

Labmeting

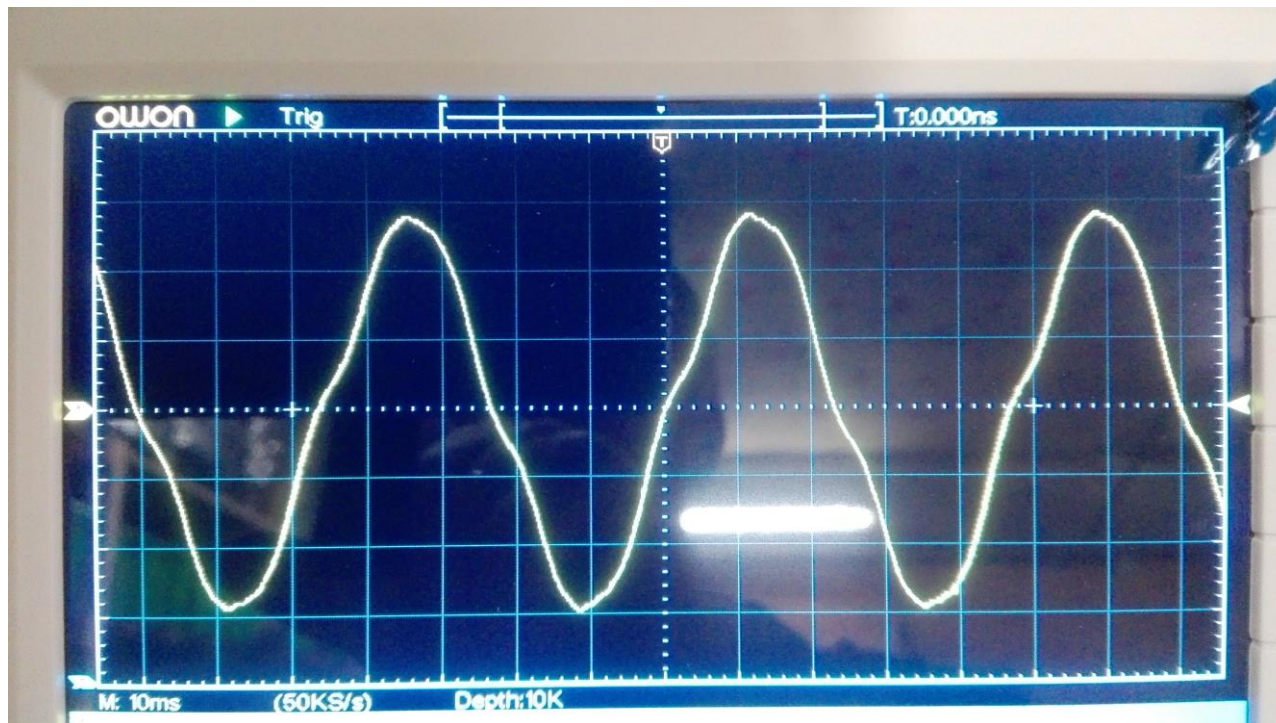
Urban Wind , Windmill 24 V AC 500 W nominal.

Uitgevoerd door :

Hans Struiksma

Duurzame Onderneming Kennemerland

Maart 2018



Spanningsvorm zoals opgewekt door de molengenerator

Samenvatting

De opgewekte spanning

De spanning van de generator wordt opgegeven als 24 V AC nominaal.

De open spanning bij het nominaal toerental (900 TPM) is echter 48 V AC. Hogere toerentallen zijn mogelijk en dan komt de open spanning boven de 50V AC. Zonder belasting kan de spanning dus in de gevaarlijke categorie vallen. (De NEN 1010 geeft aan dat 50V AC als gevaarlijke spanning moet worden beschouwd)

De opgewekte frequentie

De frequentie van de opgewekte spanning is 6 x hoger dan verwacht wordt vanuit het toerental. Dat wil zeggen 900 TPM (is normaal 15 Hertz) geeft een frequentie van 90 Hertz.

Vervangende inwendige weerstand van de generator.

De inwendige weerstand (afgezien van de inductieve weerstand) is afgerond 1,1 Ohm. Bij hogere windsnelheden gaat de inductieve weerstand wel een rol spelen, maar blijft laag.

Inductieve weerstand van de generator

Deze ligt in de grootte orde van 0,5 tot 0,7 mH. De inductieve weerstand ligt bij nominaal toerental op ongeveer 0,34 Ohm.

