

3-phase ac source

Bouw in 1980 bij Holec door Koos Bouwknecht



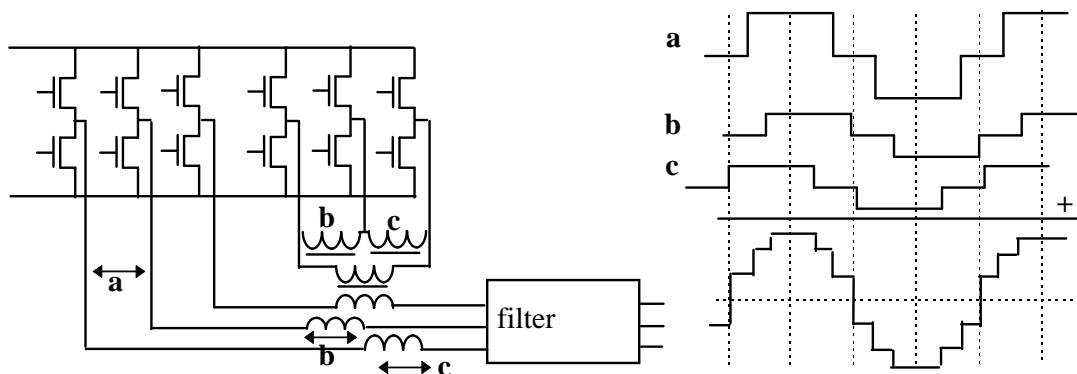
dc Input	0 - 50Vdc (9A max)
ac Output:	3 phase without neutral
Frequency	40 - 4000 Hz
Waveform	sinewave, THD < 3%
Rating	400VA
Efficiency	85 .. 90%
RMS. voltage	1.5 x Vdc (75V max)
RMS. current	3A
Size	42 x 31 x 16 cm (19"x 4U)
Mass	18 kg

De generator gebruikt een externe DC bron (0-50V) waarmee ook de amplitude van de uitgangsspanning wordt geregeld. De rms. waarde van de gekoppelde uitgangsspanning is 1.5x de DC spanning. Zonodig kan een **optionele** print worden geplaatst om V_{ac} te regelen bij vaste V_{dc} . Er is **geen** galvanische scheiding om het gewicht van de unit laag te houden, en ook **geen nul** aan de uitgang. Waar scheiding of sterpunt gewenst is, moet een externe 3-fase trafo worden toegevoegd. Er zitten 2 BNC connectors op[het front. De linker zit via een 7:1 trafo'tje aan de R en S klemmen om de golfvorm te monitoren, de rechter geeft een blokspanning voor een frequentiemeter.

Golfvorm synthese

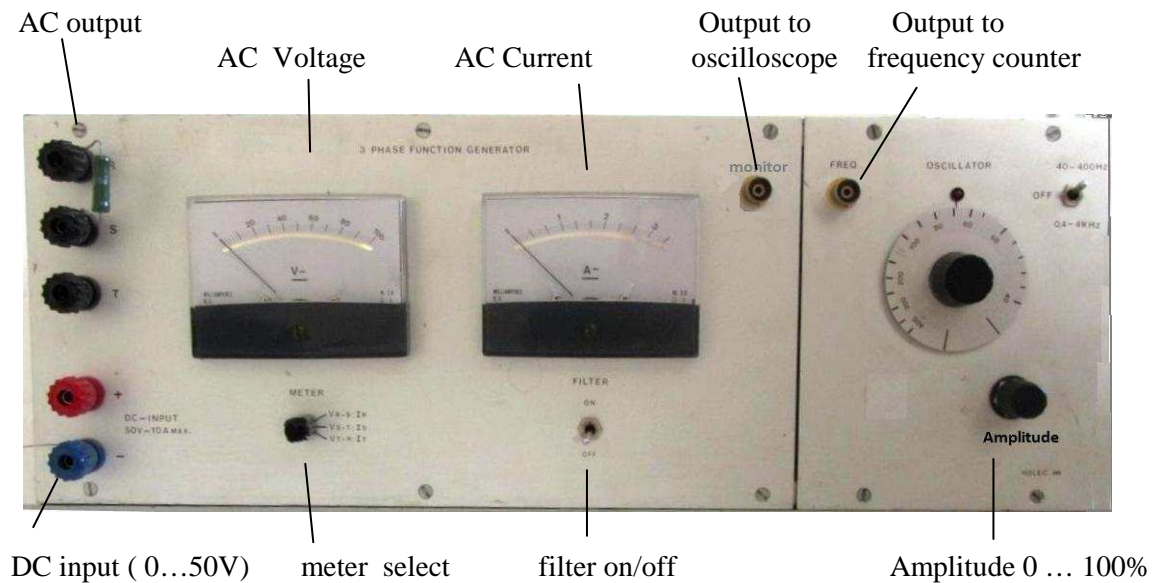
De omzetter heeft 6 takken van ieder twee fets, die alle een symmetrische blokspanning op de werkfrequentie produceren, echter met een onderling faseverschil van een veelvoud van 30 graden. De linker 3 takken (brug 1) hebben een onderling faseverschil van 120 graden. De rechter 3 takken (brug 2) hebben eveneens een onderling faseverschil van 120 graden, maar elk is 30 graden later dan de overeenkomstige tak in brug 1. Door de spanning uit brug 2 met drie 45/26V eenfase trafo's omlaag te transformeren, en op te tellen bij die uit brug 1, ontstaat een trapjes golfvorm die geen 2-3-4-5-6-7-8-9-10e harmonischen bevat, wel 11e en 13e. De drie trafos moeten precies wortel 3 op 1 gewikkeld zijn.

