

Aandrijftechniek Moonrover

Vollmuller, Michel
1809572

michel.vollmuller@student.hu.nl

Willems, Tijmen
1805057

tijmen.willems@student.hu.nl

17 april 2024

Samenvatting

Dit onderzoek richt zich op de aandrijftechniek van een moonrover gebaseerd op een iris, waarbij verschillende aspecten worden geanalyseerd om de juiste motor en transmissie te selecteren. Dit onderzoek behandelt de het vaststellen van de lasten van de moonrover, zoals de rolweerstand, hellingen, grip, versnelling en snelheid. Vervolgens wordt de motorkeuze besproken, waarbij de RE25 118745 motor wordt geselecteerd vanwege zijn efficiëntie van 90%. Een geschikte transmissie, de Planetary Gearhead GP 32 A 166158 met een gear ratio van 14:1 en een efficiëntie van 75%, wordt gekozen om het maximale koppel te behalen met minder toeren. Dit onderzoek gaat verder in op de efficiëntie van de motor en transmissie, waarbij een totale efficiëntie van 67,5% wordt berekend. Tot slot biedt dit onderzoek inzicht in het selectieproces van de componenten voor een moonrover, met aandacht voor efficiëntie en prestaties onder verschillende omstandigheden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Analyse	2
2.1	Vraagstelling	2
2.2	Specificaties	2
3	Lasten	3
3.1	Rollast	3
3.2	Hellingslast	3
3.3	Grip	4
3.4	Versnelling	5
3.5	Snelheid	5
3.6	Conclusie	7
4	Motor	8
4.1	Motorkeuze	8
4.2	transmissiekeuze	9
4.3	efficiëntie	9
4.4	Warmte dissipatie	9
	Conclusie	10
	Referenties	11
A	Datasheet RE25 118745	12
B	Datasheet GP 32 A 166158	13

1 Inleiding

De Euro Moon Rover is een compact, wendbaar voertuig ontworpen voor het verkennen van het maanterrein. Met zijn vier individueel aangestuurde wielen kan het obstakels tot de grootte van de radius van het wiel overwinnen. Het voertuig is snel en robuust, uitgerust met gelijkstroommotoren van Maxon die zijn aangepast om te functioneren in de extreme omstandigheden van de maan. Dankzij zijn ontwerp en aanpassingen is de Euro Moon Rover goed uitgerust om wetenschappelijke missies uit te voeren en het oppervlak van de maan te verkennen.

2 Analyse

2.1 Vraagstelling

Hoofdvraag: Is de door Maxon voorgestelde aandrijving de beste oplossing voor de Euro Moon Rover?

Deelvragen:

1. Wat zijn de lasten en wat zijn de wensen?
2. Wat is de juiste mechanische transmissie?
3. Wat zijn de juiste specificaties voor de motor?
4. Wat is de efficiëntie van de motor?

2.2 Specificaties

Moonrover	
Gewicht :	6 kg
formaat (lengte*breedte):	$0.4 * 0.25 \text{ m}$
Wielen	
diameter wielen :	0.15 m
wrijvingscoëfficiënt :	0.9
rolweerstandcoëfficiënt :	0.1
Massatraagheid (J) :	$2.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Eisen / Wensen	
topsnelheid vlakke grond :	2.1 m/s
versnelling vlakke grond :	0.7 m/s^2
vertraging vlakke grond :	0.5 m/s^2
max helling :	30 graden

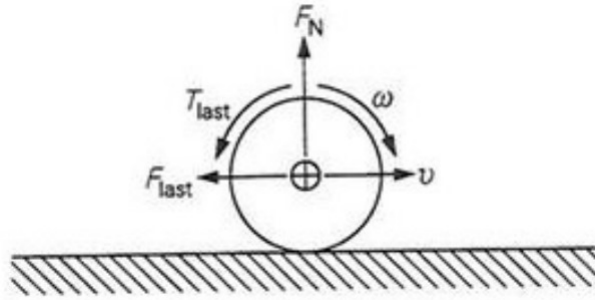
[1]

3 Lasten

In dit hoofdstuk worden de verschillende lasten van de moonrover berekend. In de formules word er een hellingshoek aangehouden van 0 graden. De beschreven formules zijn allemaal voor 1 wiel. Voor de gehele moonrover zal dit dus x4 moeten. In de afbeeldingen is ook te zien hoe de eigenschappen zich gedragen onder diverse hellingshoeken.

3.1 Rollast

Rollast is de last die minimaal overwonnen moet worden om een wiel te laten draaien. Dit verschilt ook onder welke hellingshoek de moonrover staat. In afbeelding 3 is te zien hoe de rollast verandert onder diverse hellingshoeken.