Ster of driehoek

Uit de meting is de conclusie getrokken dat de generator in ster geschakeld is.

Dat wil zeggen dat elke spoel van de generator nominaal 24 V AC kan leveren, maar dat de manier van aansluiten/ verbinden heeft gezorgd voor een lijnspanning van nominaal groter dan 50 V AC. Dat is op zich gunstig i.v.m. de max stroom. Beter een hogere spanning , dan een te hoge stroom.

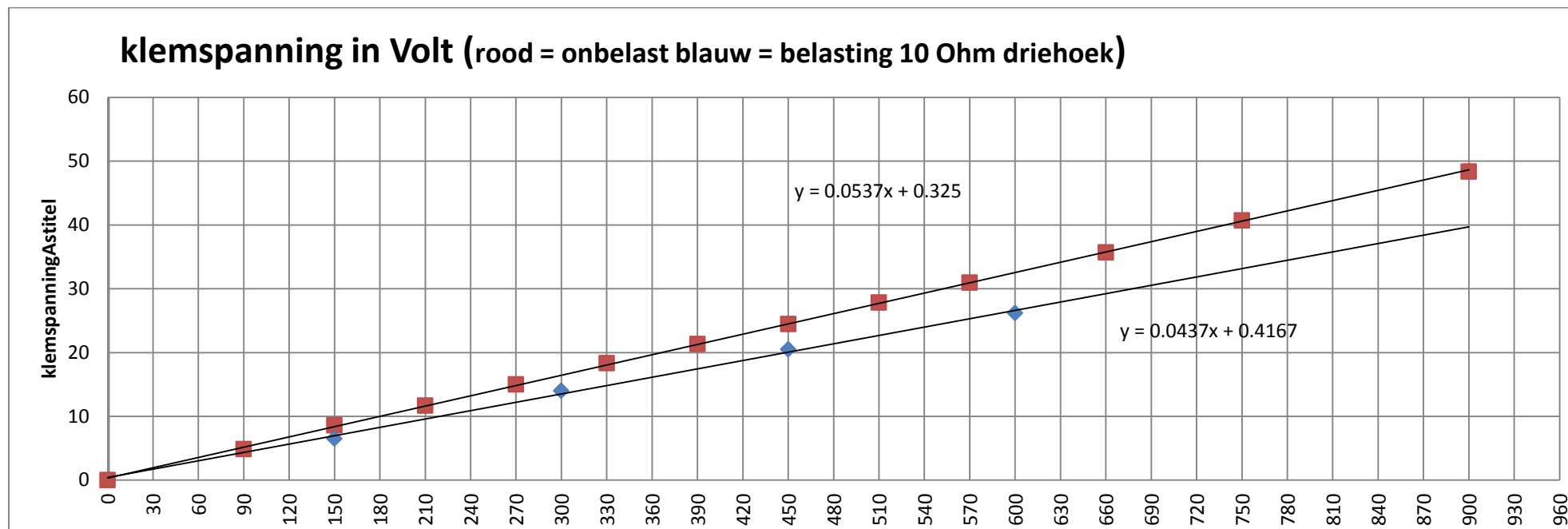
Nominaal vermogen en belasting die daarbij hoort.

Volgens specificatie van de molen is het nominale vermogen 500W. Dit is haalbaar bij een toerental van 990 TPM. De belastingweerstand (in ster) moet dan wel in de buurt van de 1 Ohm liggen. Meer specifiek; R moet tussen 1,2 en 0,8 Ohm in liggen.

Opwekking van warmte en de optimale regeling

De constatering dat de sterweerstand in de buurt van de 1 Ohm moet liggen maakt de regeling van de belasting redelijk simpel. Er moet continu een belasting van ongeveer 1 Ohm op de molen aangesloten zijn. Deze belasting werkt meteen als stormbeveiliging.

De nullast grafiek + belasting met 10 Ohm driehoek geschakeld.



De lijn met de rode punten is de nullast grafiek (driefasen spanning AC gemeten, en gemiddeld). Op de x-as staan de toerentallen weergegeven.

De formule van de trendlijn is in de grafiek gegeven. In verdere berekeningen wordt de constante factor 0,325 weggelaten. Dit is een fout ontstaan bij het invoeren van de trendlijn.

De blauwe lijn geeft de klemspanning van de generator bij een belasting van 10 Ohm in driehoek geschakeld. De trendlijn van de blauwe meetpunten is geëxtrapoleerd**, naar het nominale toerental van 900 TPM. Bij dit toerental kunnen we dus een spanningsverlies van ongeveer 10V verwachten.