Alle 6 takstromen zijn gelijk in grootte en golfvorm, ongeacht de soort belasting.



Links komt de 0-50V binnen uit een externe voeding. De zes FET takken maken symmetrische blokspanningen. De spanning tussen twee takken is een quasiblok. De S-T uitgangsspanning is bijvoorbeeld opgebouwd uit de quasi blokspanningen a, b, en c, wat een trapjes kromme oplevert. **Optioneel** kan een print ingeplugd worden die extra knipjes in de zes blokvolgen maakt met regelbare breedte. Hiermee is de uitgangsspanning te regelen van 0 tot 100% bij vaste V_{dc} , hoewel met meer vervorming.

Using the 3-phase generator



1) Connect the mains connector on the rear side of the generator to a mains outlet for the auxiliary electronics. The red LED on top of the frequency dial will light.

2) Connect a DC power supply to the DC input of the generator, capable to provide up to 50A at up to 9A, depending on the load. RED is the positive terminal, blue is the minus terminal. The voltage is further called Vdc. Start with a low voltage, say 10V.

3) Optional - If required,

- you can connect an oscilloscope to the **monitor** (BNC) output. This is a floating output with a copy of the R-S waveform, scaled down by 7:1.

- and you can connect a frequency counter to the (BNC) **FREQ** output. This is also a floating output, with one pulse per cycle, 7Vpk, 20us wide. The pulse is always present, even without Vdc. The F pulse is also useful to trigger the oscilloscope.

4) The AC output voltage is proportional with Vdc, and with the position of the amplitude knob.

With the amplitude knob at max (fully CW) you can control the ac voltage with Vdc. This gives the best waveform.

When a fixed Vdc source is used, the ac voltage is to be adjusted with the amplitude knob. Between 45% and 100% , the distortion is still less than 4% , but below 45% amplitude, the distortion grows up to 40% .

The generator has 3 plug-in boards.: #1 auxiliary supply, #2 the basic functions, and #4 (optional) to provide for the reduction of the output voltage using a smart pulse-width method. Without the #4 board, the output voltage is 100%, regardless the position of the amplitude knob.

There is no voltage control loop. The output voltage depends on the load. At 50V dc , the no-load rms voltage is ca 81V, or at nominal load ca 73V. The theoretical line-to line voltage is 1.5 x Vdc

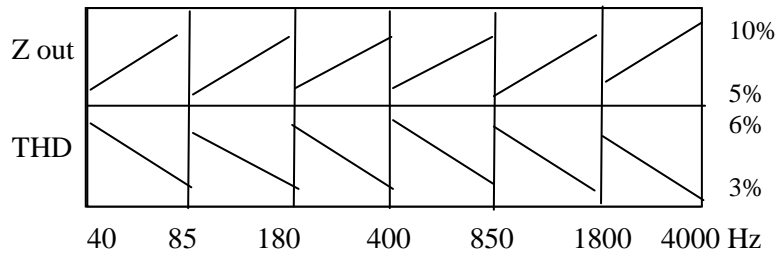
Mass:

Filter module	5.1 kg
Transfo module	5.9 kg
PA module + heatsink	3 kg
print rack and front	<u>4 kg</u> +
Total	18 kg

Het filter

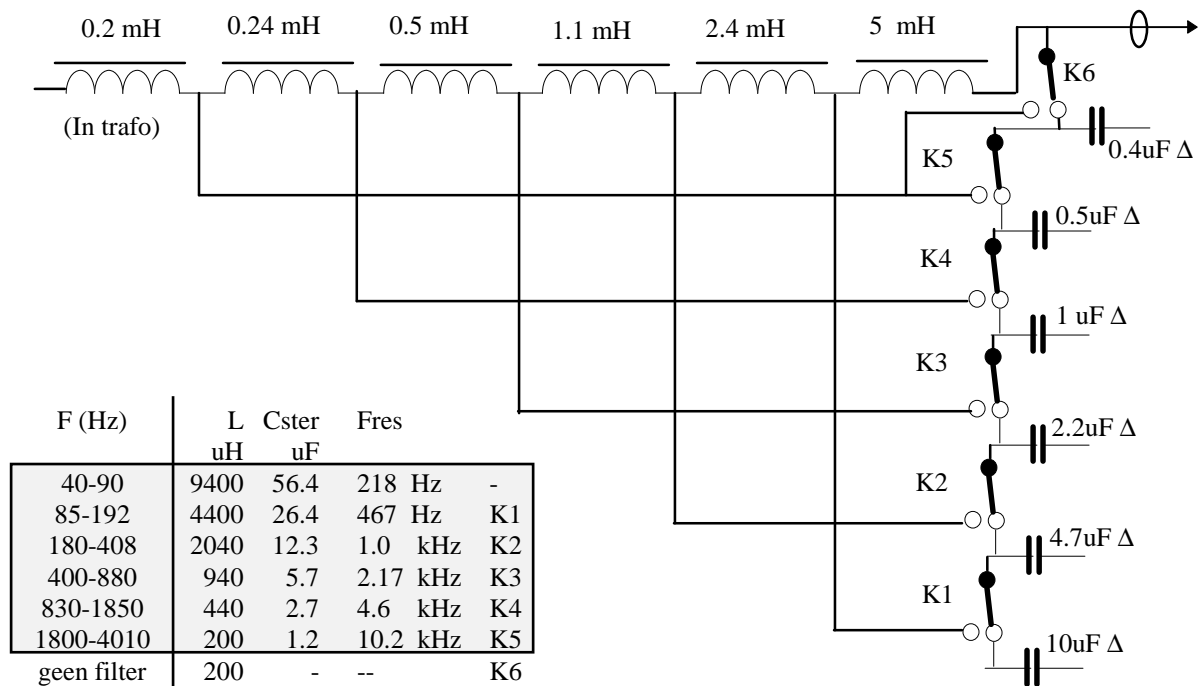
Een laagdoorlaat LC filter op ca 4x de werkfrequentie filtert de elfde en hogere harmonischen zodat een mooie sinus overblijft.