Figuur 1: rollast krachten

Formules:

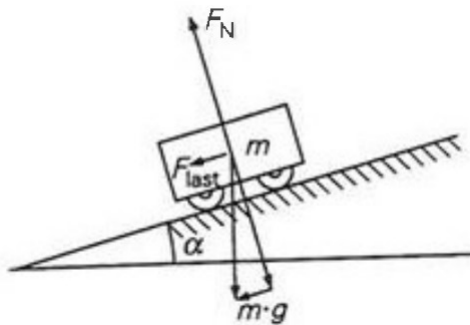
$$\begin{aligned} T_{last} &= f_{rol} \cdot F_N \cdot r \\ F_N &= m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \\ \Downarrow \\ T_{last} &= 0.1 \cdot 2.43 \cdot 0.075 = 18.23[mNm] \end{aligned} \quad (1)$$

constante:

$$\begin{aligned} f_{rol} &= 0,1 \\ r &= 0,075[m] \\ m &= 1,5[N] \\ g &= 1,62[m/s^2] \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$

3.2 Hellingslast

Hellingslast is de last die om de hoek komt kijken zodra de moonrover zich op een helling bevindt. We hebben de kracht berekend die nodig is om de moonrover stil te laten staan onder een bepaalde hoek.



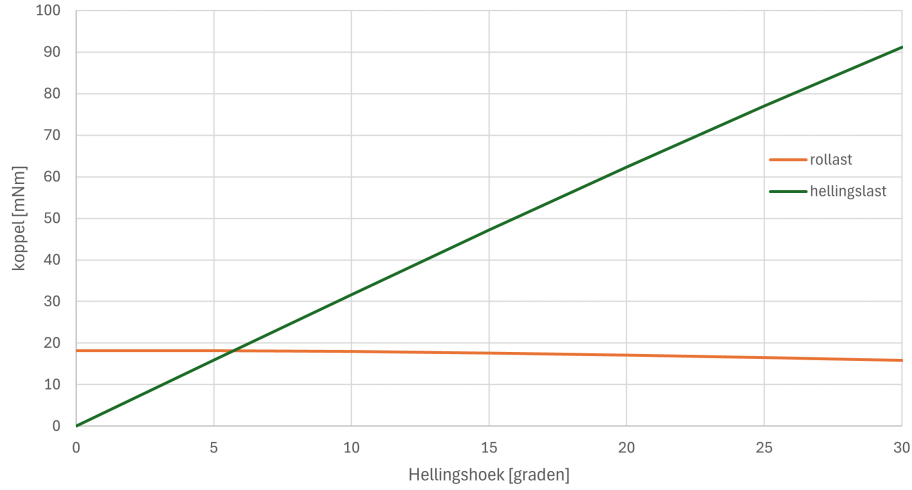
Figuur 2: hellinglast krachten

Formules:

$$\begin{aligned} T_{last} &= f_Z \cdot \sin(\alpha) \cdot r \\ F_Z &= m \cdot g \\ \Downarrow \\ T_{last} &= 2.43 \cdot \sin(20) \cdot 0.075 = 62[mNm] \end{aligned} \quad (2)$$

constante:

$$\begin{aligned} r &= 0,075[m] \\ m &= 1,5[N] \\ g &= 1,62[m/s^2] \\ \alpha &= 20^\circ \end{aligned}$$



Figuur 3: rollast vs hellingslast onder verschillende hoeken

In figuur 3 is te zien hoe de rolweerstand en de hellingsweerstand zich gedragen ten opzichte van verschillende hellingshoeken. In de grafiek is te zien dat vanaf een hoek van 5.72° de moonrover altijd stil zal blijven staan. Dit komt doordat de moonrover tot dit punt nog niet voorbij zijn rollast komt. Het snijpunt van de rollast met de hellingslast wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned}
 T_{rollast} &= T_{hellingslast} \\
 f_{rol} \cdot F_N \cdot r &= F_N \cdot \sin(\alpha) \cdot r \\
 f_{rol} &= \sin(\alpha) \\
 0.1 &= \sin(\alpha) \\
 \alpha &= \sin^{-1}(0.1) \\
 \alpha &= 5.72^\circ
 \end{aligned} \tag{3}$$