Dit spanningsverlies is het gevolg van de interne Ohmse weerstand en interne inductieve weerstand.

** Opmerking

In de meetopstelling is een motor gebruikt die een te laag vermogen had (bij gebrek aan beter). Vermogens hoger dan 250 Watt waren niet mogelijk.

Bij de opleidingsschool van Tata wordt de meting nog een keer uitgevoerd met zwaardere apparatuur.

Interne inductie weerstand en Ohmse weerstand

De Ohmse weerstand van 1 fase is gelijk aan 1,1 Ohm. (Dat is de weerstand van de draad in de spoel)

De zelfinductie van de fasen is ongeveer gelijk aan 0,6 mH (milli Henry).

De Ohmse interne weerstand zal over het toerentalgebied constant blijven.

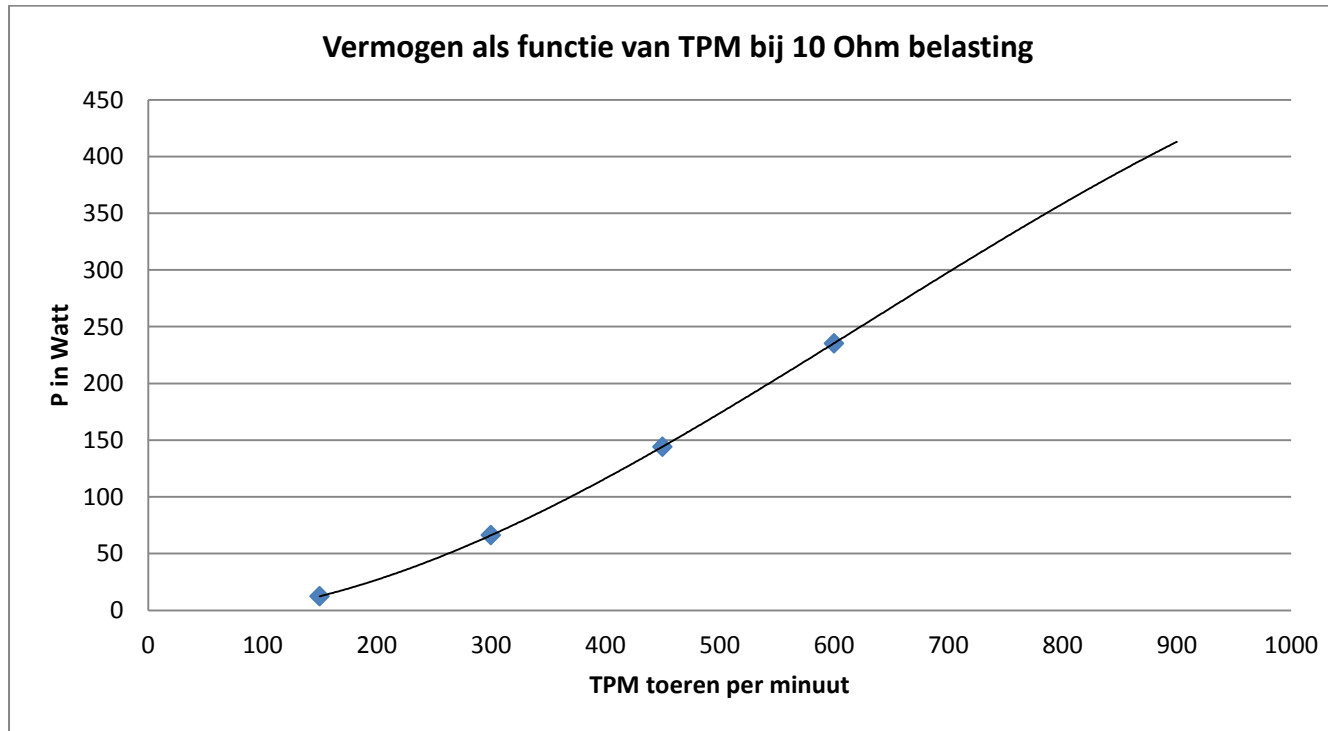
De inductieve weerstand zal echter groter worden als het toerental toeneemt. Zie onderstaande tabel met de berekening van de inductieve weerstand

Weerstand van inductie bij verschillende toerentallen

TPM	X_l	
0	0.00	Ohm
90	0.03	Ohm
150	0.06	Ohm
210	0.08	Ohm
270	0.10	Ohm
330	0.13	Ohm
390	0.15	Ohm
450	0.17	Ohm
510	0.19	Ohm
570	0.22	Ohm
660	0.25	Ohm
750	0.29	Ohm
900	0.34	Ohm