De afsnijfrequentie van het filter moet tussen de 2,5 en 5,5 x de werk frequentie zijn, zodat het filter een paar keer moet worden omgeschakeld om het hele frequentiebereik te doen.



De omschakeling gebeurt automatisch dmv relais. Binnen een schakelgebiedje wordt bij stijgende frequentie de vervorming steeds kleiner, maar de uitgangs impedantie neemt toe. De schakelgrenzen zijn een compromis tussen lage THD en teveel serie impedantie en verlies.

Het filter is gerealiseerd met $3 \times 5 = 15$ spoelen en $3 \times 6 = 18$ condensatoren. De condensatoren zijn in driehoek geschakeld. Voor de berekening van de afsnijfrequentie is de sterwaarde echter nodig, deze is 3 x de capaciteit van de in driehoek geschakelde condensatoren.



Het 40- 4000Hz frequentiebereik is opgedeeld in 6 stukjes, waarbinnen steeds een andere L en C in het filter zitten. De sturing van de relais K1-K5 gebeurt automatisch. Er is altijd maar één relais bekrachtigd. Elke relais heeft 4 wisselcontacten voor 4A~, waarvan één niet gebruikt. Het gehele filter kan uitgeschakeld worden met K6.

Met alle relais in rust (zoals getekend) is de maximale L en C ingeschakeld, geschikt voor 40-85Hz.

Plaatsen optionele stuurpatroon print

Zowel de basis insteekprint #2 als de **optie print** #4 eindigen met een hex buffer IC, (CD4502) waarvan de overeenkomstige uitgangen parallel staan en de eindtrap sturen. Er staat tenminste één print in tristate. Beide prints worden uit dezelfde freq. potmeter gestuurd, evenals de x1/x10 schakelaar.

De basisprint bevat : De oscillator en 12-deler, de relais sturing van het filter , de inverter blokkering bij ac of dc overstroom en de dip tijdens filter omschakeling.

Beveiliging

Er is inverter shut-down bij :

ac overstroom. De hoogste van de drie gelijkgerichte uitgangsstromen op het filter module gaat via ader 19 naar de basisprint, Trip bij 4 A pk

dc overstroom Bij meer dan 10 A dc , gaat de inverter één seconde uit.

heatsink temperatuur Niet aangesloten. De (te) grote heatsink wordt nooit warm.

omskakelen filter Het korte moment dat geen enkel relais óp is, brengt de inverter in shut down.

dc overspanning. Een zener diode op print #2 simuleert ac overstroom indien $V_{dc} > 60V$.

De BUZ20 mag 100V - 12A ($R_{ds}=0.2\Omega$) Overigens vrij nutteloos, er staat nog steeds een te grote spanning op fets en Vdc elco...

De error lijn vanaf #2-d2 verzamelt de fouten, deze gaat nu naar z24 van #4 waar deze via 1 transistor alle 12 fets uit zet. Tzt verhuist deze transistor naar de eindtrap.

Overstroom wordt gedetecteerd met comparators waarvan de uitgangen normaal hoog zijn. Bij overstroom (zowel dc als ac) wordt de uitgang laag, wat een één seconde blokkering van de eindtrappen geeft. Daarna start de inverter weer. Dit geeft een langzaam hik effect

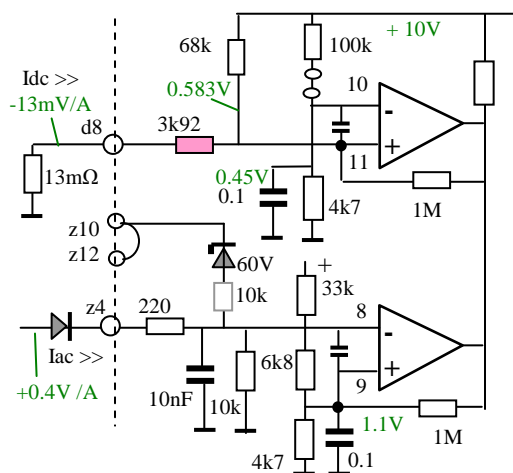
DC overstroom

Wordt gemeten over een $13\text{ m}\Omega$ shunt in de eindtrap.