3.3 Grip

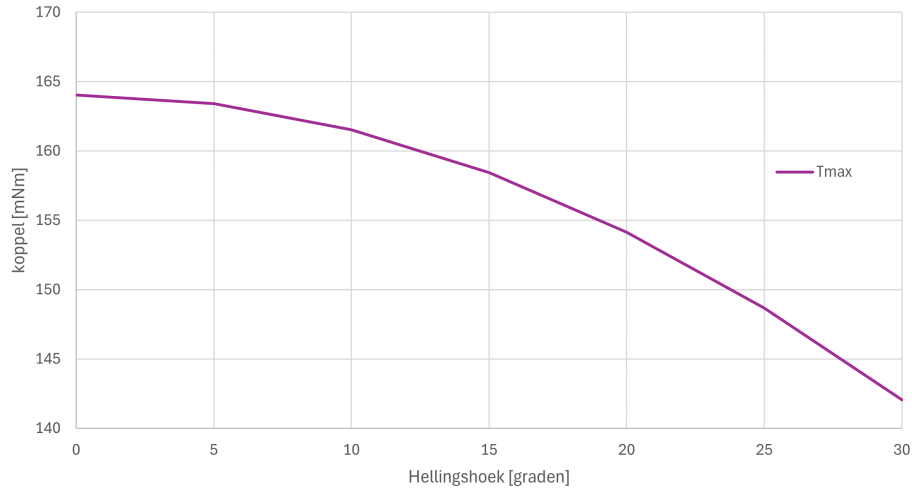
Onder grip verstaan we de hoeveelheid koppel die op de aandrijving gegeven kan worden zonder dat het wiel zal gaan slippen. Hierbij berekenen we dus ook wat het maximale koppel is die gegeven kan worden op de aandrijving.

Formules:

$$\begin{aligned}
 T_{max} &= \mu \omega \cdot F_N \cdot r \\
 F_N &= m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \\
 \downarrow \\
 T_{max} &= 0.9 \cdot 2.43 \cdot 0.075 = 164.03 [mNm]
 \end{aligned} \tag{4}$$

constante:

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0.9 \\
 r &= 0.075 [m] \\
 m &= 1.5 [N] \\
 g &= 1.62 [m/s^2] \\
 \alpha &= 0^\circ
 \end{aligned}$$



Figuur 4: T_{max}

In figuur 4 is te zien hoe de maximale koppel zich weerhoud tegen de hellingshoek. Hierbij is duidelijk te zien dat de maximale koppel afneemt naarmate de hellingshoek groter wordt.

3.4 Versnelling

Hier word het koppelloverschot berekend wat nodig is om de beoogde versnelling te behalen voor het wiel;

Formules:

$$T_{acc} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$omtrek_{wiel} = 2 \cdot \pi \cdot r = 0.47[m]$$

$$Hoekversnelling = \frac{a}{omtrek_{wiel}} = 1.49[omwentelingen/s^2]$$

$$= 9.36[rad/s^2]$$

↓

$$T_{acc_{wiel}} = 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot 9.36 = 19.6[mNm] \quad (5)$$

constante:

$$a = 0.7[m/s^2]$$

$$J = 2.1 \cdot 10^{-3}[kg \cdot m^2]$$

$$r = 0.075[m]$$

$$g = 1.62[m/s^2]$$

$$\alpha = 0^\circ$$

Het koppel wat nodig is om het karretje te laten accelereren;

Formules:

$$F = m \cdot a$$

$$T_{acc_{karretje}} = F \cdot r \quad (6)$$

↓

$$T_{acc_{karretje}} = 1.5 \cdot 0.7 \cdot 0.075 = 78.75[mNm]$$

constante:

$$a = 0.7[m/s^2]$$

$$r = 0.075[m]$$

$$m = 1.5[N]$$

Het koppel wat dan nodig is om het wiel en het karretje te laten accelereren is dan als volgt;

Formules:

$$T_{acc_{totaal}} = T_{acc_{wiel}} + T_{acc_{karretje}} \quad (7)$$

↓

$$T_{acc_{totaal}} = 19.6 + 78.75 = 98.35[mNm]$$

constante:

$$T_{acc_{wiel}} = 19.6[mNm]$$

$$T_{acc_{karretje}} = 78.75[mNm]$$

3.5 Snelheid

Hier berekenen we de maximale rpm waarbij de maximale snelheid van van 2.1 m/s niet word overtroffen.

Formules:

$$omtrek = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$snelheid = \frac{speed_{max}}{omtrek} = \frac{2.1}{0.47} = 4.46[omw/s] \quad (8)$$

$$\Downarrow$$

$$= 267.4[rpm]$$

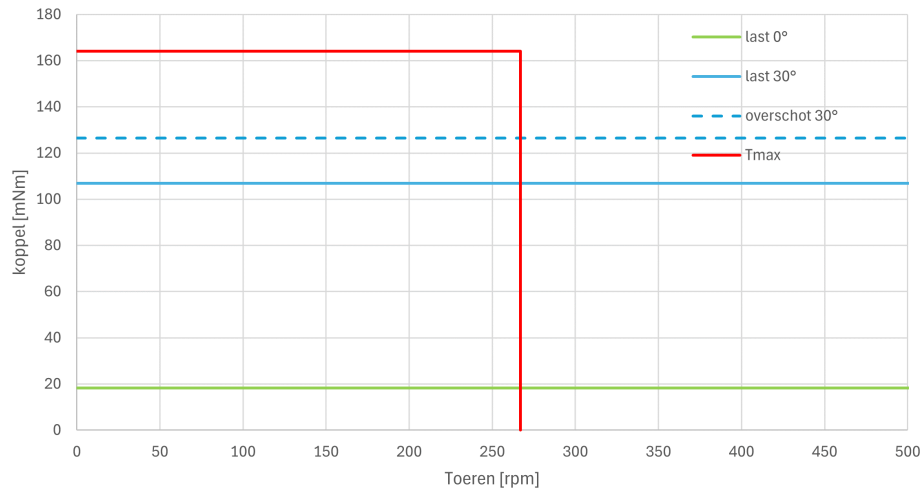
constante:

