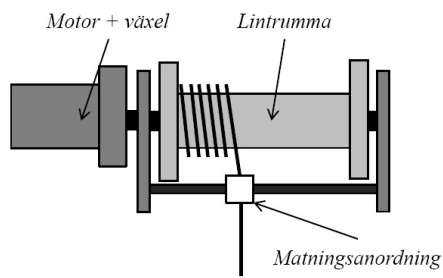
Lösning: Batteriet innehåller $12 \cdot 14 = 168$ Wh, en vinschning på maxlast tar 3 minuter ($1/20$)h. Detta betyder att en vinschning kräver $F \cdot v \cdot \text{tid} = 2600 \cdot 0.1 \cdot (1/20) = 13$ Wh. Batteriet klarar med andra ord av $168/13 \approx 13$ st vinschningar utan att batteriet laddas ur. Detta får anses som okej, dessutom görs det oftast inte tretton vinschningar utan att fordonets motorn är igång och då kan batteriet laddas via generator på motorn.

6

För att undvika att vajern trasslar sig, skall en matningsanordning även konstrueras. Matningsanordningen har lösts genom en skruvtransmission med stigning 2 cm/varv.



Drivningen av matningsanordningen kan göras antingen mekaniskt, via tex remdrift till motorn som driver vinschen, eller mekatroniskt, via en separat elmotor.



Bestäm utväxlingen som behövs för den mekaniska lösningen! Vad är fördelarna respektive nackdelarna med den mekaniska lösningen.

Rita ett blockschema för den mekatroniska lösningen! Vad är fördelarna respektive nackdelarna med den mekatroniska lösningen.

(8p)

Lösning:

Mekanisk lösning: När lintrumman rör sig 1 varv skall skruvtransmissionen röra sig ca 4 mm, detta betyder att den skall ha förflyttat sig $4/20=1/5$ varv.

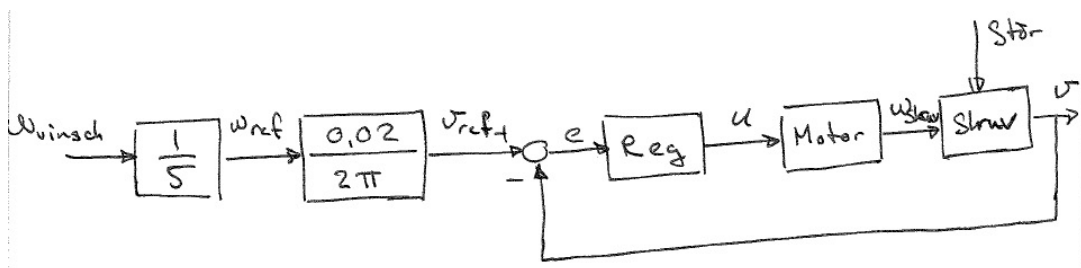
$$\Theta_{\text{lintrumma}} = i\Theta_{\text{skruv}}$$

$$i = \frac{\Theta_{\text{lintrumma}}}{\Theta_{\text{skruv}}} = \frac{1}{1/5} = 5$$

Fördelar och Nackdelar:

- + Integrerad lösning, få extra delar
- + Ingen extra styrning krävs
- Tar energi från vinschningen, påverkar dragkraften som vinschen kan generera
- Fast utväxling, matning och vinsch kan ej styras oberoende av varandra

Mekatronisk lösning: Förslag på blockschema, beror på val av sensor



Fördelar och Nackdelar:

- + Matning och vinsch kan styras oberoende av varandra
- + Påverkar ej dragkraften som vinschen kan generera

- Behöver extra komponenter, såsom motor+styrning och sensor för mätning av hastighet eller position
- Behöver elektrisk energi

7

För den mekatroniska lösningen på matningsanordningen behövs en sensor som mäter vinschens rotationshastighet. Mätningen behöver ha en noggrannhet på 0.5° . Mätningen sker med en analog sensor som sedan A/D omvandlas. Hur många bitars upplösning behöver A/D omvandlaren ha för att klara detta krav? Vad blir den verkliga upplösningen?