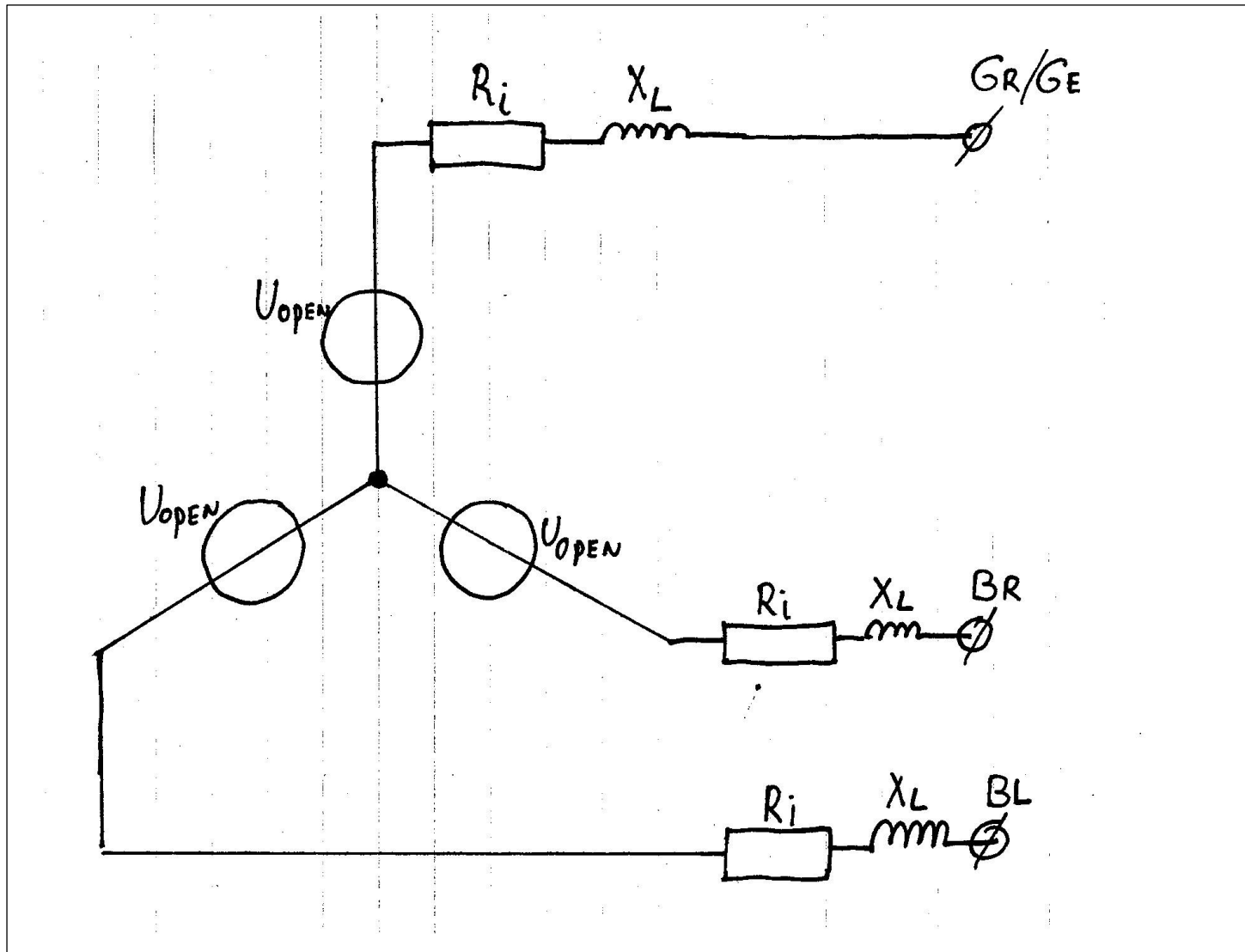
In de berekeningen die gemaakt worden met het vervangingsmodel van de generator, wordt de inductieve weerstand wel meegenomen.

Vermogen opgewekt bij een 3 fase driehoek belasting van 3 keer 10 Ohm.



Uit de bovenstaande grafiek valt af te lezen dat bij nominale toerental van 900 TPM het vermogen ongeveer 400 Watt is. Dat is dus niet vermogen volgens de specificaties.