$$speed_{max} = 2.1[m/s]$$

$$r = 0,075[m]$$

3.6 Conclusie

In dit hoofdstuk heb je kunnen lezen hoe we de lasten van de moonrover hebben bepaald. Dit was nodig om een geschikte motor te kunnen selecteren voor de moonrover. In afbeelding 5 is het werkgebied te zien van de moonrover door middel van de rode lijnen. In het volgende hoofdstuk zal er een geschikte motor en transmissie geselecteerd worden die juist aansluit bij deze last.



Figuur 5: Lasten moonrover

4 Motor

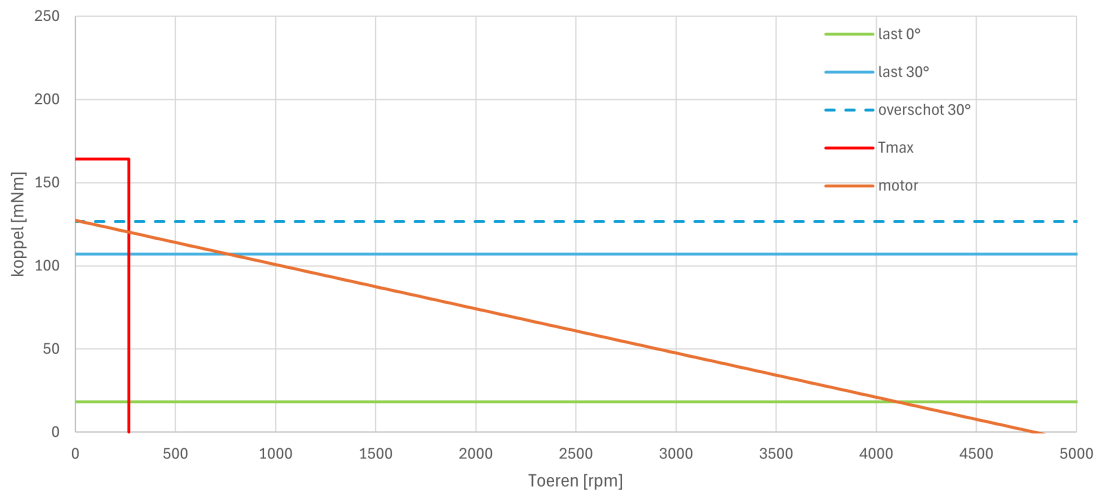
In het vorige hoofdstuk is zijn de lasten van de moonrover bepaald. Op basis van deze gegevens kunnen we de juiste motor gaan selecteren voor de moonrover. Door de leverancier 'Maxon' is er een advies gedaan van een reeks motoren en transmissies;

motor :RE251187xx
transmissie :PlanetaryGearheadGPxxx

In dit hoofdstuk zullen wij een keuze gaan maken voor een specifieke motor in combinatie met een specifieke transmissie.

4.1 Motorkeuze

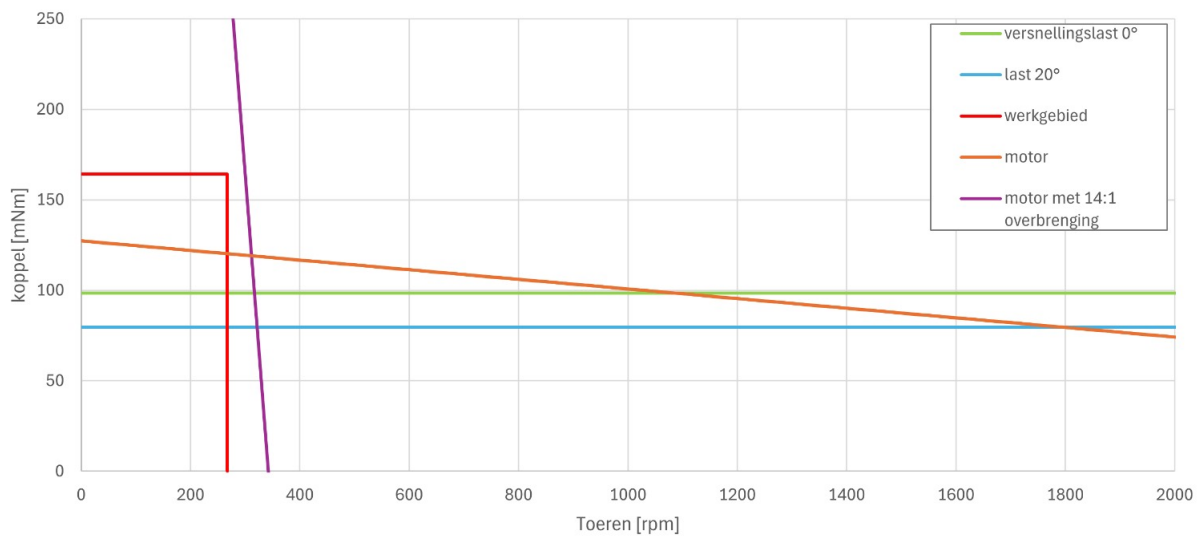
Binnen de aangegeven maxon reeks hebben wij gekozen voor de RE25 118745. In theorie is het mogelijk om elke motor te kiezen binnen de aangegeven reeks in combinatie met de juiste transmissie. Voor deze specifieke situatie hebben we gekozen voor de RE25 118745. Dit is een wat kleinere motor binnen de reeks, echter is het mooie van deze motor dat hij een efficiëntie van 90% heeft. In afbeelding 6 is te zien hoe de koppel-toeren karakteristiek van de motor zich weerhoud tegen de last. In combinatie met de juiste transmissie kan deze motor goed ingezet worden bij de moonrover. In Bijlage A is de datasheet te zien van deze motor.