(2p)

Lösning: Antal olika steg som krävs fås som $360/0.5 = 720$. En A/D omvandlare på 10 bitar ger $2^{10} = 1024$ steg. Verklig upplösning: $360/1024 = 0.35^\circ$.

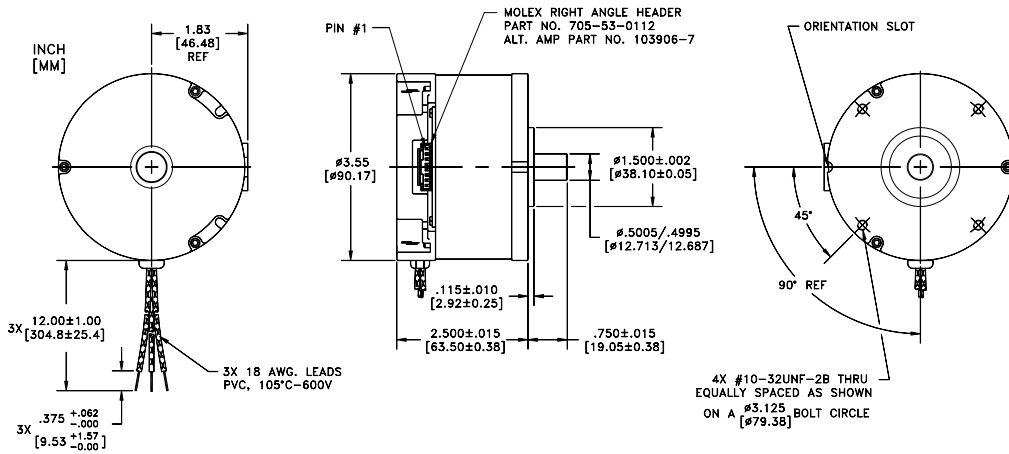
8

Det finns ett antal delar som inte behandlats i denna tenta som rör konstruktionen av vinschen. Ge förslag på förbättringar och/eller lösningar på delar som ej behandlats!

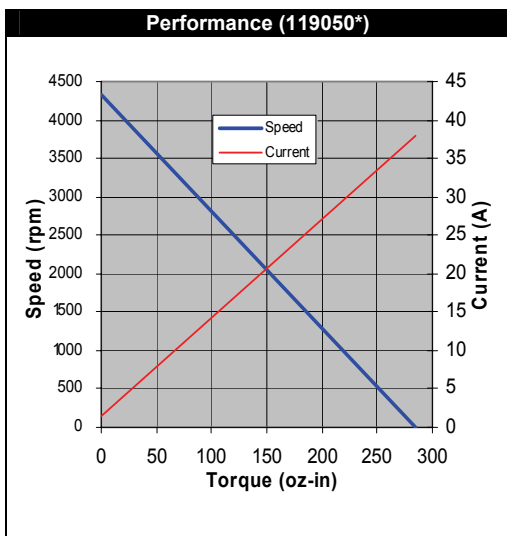
(4p)

Lösning: Individuell bedömning av förslagen kommer att ske.

φ3.55" (φ90mm) SERIES BRUSHLESS DC MOTOR



Motor Data	Symbol	Units	Part Number Designation	
			119050*	119051
Supply Voltage (Reference)	V _s	V	24	24
Continuous Torque ³	T _c	oz-in	22	36
		Nm	0.16	0.25
Speed @ Cont. Torque	S _c	rpm	3715	4342
Current @ Cont. Torque	I _c	A	4.4	7.6
Continuous Output Power ³	P _{o.c}	W	60	116
Motor Constant	K _M	oz-in/√W	11.5	12.5
		Nm/√W	0.081	0.089
Torque Constant	K _T	oz-in/A	7.52	6.17
		Nm/A	0.0531	0.0436
Voltage Constant	K _E	V/krpm	5.56	4.56
		V s/rad	0.0531	0.0436
Terminal Resistance	R _{mt}	Ω	0.425	0.242
Inductance	L	mH	0.449	0.255
No-Load Current	I _{nl}	A	1.48	1.74
No-Load Speed	S _{nl}	rpm	4319	5259
Peak Current (Stall) ²	I _{pk}	A	38	61
Peak Torque (Stall) ²	T _{pk}	oz-in	284	375
		Nm	2.01	2.65
Electrical Time Constant	τ _e	ms	1.055	1.052
Mechanical Time Constant	τ _m	ms	14.71	13.07
Thermal Resistance ³	R _{th}	°C/W	1.21	1.19
Max. Winding Temperature	θ _{max}	°C	105	105
Rotor Inertia	J _r	oz-in-sec ²	0.0138	0.0145
		kg m ²	9.7x10 ⁻⁵	1.0x10 ⁻⁴
Motor Weight (Mass)	W _M	oz	33.6	36.0
		g	953	1021