Vervangingschema van de molengenerator



R_i is de inwendige Ohmse weerstand van 1,1 Ohm

X_L staat voor de inductieve weerstand en deze is gelijk aan $0,00038 \times TPM$

Berekeningen a.d.h.v. het vervangingschema.

belasting in ster geschakeld

Stroom

TPM	R = 10 Ohm	R = 8 Ohm	R = 6 Ohm	R = 4 Ohm	R = 3 Ohm	R = 2 ohm	R = 1 Ohm	R = 0,5 Ohm	R = 0.3 Ohm	R = 0 Ohm
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.23	0.29	0.37	0.51	0.63	0.84	1.24	1.63	1.86	2.36
180	0.47	0.57	0.73	1.02	1.27	1.68	2.48	3.25	3.71	4.73
270	0.70	0.86	1.10	1.53	1.90	2.52	3.71	4.87	5.56	7.09
360	0.94	1.14	1.47	2.04	2.54	3.35	4.94	6.48	7.40	9.46
450	1.17	1.43	1.83	2.55	3.17	4.19	6.17	8.08	9.22	11.82
540	1.41	1.71	2.20	3.06	3.80	5.02	7.40	9.68	11.03	14.19
630	1.64	2.00	2.56	3.57	4.43	5.86	8.61	11.25	12.82	16.55
720	1.87	2.29	2.93	4.07	5.06	6.69	9.83	12.82	14.59	18.92
810	2.11	2.57	3.29	4.58	5.69	7.51	11.03	14.37	16.33	21.28
900	2.34	2.86	3.66	5.09	6.32	8.34	12.23	15.90	18.05	23.65
990	2.58	3.14	4.02	5.60	6.95	9.16	13.41	17.41	19.74	26.01
1080	2.81	3.43	4.39	6.10	7.58	9.98	14.59	18.90	21.40	28.38
1170	3.04	3.71	4.75	6.61	8.20	10.80	15.75	20.36	23.02	30.74
1260	3.28	4.00	5.12	7.11	8.82	11.61	16.91	21.80	24.61	33.11
1350	3.51	4.28	5.48	7.61	9.44	12.42	18.05	23.22	26.17	35.47
1440	3.74	4.57	5.84	8.11	10.06	13.22	19.18	24.61	27.69	37.83