Figuur 6: koppel-toeren karakteristiek RE25 118745

4.2 transmissiekeuze

In afbeelding 6 is duidelijk te zien dat een transmissie aan te raden is voor het gebruiken van deze motor in de situatie van de moonrover. Het maximale koppel is eigenlijk aan de lage kant en zonder transmissie maakt de motor veel te veel toeren. Door gebruik te maken van een transmissie kunnen we er voor zorgen dat er meer koppel beschikbaar komt met minder toeren. Hierdoor zal de motor efficiënter gaan werken omdat hij minder torque hoeft te leveren en hij vaker rond zijn nominale toerental zal draaien. In de datasheet van de motor (bijlage A) worden er voor deze motor een aantal transmissies aangeraden binnen deze selectie en de selectie van maxon hebben wij gekozen voor de Planetary Gearhead GP 32 A 166158. Deze transmissie heeft een gear ratio van 14:1 en een efficiëntie van 75%. Met deze eigenschappen zal de koppel-toeren karakteristiek veranderen wat te zien is in afbeelding 7 hier is duidelijk te zien dat met deze transmissie de wielen niet veel te hard kunnen draaien en dat er meer dan voldoende torque beschikbaar is voor de moonrover. Het extra koppeloverschot zorgt er ook nog voor dat de motor niet te hard hoeft te werken om de moonrover te kunnen verplaatsen.



Figuur 7: koppel-toeren karakteristiek met GP 32 A 166158

4.3 efficiëntie

Hieronder wordt het vermogen berekend wat de motor opneemt bij een bepaalde hoeveelheid koppel.

Formules:

$$\begin{aligned}
 P &= F \cdot v \\
 F &= \frac{T}{r} \\
 \Downarrow \\
 P &= 5.25[W]
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

constante:

$$\begin{aligned}
 v &= 2.1[m/s] \\
 T &= 0.1265[mNm] \\
 r &= 0.075[m]
 \end{aligned}$$

De motor heeft een efficiëntie van een 90%

De transmissie heeft een efficiëntie van 75%

Samen komt dit op een totale efficiëntie van 67,5%

Dit betekent dat er van het vermogen wat er in de motor gaat er 67,5% effectief gebruikt wordt en de rest opgaat in warmte.

4.4 Warmte dissipatie

De motoren worden geleverd door het merk Maxon. Maxon heeft aangegeven dat zij de gekozen motor "maan bestendig" zullen maken. Hierbij zal ook rekening gehouden worden met de temperatuurverschillen op de maan en de warmte dissipatie hiervan.

Conclusie

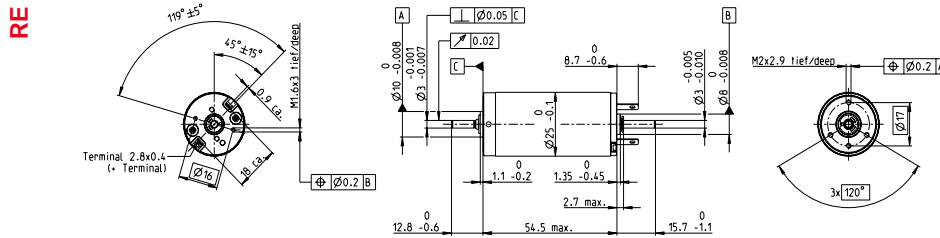
Het onderzoek naar de aandrijftechniek van de moonrover heeft geleid tot de selectie van de RE25 118745 motor in combinatie met de Planetary Gearhead GP 32 A 166158 transmissie. De keuze voor deze motor is gebaseerd op zijn efficiëntie van 90%, wat gunstig is voor de prestaties van de moonrover. De transmissie is essentieel gebleken om het maximale koppel te behalen en de motor rond zijn nominale toerental te laten werken. De berekende totale efficiëntie van 67,5% benadrukt het belang van het optimaliseren van zowel de motor als de transmissie voor een effectieve aandrijving van de moonrover. In conclusie biedt dit onderzoek een solide basis voor de verdere ontwikkeling en implementatie van de diverse componenten in de moonrover, met een focus op efficiëntie, prestaties en betrouwbaarheid in een uitdagende omgeving.