- Standard Features**
- Shielded Ball Bearings
 - 8-Pole Rotor
 - Neodymium Magnets
 - 3-Phase Stator
 - Hall Sensors
 - Aluminum Housing

- Complementary Products**
- 48134 Controller
 - Planetary Gearbox
 - A NEMA 42 faceplate mounting configuration is available with adapter plate E-6200-319
 - 48140 Controller
 - Optical Encoder

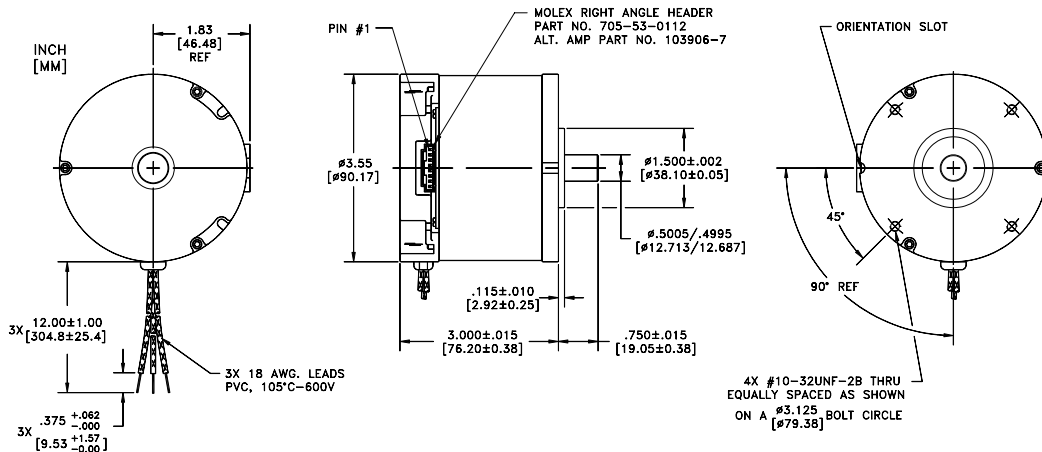
Connection Chart	
Color/Pin	Function
Black / 1	Motor φC
2	Vcc
3	Sensor 3
4	Sensor 2
5	Sensor 1
6	Ground
Red / 7	Motor φA
White / 8	Motor φB

60° Electrical Spacing

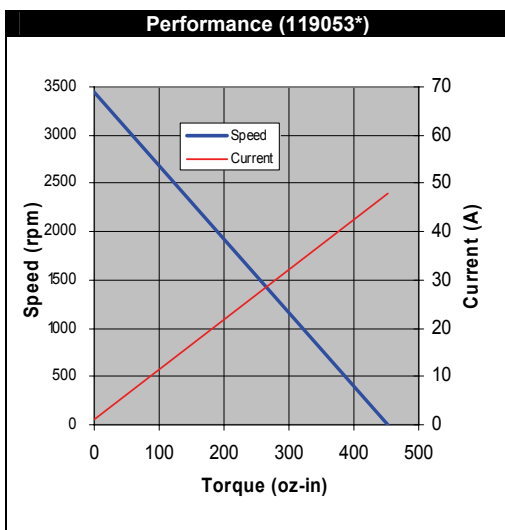
Notes:

- ¹ All values specified at 25°C ambient temperature and without heat sink.
 - ² Peak values are theoretical and supplied for reference only.
 - ³ Recorded at max. winding temperature at 25°C ambient, mounted to a 12"x12"x0.5" heatsink.
- * These part numbers available through distribution.