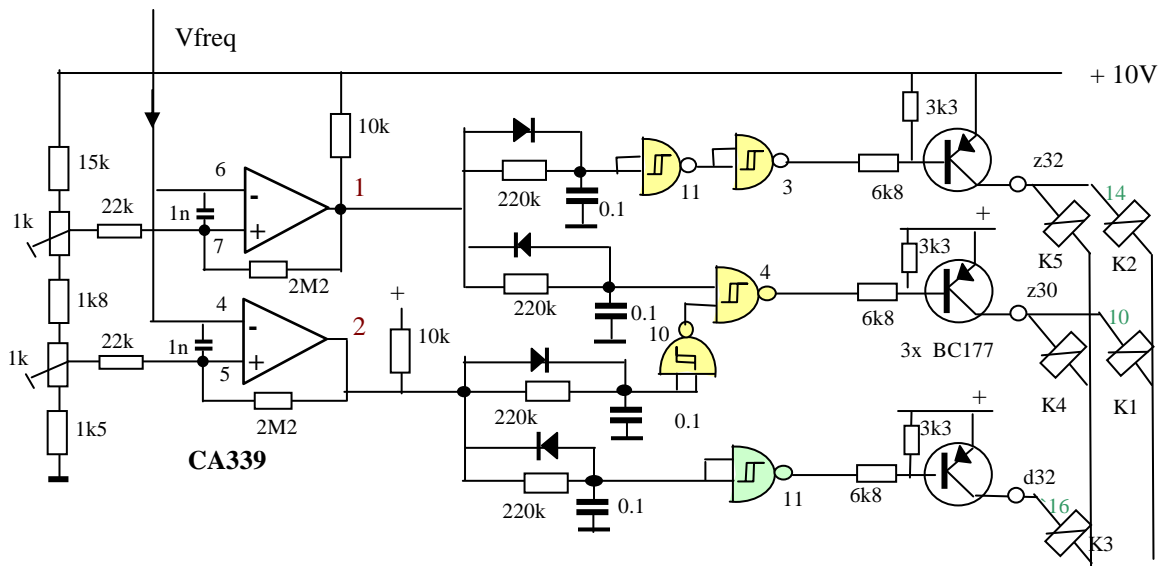
Dit is een negatief gaand signaal, dat op de + ingang van de comparator staat. Als de roze weerstand $4\text{k}7$ is, dan wordt eerst 0.583V bij de meetwaarde opgeteld, en daarna vergeleken met 0.45V . Dus bij 0.136V over de shunt tript de eindtrap, dat is bij 10.5A . Herstart bij $< 8\text{A}$ dc. Met $3\text{k}9$ trip bij 5.8A dc.

AC overstroom

Wordt gemeten met 3 stroomtrafo's 2:500, afgesloten via een diodebrug met een 100Ω burden. De hoogste van de drie gaat naar de detector. Dat is $0.4\text{V/A} - 0.5\text{V}$. Dit wordt vergeleken met 1.1V , en dat is bij 4A piek, (2.8A rms)



Filter besturing



Per frequentie gebied is het volgende relais aan:

bereik	Vfreq	1	2	x1	x10
A 40-90 Hz	1...2V	H	H	geen	K3
B 85-192 Hz	2...3V	H	L	K1	K4
C 180-408 Hz	3...4V	L	L	K2	K5

De bereiken heten A, B en C, zowel in het "x1" bereik als in het "x10" bereik dat tot 4000Hz loopt.

Voor bereik A is het voldoende als 2 Hoog is.

Voor bereik B moet 1 Hoog zijn, maar 2 moet laag zijn.

Voor bereik C is het voldoende als 2 laag is

Bij binnenkomst in een bereik gaat het relais 200ms vertraagd aan, bij verlaten valt het relais direct af. De omschakeling is dus niet overlappend.