Referenties

- [1] B. Bozon. [Online]. Available: <https://canvas.hu.nl/courses/39370>
- [2] Maxongroup. [Online]. Available: <https://www.maxongroup.nl/maxon/view/catalog>

A Datasheet RE25 118745

RE 25 Ø25 mm, precious metal brushes CLL, 10 watt



M 1:2

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

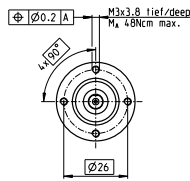
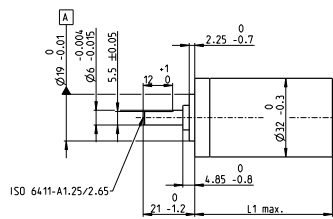
Part Numbers

Motor Data		118740	118741	118742	118743	118744	118745	118746	118747	118748										
Values at nominal voltage																				
1 Nominal voltage	V	4.5	8	9	12	15	18	24	32	48										
2 No load speed	rpm	5360	5320	5230	4850	4990	4790	5190	5510	5070										
3 No load current	mA	79.7	44.4	38.7	26.3	21.8	9.88	14.4	11.7	6.96										
4 Nominal speed	rpm	4980	4520	4220	3800	3920	3710	4130	4450	4000										
5 Nominal torque	mNm	11.4	20.9	23.9	28.6	28.2	28.7	28	27.9	27.9										
6 Nominal current (max. continuous current)	A	1.5	1.5	1.5	1.24	1.01	0.811	0.652	0.516	0.317										
7 Stall torque	mNm	131	132	119	129	131	126	136	144	132										
8 Stall current	A	16.5	9.23	7.31	5.5	4.57	3.52	3.1	2.61	1.47										
9 Max. efficiency	%	87	87	86	87	87	90	87	87	87										
Characteristics																				
10 Terminal resistance	Ω	0.273	0.867	1.23	2.18	3.28	5.11	7.73	12.3	32.6										
11 Terminal inductance	mH	0.0275	0.0862	0.115	0.238	0.353	0.551	0.832	1.31	3.48										
12 Torque constant	mNm/A	7.99	14.3	16.3	23.5	28.6	35.8	43.9	55.2	89.9										
13 Speed constant	rpm/V	1200	668	584	406	334	267	217	173	106										
14 Speed/torque gradient	rpm/mNm	40.9	40.5	4.4	37.7	38.3	38.2	38.3	38.5	38.6										
15 Mechanical time constant	ms	4.99	4.4	4.37	4.25	4.23	4.22	4.22	4.22	4.23										
16 Rotor inertia	gcm ²	11.7	10.4	9.49	10.8	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5										

Specifications	Operating Range	Comments
Thermal data	n [rpm]	Continuous operation
17 Thermal resistance housing-ambient	14 K/W	In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
18 Thermal resistance winding-housing	3.1 K/W	= Thermal limit.
19 Thermal time constant winding	12.5 s	
20 Thermal time constant motor	612 s	
21 Ambient temperature	-20...+85°C	
22 Max. winding temperature	+100°C	
Mechanical data (ball bearings)	M [mNm]	Short term operation
23 Max. speed	5500 rpm	The motor may be briefly overloaded (recurring).
24 Axial play	0.05 - 0.15 mm	
25 Radial play	0.025 mm	
26 Max. axial load (dynamic)	3.2 N	
27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	64 N	
28 Max. radial load, 5 mm from flange	800 N	
28 Max. radial load, 5 mm from flange	16 N	
Other specifications	Modular System	Details on catalog page 44
29 Number of pole pairs	1	
30 Number of commutator segments	11	
31 Weight of motor	130 g	
CLL = Capacitor Long Life		
Values listed in the table are nominal. Explanation of the figures on page 90.		
Option		
Preloaded ball bearings		
	Gear	Sensor
	416_GP 26 A	510_Encoder MR 128-1000 CPT
	418_GP 32 BZ	515_Encoder Enc 22
	419_GP 32 A	518_Encoder HEDS 5540
	422_GP 32 C	520_Encoder HEDL 5540
	429_KD 32	527_DC-Tacho DCT 22
	452-460_GP 32 S	
		Motor Control
		532_ESCON Module 24/2
		532_ESCON 36/2 DC
		533_ESCON Module 50/5
		535_ESCON 50/5
		541_EPOS4 Micro 24/5
		542_EPOS4 Module 24/1.5
		542_EPOS4 Module 50/5
		543_EPOS4 Compact 24/5 3-axes
		544_EPOS4 Compact 24/1.5
		545_EPOS4 Compact 50/5
		547_EPOS4 50/5