φ3.55" (φ90mm) SERIES BRUSHLESS DC MOTOR



Motor Data	Symbol	Units	Part Number Designation	
			119052	119053*
Supply Voltage (Reference)	V_s	V	24	24
Continuous Torque ³	T_c	oz-in Nm	49 0.35	63 0.44
Speed @ Cont. Torque	S_c	rpm	3265	2641
Current @ Cont. Torque	I_c	A	7.6	7.9
Continuous Output Power ³	$P_{o,c}$	W	118	123
Motor Constant	K_M	oz-in/ \sqrt{W} Nm/ \sqrt{W}	15 0.106	16.6 0.117
Torque Constant	K_T	oz-in/A Nm/A	7.98 0.0564	9.45 0.0668
Voltage Constant	K_E	V/krpm V s/rad	5.9 0.0564	6.99 0.0667
Terminal Resistance	R_{mt}	Ω	0.283	0.323
Inductance	L	mH	0.322	0.389
No-Load Current	I_{nl}	A	1.41	1.24
No-Load Speed	S_{nl}	rpm	4067	3434
Peak Current (Stall) ²	I_{pk}	A	54	48
Peak Torque (Stall) ²	T_{pk}	oz-in Nm	428 3.02	453 3.20
Electrical Time Constant	τ_e	ms	1.14	1.205
Mechanical Time Constant	τ_m	ms	12.01	10.29
Thermal Resistance ³	R_{th}	$^{\circ}C/W$	1.17	1.15
Max. Winding Temperature	θ_{max}	$^{\circ}C$	105	105
Rotor Inertia	J_r	oz-in-sec ² kg m ²	0.0191 1.35x10 ⁻⁴	0.0201 1.42x10 ⁻⁴
Motor Weight (Mass)	w_M	oz g	44.8 1270	48.0 1361



- Standard Features**
- Shielded Ball Bearings
 - 8-Pole Rotor
 - Neodymium Magnets
 - 3-Phase Stator
 - Hall Sensors
 - Aluminum Housing

- Complementary Products**
- Planetary Gearbox
 - 48134 Controller
 - A NEMA 42 faceplate mounting configuration is available with adapter plate E-6200-319
 - Optical Encoder
 - 48140 Controller

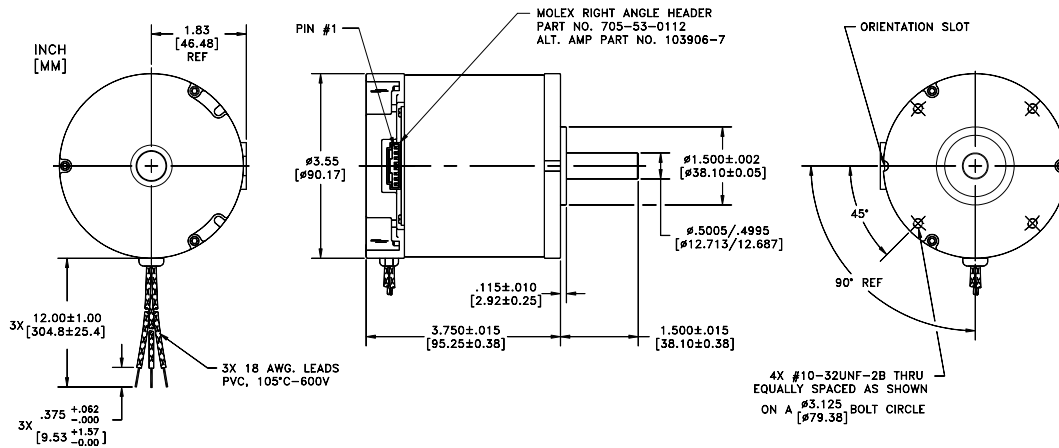
Connection Chart	
Color/Pin	Function
Black / 1	Motor φC
2	Vcc
3	Sensor 3
4	Sensor 2
5	Sensor 1
6	Ground
Red / 7	Motor φA
White / 8	Motor φB