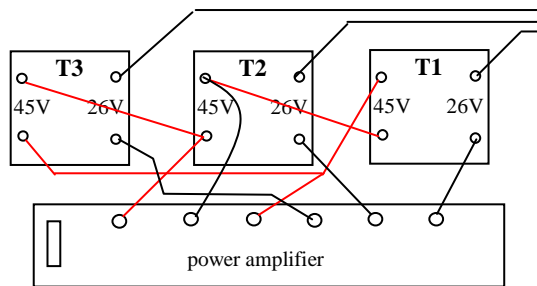
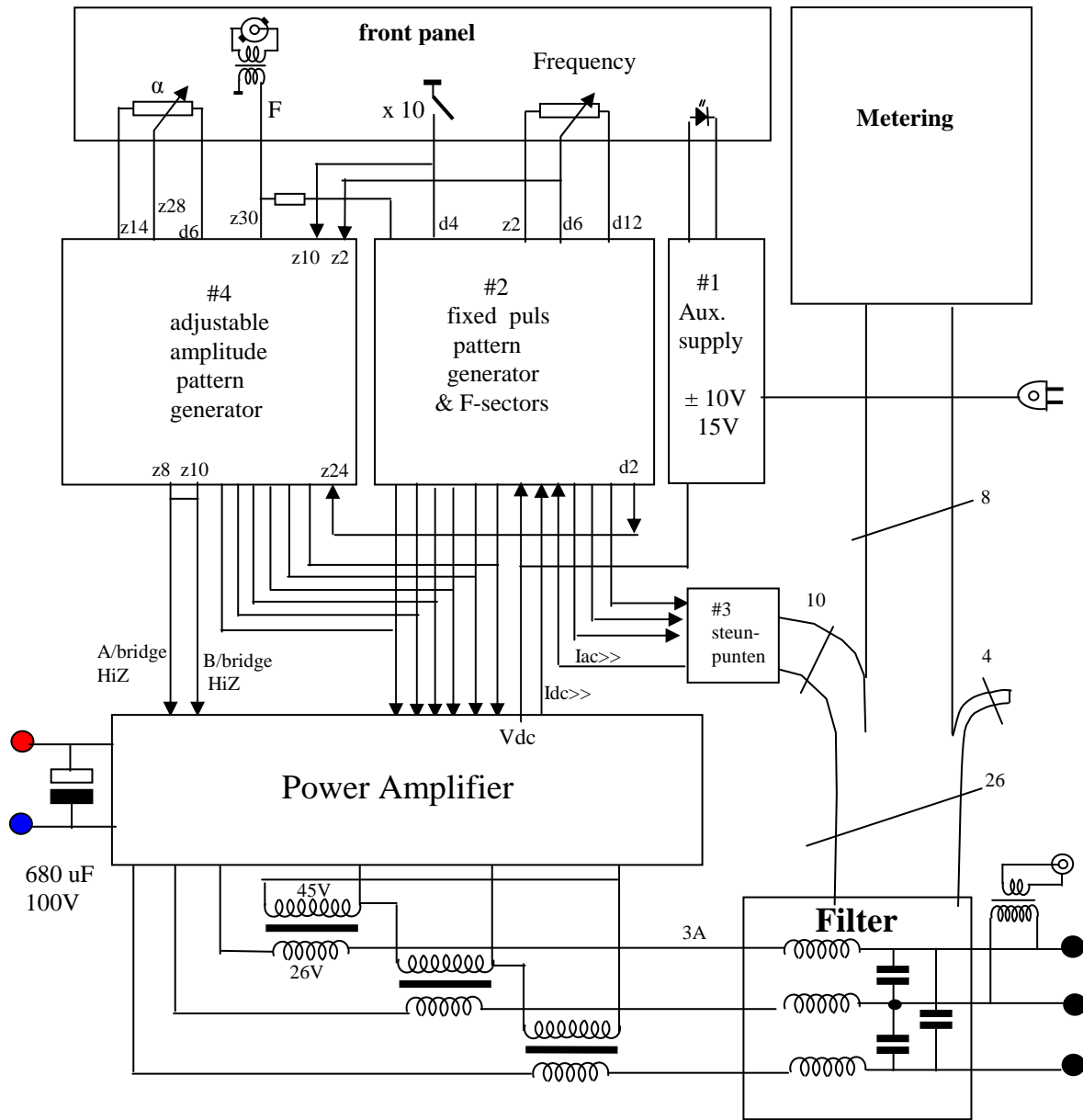
Tijdens de omschakeling, als alle relais afgevallen zijn, wordt de inverter even uitgezet. (tenzij het filter uit staat)

Inverter-uit gebeurt ook als de x1/x10 schakelaar in de middenstand staat, en gedurende de eerste seconde na inschakelen van de hulpspanningen. En natuurlijk bij ac of dc overstroom.

De nominale belasting is 3x 19Ω in ster in elk bereik. De L/C verhouding is zodanig gekozen dat $Q = R \sqrt{C/L} = 1.5$ in elk bereik. Hierdoor is een eventuele resonantie in **vollast** gedempt, en is het verschil tussen onbelaste- en vollast spanning klein.

Frequentie Hz	L uH	Cster uF	Fres Hz	demping Q	relais
40 - 90	9400	56.4	218 Hz	1.47	-
85 - 192	4400	26.4	467 Hz	1.47	K1
180 - 408	2040	12.3	1.0 kHz	1.47	K2
400 - 880	940	5.7	2.17 kHz	1.48	K3
830 - 1850	440	2.7	4.6 kHz	1.49	K4
1800-4010	200	1.2	10.2 kHz	1.47	K5

Crate wiring



Flatcable and cassette wiring

Flat cable to power amp

ader	osc	kleur	osc+hap
1	z12	-	-
2	z16	-	--
3	d8	-	- Idc >>
4	d20	-	-
5	„	-	- gnd
6	„	-	- gnd
7	z6,z8	-	+15 V
8	-	blauw	shutdown
9	d16	-	-
10	-	rood	-
11	z24	geel	d32 t
12	d26	groen	d22 R
13	z28	rood	d30 s
14	z26	groen	d24 S
15	d24	rood	d28 r
16	d30	geel	d26 T