B Datasheet GP 32 A 166158

Planetary Gearhead GP 32 A Ø32 mm, 0.75–4.5 Nm



M 1:2

Technical Data

Planetary Gearhead	straight teeth				
Output shaft	stainless steel				
Shaft diameter as option	8 mm				
Bearing at output	ball bearing				
Radial play, 5 mm from flange	max. 0.14 mm				
Axial play	max. 0.4 mm				
Max. axial load (dynamic)	120 N				
Max. force for press fits	120 N				
Direction of rotation, drive to output	=				
Max. continuous input speed	6000 rpm				
Recommended temperature range	-40...+100°C				
Number of stages	1	2	3	4	5
Max. radial load, 10 mm from flange	90 N	140 N	200 N	220 N	220 N

Option: Low-noise version

gear

<div><div><div></div></div><div>Stock program</div></div> <div><div><div></div></div><div>Standard program</div></div> <div><div><div></div></div><div>Special program (on request)</div></div>			Part Numbers											
			166155	166158	166163	166164	166169	166174	166179	166184	166187	166192	166197	166202
Gearhead Data														
1	Reduction		3.7:1	14:1	33:1	51:1	111:1	246:1	492:1	762:1	1181:1	1972:1	2829:1	4380:1
2	Absolute reduction		$29\frac{1}{2}$	$67\frac{1}{6}$	$82\frac{5}{16}$	$175\frac{17}{343}$	$4\frac{1}{2}$	$861\frac{1}{2}$	$171\frac{1}{175}$	$190\frac{4}{25}$	$1012\frac{1}{63}$	$861\frac{1}{2}$	$1691\frac{1}{175}$	$1089\frac{3}{25}$
3	Max. motor shaft diameter	mm	6	3	3	6	4	3	3	3	4	3	3	3
Part Numbers			166156	166159		166166	166170	166175	166180	166188	166193	166198	166203	
1	Reduction		4.8:1	18:1		66:1	123:1	295:1	531:1	913:1	1414:1	2189:1	3052:1	5247:1
2	Absolute reduction		24%	$62\frac{1}{6}$		$162\frac{25}{24}$	$687\frac{1}{6}$	$1010\frac{1}{2}$	$3317\frac{1}{625}$	$3603\frac{1}{4}$	$4245\frac{481}{1715}$	$5364\frac{40}{245}$	$1487\frac{1}{2}$	$939\frac{3}{25}$
3	Max. motor shaft diameter	mm	4	4		4	3	3	4	3	3	3	3	3
Part Numbers			166157	166160		166166	166171	166176	166181	166186	166189	166194	166199	166204
1	Reduction		5.8:1	21:1		79:1	132:1	318:1	589:1	1093:1	1526:1	2362:1	3389:1	6285:1
2	Absolute reduction		$23\frac{1}{4}$	$29\frac{1}{4}$		$388\frac{1}{49}$	$331\frac{25}{28}$	$3693\frac{1}{125}$	$2061\frac{1}{5}$	$2798\frac{41}{256}$	$9340\frac{4}{625}$	$2066\frac{1}{625}$	$4745\frac{1}{34}$	$6436\frac{3}{43}$
3	Max. motor shaft diameter	mm	3	3		3	3	4	3	3	4	3	3	3
Part Numbers				166161		166167	166172	166177	166182		166190	166195	166200	
1	Reduction			23:1		86:1	159:1	411:1	636:1		1694:1	2548:1	3656:1	
2	Absolute reduction			$57\frac{1}{25}$		$149\frac{17}{6}$	$158\frac{1}{10}$	$350\frac{42}{475}$	$784\frac{8}{25}$		$11822\frac{1}{686}$	$7902\frac{26}{1125}$	$45706\frac{8}{625}$	
3	Max. motor shaft diameter	mm		4		4	3	4	3		3	4	3	
Part Numbers				166162		166168	166173	166178	166183		166191	166196	166201	
1	Reduction			28:1		103:1	190:1	456:1	706:1		1828:1	2623:1	4060:1	
2	Absolute reduction			$1\frac{1}{6}$		$35\frac{19}{35}$	$121\frac{16}{64}$	$1581\frac{1}{56}$	$1581\frac{1}{224}$		$2238\frac{1}{1125}$	$2066\frac{27}{164}$	$3637\frac{1}{686}$	
3	Max. motor shaft diameter	mm		3		3	3	3	4		3	3	3	
4	Number of stages			2	2	3	2	3	4		3	5	2	5
5	Max. continuous torque	Nm	0.75	2.25	2.25	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
6	Max. intermittent torque at gear output	Nm	1.1	3.4	3.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
7	Max. efficiency	%	80	75	75	70	70	60	60	60	50	50	50	50
8	Weight	g	118	162	162	194	194	226	226	226	258	258	258	258
9	Average backlash no load	°	0.7	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	Mass inertia	gcm ²	1.5	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
11	Gearhead length L1	mm	26.5	36.4	36.4	43.1	43.1	49.8	49.8	49.8	56.5	56.5	56.5	56.5