60° Electrical Spacing

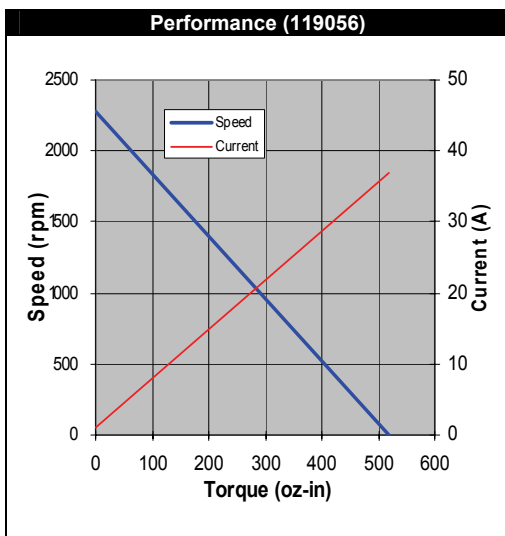
Notes:

- All values specified at 25°C ambient temperature and without heat sink.
 - Peak values are theoretical and supplied for reference only.
 - Recorded at max. winding temperature at 25°C ambient, mounted to a 12"x12"x0.5" heatsink.
- * These part numbers available through distribution.

φ3.55" (φ90mm) SERIES BRUSHLESS DC MOTOR



Motor Data	Symbol	Units	Part Number Designation		
			119054	119055	119056
Supply Voltage (Reference)	V _s	V	24	24	24
Continuous Torque ³	T _c	oz-in	77	91	105
		Nm	0.54	0.64	0.74
Speed @ Cont. Torque	S _c	rpm	2174	1864	1605
Current @ Cont. Torque	I _c	A	7.8	8.1	8.3
Continuous Output Power ³	P _{o,c}	W	124	126	125
Motor Constant	K _M	oz-in/√W	19.0	20.1	21.4
		Nm/√W	0.134	0.142	0.151
Torque Constant	K _T	oz-in/A	11.44	12.77	14.23
		Nm/A	0.0808	0.0902	0.1005
Voltage Constant	K _E	V/krpm	8.46	9.44	10.52
		V s/rad	0.0808	0.0902	0.1005
Terminal Resistance	R _{mt}	Ω	0.363	0.404	0.444
Inductance	L	mH	0.457	0.524	0.591
No-Load Current	I _{nl}	A	1.07	0.99	0.92
No-Load Speed	S _{nl}	rpm	2838	2543	2281
Peak Current (Stall) ²	I _{pk}	A	44	40	37
Peak Torque (Stall) ²	T _{pk}	oz-in	496	505	518
		Nm	3.50	3.57	3.66
Electrical Time Constant	τ _e	ms	1.256	1.297	1.331
Mechanical Time Constant	τ _m	ms	11.25	10.28	9.41
Thermal Resistance ³	R _{th}	°C/W	1.13	1.11	1.09
Max. Winding Temperature	θ _{max}	°C	105	105	105
Rotor Inertia	J _r	oz-in-sec ²	0.0286	0.0293	0.0303
		kg m ²	2.02x10 ⁻⁴	2.07x10 ⁻⁴	2.14x10 ⁻⁴
Motor Weight (Mass)	W _M	oz	60.0	64.0	67.2
		g	1701	1814	1905



- Standard Features**
- Shielded Ball Bearings
 - 8-Pole Rotor
 - Neodymium Magnets
 - 3-Phase Stator
 - Hall Sensors
 - Aluminum Housing

- Complementary Products**
- Planetary Gearbox
 - 48134 Controller
 - A NEMA 42 faceplate mounting configuration is available with adapter plate E-6200-319
 - Optical Encoder
 - 48140 Controller