Flat cable to filter

groene flatcable nrs als in #3 en filterprint

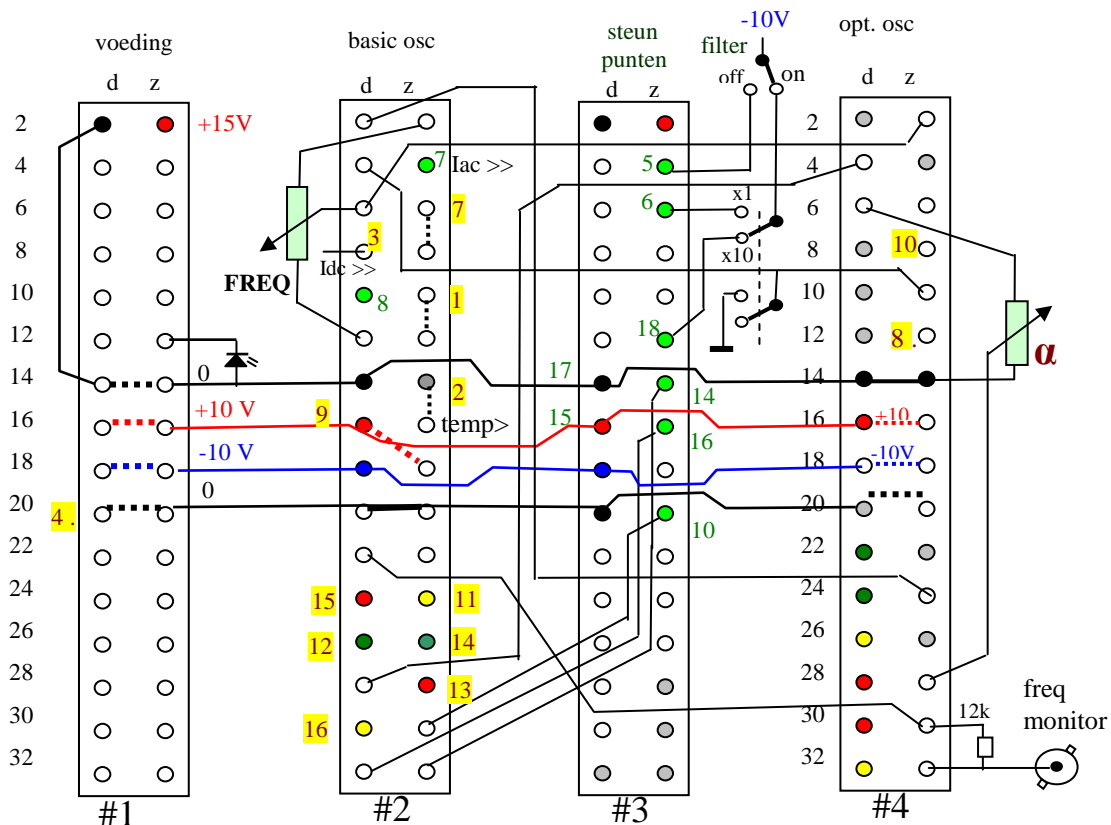
1 - 4	Niet gebruikt
5	filter OFF
6	x1 freq
7	Iac >>
8	filter change
9	-
10	K1+K4
11-13	niet gebruikt
14	K2+K5
15	+10 voor K6
16	K3
17	I - gnd
18	x10 freq
19-26	zie metering

De laatste 8 aders van de flatcable gaan direct naar de meter-fase omschakelaar

Stippellijnen zijn doorverbindingen zoals in osc.print #2 die de power versterker disabelden.

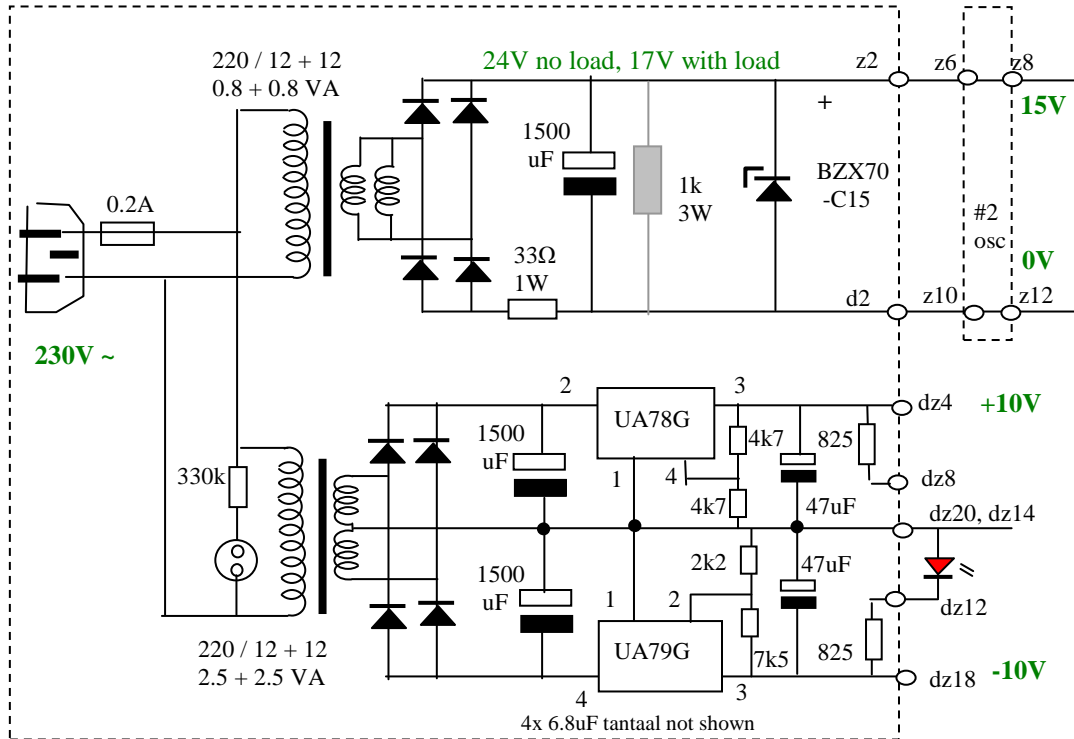
De BNC freq. monitor plug werkt zowel met, als zonder de optie print #4.

De BNC Vac. monitor plug is via een 7:1 trafo (galvanisch gescheiden) aangesloten op de R en S uitgangsklemmen.