Vermogen dat geleverd wordt

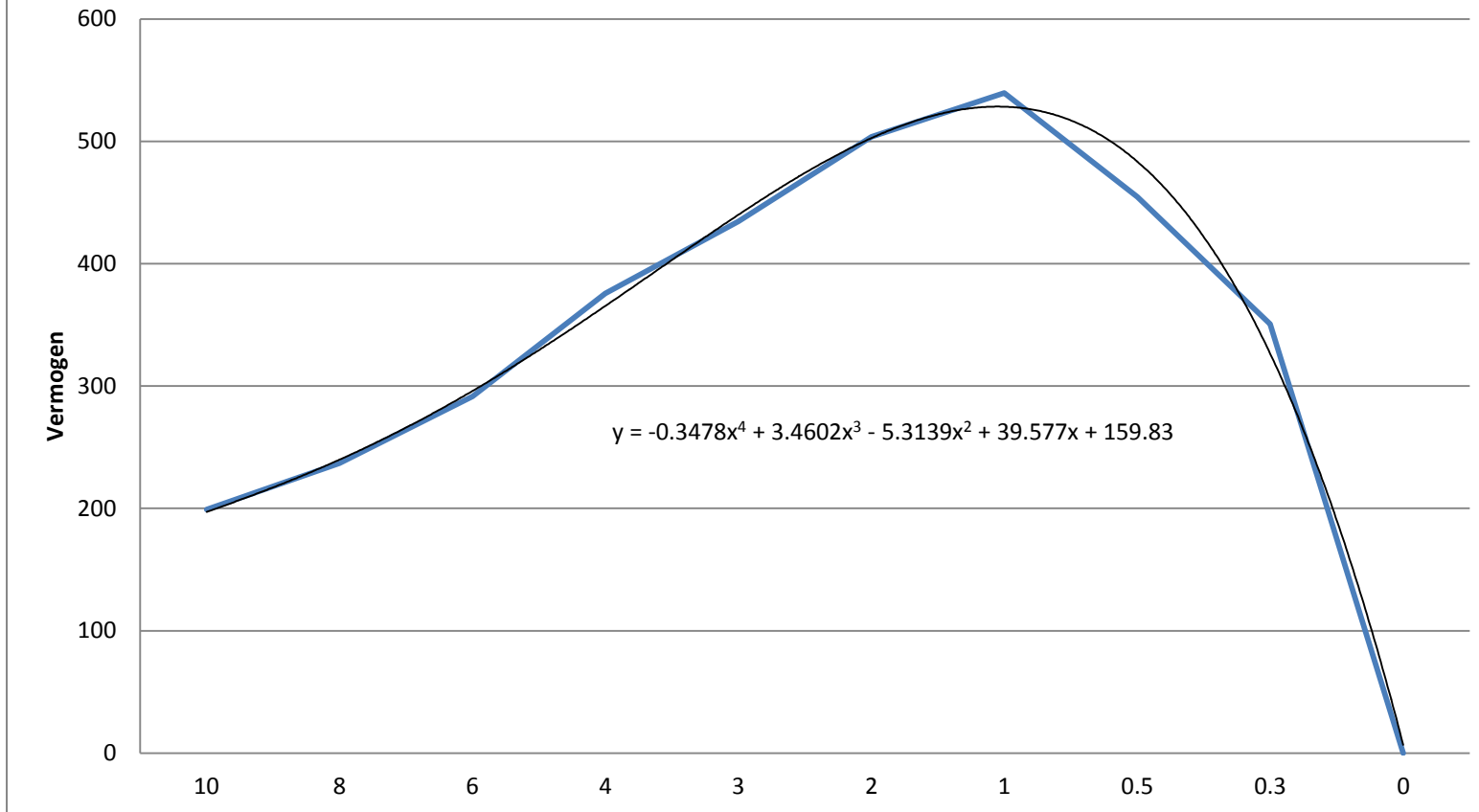
cos phi bij 1 Ohm belasting	toerental	R = 10 Ohm	R = 8 Ohm	R = 6 Ohm	R = 4 Ohm	R = 3 Ohm	R = 2 ohm	R = 1 Ohm	R = 0,5 Ohm	R = 0.3 Ohm	R = 0 Ohm
1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	90	2	2	2	3	4	4	5	4	3	0
1.00	180	7	8	10	12	14	17	18	16	12	0
1.00	270	15	18	22	28	33	38	41	36	28	0
1.00	360	26	31	39	50	58	67	73	63	49	0
1.00	450	41	49	60	78	90	105	114	98	77	0
1.00	540	59	71	87	112	130	151	164	140	109	0
0.99	630	81	96	118	153	177	206	223	190	148	0
0.99	720	105	125	154	199	231	268	290	247	192	0
0.99	810	133	159	195	252	292	339	365	310	240	0
0.99	900	165	196	241	311	360	417	448	379	293	0
0.98	990	199	237	292	376	435	504	540	455	351	0
0.98	1080	237	282	347	447	516	598	638	536	412	0
0.98	1170	278	331	407	524	605	700	744	622	477	0
0.97	1260	322	383	471	606	700	809	858	713	545	0
0.97	1350	370	440	541	695	802	925	977	809	616	0
0.97	1440	421	500	615	790	911	1049	1103	909	690	0

Eerst wordt de stroom berekend bij verschillende toerentalen en verschillende belastingweerstand. Zoals verwacht loopt de stroom op als de belastingweerstand kleiner wordt en het toerental constant is. Dat wil echter niet zeggen dat het geleverde vermogen ook automatisch toeneemt. Er is een optimum in dit soort gevallen en dat ligt bij een belastingweerstand die gelijk is aan de interne Ohmse weerstand (waarbij hier voor het gemak toch de inductie weerstand verwaarloosd is)

Dit optimum geldt bij elk toerental. Dat betekent dat het regelmodel voor de opwarming van water simpel is: Zorg dat belastingweerstand 1 Ohm +/- 20 % is.

Vermogen als functie van de belasting weerstand Ster

toeren per minuut is 990



Het optimum duidelijk gemaakt in een grafiek. De trendlijn die is toegevoegd heeft een kantelpunt bij 1 Ohm. Op de x-as zijn de waarden van de belasting weerstand weergegeven.

Bijlage 1

Gebruikte apparatuur



Multimeter Volcraft VC-5080
Emerson Commander SK frequentie omvormer 0,75 kW
KSA motor Mez Mohelnice 0,37 kW
Owon scope SDS 1102
Uni-T componenten meter UT603 (voor meting zelfinductie)
Faget AC Ampère meters 1,5 klasse 2
Dylink draadgewonden potentiometers . 100 Ohm