Connection Chart

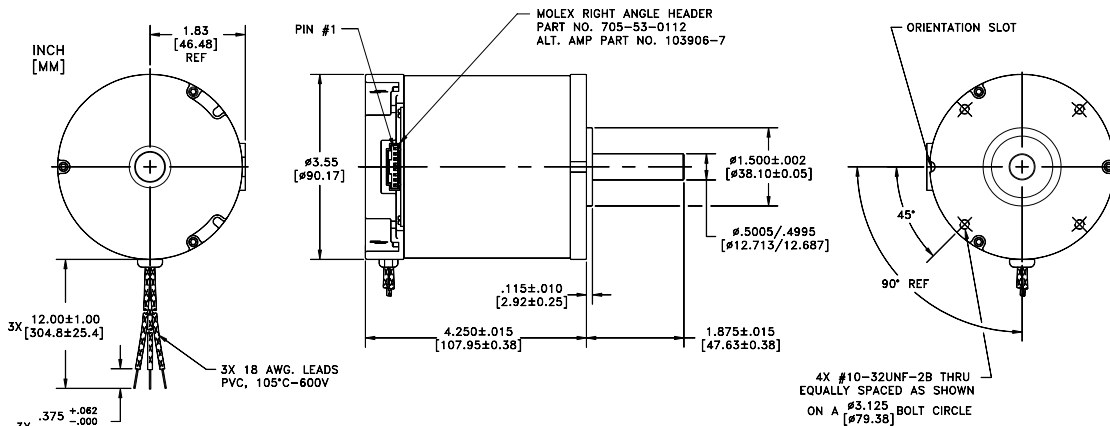
Color/Pin	Function
Black / 1	Motor φC
2	Vcc
3	Sensor 3
4	Sensor 2
5	Sensor 1
6	Ground
Red / 7	Motor φA
White / 8	Motor φB

60° Electrical Spacing

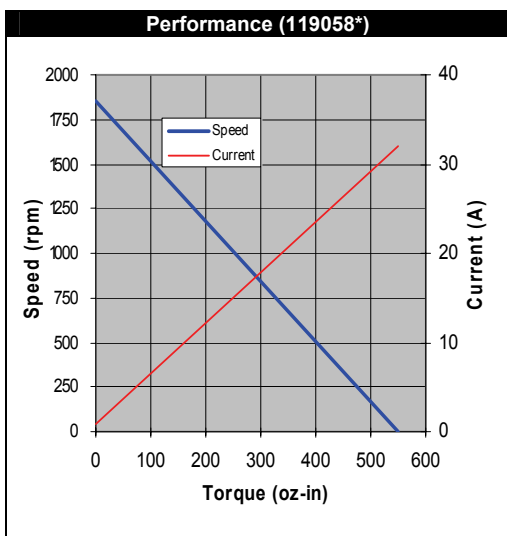
Notes:

- All values specified at 25°C ambient temperature and without heat sink.
- Peak values are theoretical and supplied for reference only.
- Recorded at max. winding temperature at 25°C ambient, mounted to a 12"x12"x0.5" heatsink.

φ3.55" (φ90mm) SERIES BRUSHLESS DC MOTOR



Motor Data	Symbol	Units	Part Number Designation	
			119057	119058*
Supply Voltage (Reference)	V_s	V	24	24
Continuous Torque ³	T_c	oz-in	119	132
		Nm	0.84	0.93
Speed @ Cont. Torque	S_c	rpm	1377	1214
Current @ Cont. Torque	I_c	A	8.3	8.4
Continuous Output Power ³	$P_{o.c}$	W	121	119
Motor Constant	K_M	oz-in/ \sqrt{W}	23.1	24.1
		Nm/ \sqrt{W}	0.163	0.17
Torque Constant	K_T	oz-in/A	16.06	17.49
		Nm/A	0.113	0.124
Voltage Constant	K_E	V/krpm	11.88	12.93
		V s/rad	0.1134	0.1235
Terminal Resistance	R_{mt}	Ω	0.485	0.525
Inductance	L	mH	0.658	0.726
No-Load Current	I_{nl}	A	0.85	0.80
No-Load Speed	S_{nl}	rpm	2021	1856
Peak Current (Stall) ²	I_{pk}	A	34	32
Peak Torque (Stall) ²	T_{pk}	oz-in	541	549
		Nm	3.82	3.87
Electrical Time Constant	τ_e	ms	1.358	1.382
Mechanical Time Constant	τ_m	ms	9.313	8.754
Thermal Resistance ³	R_{th}	$^{\circ}C/W$	1.06	1.04
Max. Winding Temperature	θ_{max}	$^{\circ}C$	105	105
Rotor Inertia	J_r	oz-in-sec ²	0.035	0.036
		kg m ²	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-4}
Motor Weight (Mass)	w_M	oz	75.2	77.6
		g	2132	2200