#1 De voedings print

Deze maakt +10V en -10V t.o.v. "0" voor de elektronica en relais, en 15V voor de driver IC's in de eindtrappen.



De bovenste trafo levert onbelast 18V rms. De secundaire koperweerstand is 70Ω per wikkeling, 35Ω met beide parallel. Bij de nominale stroom van 80mA komt er 12Vrms uit, conform opdruk.

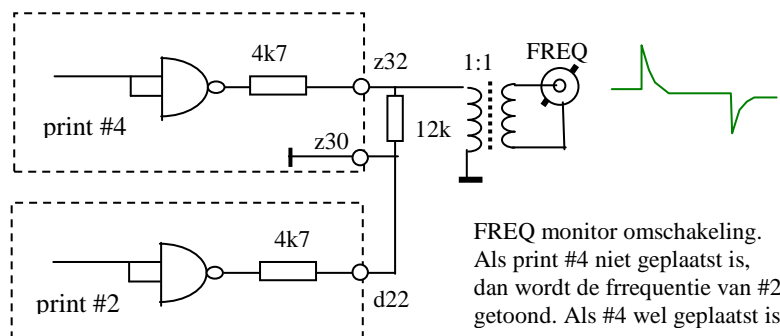
De +10V voedt alle electronica, op de osc print en optieprint.

De -10V wordt alleen gebruikt voor de relais, zodat deze alsnog 20V krijgen. Het zijn 24V types, maar dit gaat ook. De BB4213 BurrBrown multiplier gebruikt ook -10V. Deze tzt verwijderen.

De z2-d2 voeding in bovenstaand schema levert onbelast 24Vdc (17.3V @80mA).

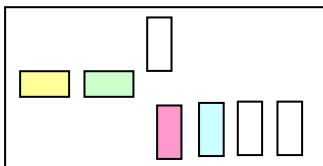
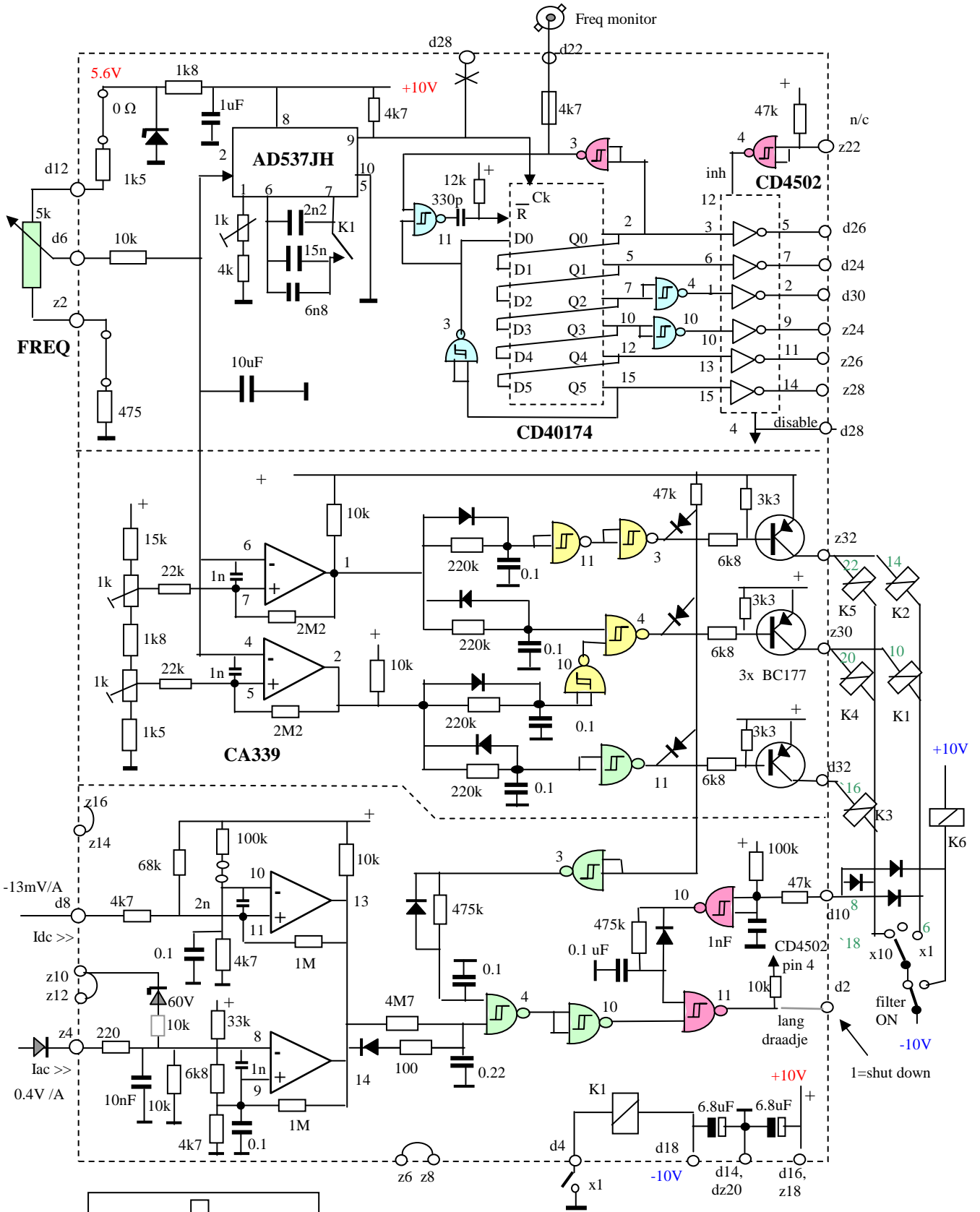
Met een extra weerstand en zener diode wordt nu +15V gemaakt voor de fet driver IC's.