maxon Modular System																
+ Motor	Page	+ Sensor/Brake		Page	Overall length [mm] = Motor length + gearhead length + (sensor/brake) + assembly parts											
RE 25	144/146				81.1	91.0	91.0	97.7	97.7	104.4	104.4	104.4	111.1	111.1	111.1	111.1
RE 25	144/146	MR		478	92.1	102.0	102.0	108.7	108.7	115.4	115.4	115.4	122.1	122.1	122.1	122.1
RE 25	144/146	Enc. 22		495	95.2	105.0	105.0	111.8	111.8	118.5	118.5	118.5	125.2	125.2	125.2	125.2
RE 25	144/146	HED.5540		486/488	101.9	111.8	111.8	118.5	118.5	125.2	125.2	125.2	131.9	131.9	131.9	131.9
RE 25	144/146	DCT 22		495	103.4	113.3	113.3	120.0	120.0	126.7	126.7	126.7	133.4	133.4	133.4	133.4
RE 25, 20 W	145				69.6	79.5	79.5	86.2	86.2	92.9	92.9	92.9	99.6	99.6	99.6	99.6
RE 25, 20 W	145	MR		478	80.6	90.5	90.5	97.2	97.2	103.9	103.9	103.9	110.6	110.6	110.6	110.6
RE 25, 20 W	145	HED.5540		487/490	90.4	100.3	100.3	107.0	107.0	113.7	113.7	113.7	120.4	120.4	120.4	120.4
RE 25, 20 W	145	DCT 22		495	91.9	101.8	101.8	108.5	108.5	115.2	115.2	115.2	121.9	121.9	121.9	121.9
RE 25, 20 W	145	AB 28		535	103.7	113.6	113.6	120.3	120.3	127.0	127.0	127.0	133.7	133.7	133.7	133.7
RE 25, 20 W	145	HED.5540/AB 28		487/535	120.9	130.8	130.8	137.5	137.5	144.2	144.2	144.2	150.9	150.9	150.9	150.9
RE 25, 20 W	146	AB 28		535	115.2	125.1	125.1	131.8	131.8	138.5	138.5	138.5	145.2	145.2	145.2	145.2
RE 25, 20 W	146	HED.5540/AB 28		486/535	124.2	134.1	134.1	140.8	140.8	147.5	147.5	147.5	154.2	154.2	154.2	154.2
RE 30, 15 W	147				94.6	104.5	104.5	111.2	111.2	117.9	117.9	117.9	124.6	124.6	124.6	124.6
RE 30, 15 W	147	MR		479	106.0	115.9	115.9	122.6	122.6	129.3	129.3	129.3	136.0	136.0	136.0	136.0
RE 30, 15 W	147	HED.5540		486/488	115.4	125.3	125.3	132.0	132.0	138.7	138.7	138.7	145.4	145.4	145.4	145.4
RE 30, 60 W	148				94.6	104.5	104.5	111.2	111.2	117.9	117.9	117.9	124.6	124.6	124.6	124.6
RE 30, 60 W	148	MR		479	106.0	115.9	115.9	122.6	122.6	129.3	129.3	129.3	136.0	136.0	136.0	136.0
RE 30, 60 W	148	HED.5540		486/488	115.4	125.3	125.3	132.0	132.0	138.7	138.7	138.7	145.4	145.4	145.4	145.4
RE 35, 90 W	149				97.6	107.5	107.5	114.2	114.2	120.9	120.9	120.9	127.6	127.6	127.6	127.6
RE 35, 90 W	149	MR		479	109.0	118.9	118.9	125.6	125.6	132.3	132.3	132.3	139.0	139.0	139.0	139.0
RE 35, 90 W	149	HED.5540		486/488	118.3	128.2	128.2	134.9	134.9	141.6	141.6	141.6	148.3	148.3	148.3	148.3
RE 35, 90 W	149	DCT 22		495	115.7	125.6	125.6	132.3	132.3	139.0	139.0	139.0	145.7	145.7	145.7	145.7
RE 35, 90 W	149	AB 28		535	133.7	143.6	143.6	150.3	150.3	157.0	157.0	157.0	163.7	163.7	163.7	163.7
RE 35, 90 W	149	HEDS 5540/AB 28		486/535	150.9	160.8	160.8	167.5	167.5	174.2	174.2	174.2	180.9	180.9	180.9	180.9

March 2021 edition / subject to change

maxon gear 393