- ### Standard Features
- Shielded Ball Bearings
 - 8-Pole Rotor
 - Neodymium Magnets
 - 3-Phase Stator
 - Hall Sensors
 - Aluminum Housing

- ### Complementary Products
- Planetary Gearbox
 - 48134 Controller
 - A NEMA 42 faceplate mounting configuration is available with adapter plate E-6200-319
 - Optical Encoder
 - 48140 Controller

Connection Chart

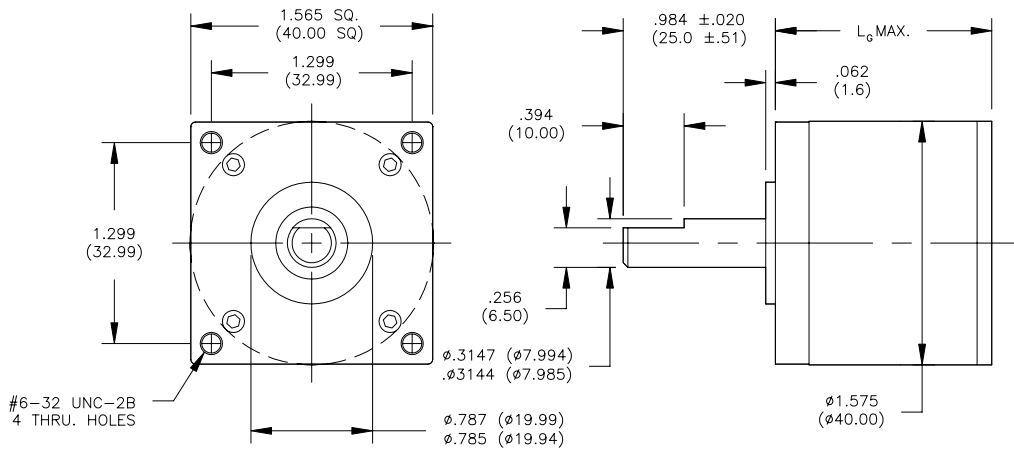
Color/Pin	Function
Black / 1	Motor ϕC
2	Vcc
3	Sensor 3
4	Sensor 2
5	Sensor 1
6	Ground
Red / 7	Motor ϕA
White / 8	Motor ϕB

60° Electrical Spacing

Notes:

- All values specified at 25°C ambient temperature and without heat sink.
 - Peak values are theoretical and supplied for reference only.
 - Recorded at max. winding temperature at 25°C ambient, mounted to a 12"x12"x0.5" heatsink.
- * These part numbers available through distribution.

G40A PLANETARY GEARBOX



Gearbox Data	Symbol	Units	Reduction Ratio Designation						
			4:1	17.3:1	24:1	75.1:1	144:1	325.5:1	864:1
Maximum Load	$T_{L, max}$	oz-in	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
		Nm	14	14	14	14	14	14	14
Gearbox Weight (Mass)	w_G	oz	9	11	11	13	13	15	15
		g	258	315	315	371	371	427	427
Gearbox Length	L_G	in	1.400	1.700	1.700	2.000	2.000	2.300	2.300
		mm	35.6	43.2	43.2	50.8	50.8	58.4	58.4
Exact Ratio	N	-	4	52/3	24	676/9	144	8788/27	864
Gearbox Efficiency	η	-	0.80	0.64	0.64	0.51	0.51	0.41	0.41
Gearbox Shaft Rotation	-	-	CW	CW	CW	CW	CW	CW	CW

Standard Construction	
<ul style="list-style-type: none"> Precision-hobbed steel gears for high torque capacity 	<ul style="list-style-type: none"> Sintered bronze output bearing

Options	
<ul style="list-style-type: none"> Alternate mounting and shaft configurations Output ball bearing for high radial loads 	<ul style="list-style-type: none"> Additional ratios available

Notes:

¹ Maximum load represents gearbox capability only. Continuous load torque capability will vary with gear ratio, motor selection, and operating conditions.

² Shaft rotation is designated while looking at output shaft with motor operating in a clockwise direction. Gearboxes have bi-directional capability.