FREQ omschakeling tussen wel-, of geen #4 print



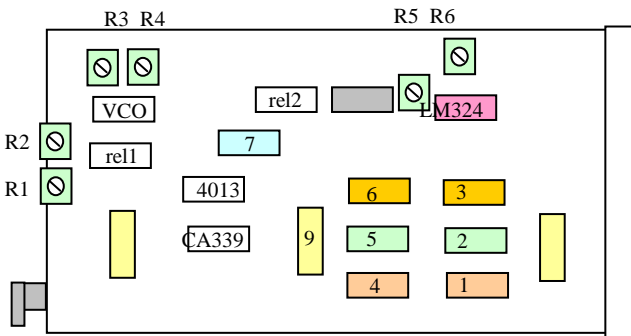
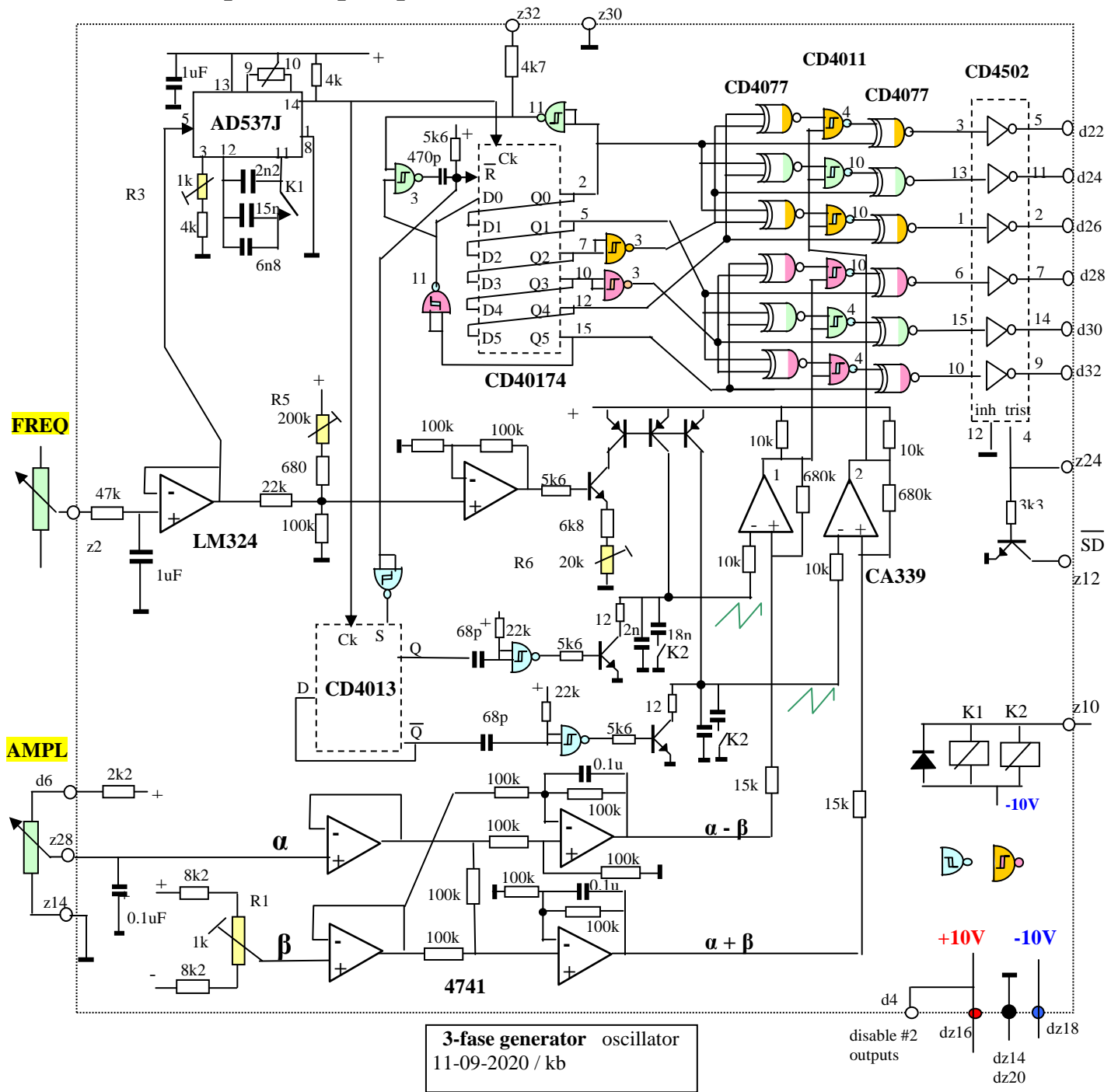
FREQ monitor omschakeling.
Als print #4 niet geplaatst is,
dan wordt de frrequentie van #2
getoond. Als #4 wel geplaatst is,

print #2 : Oscillator , filter control and protections



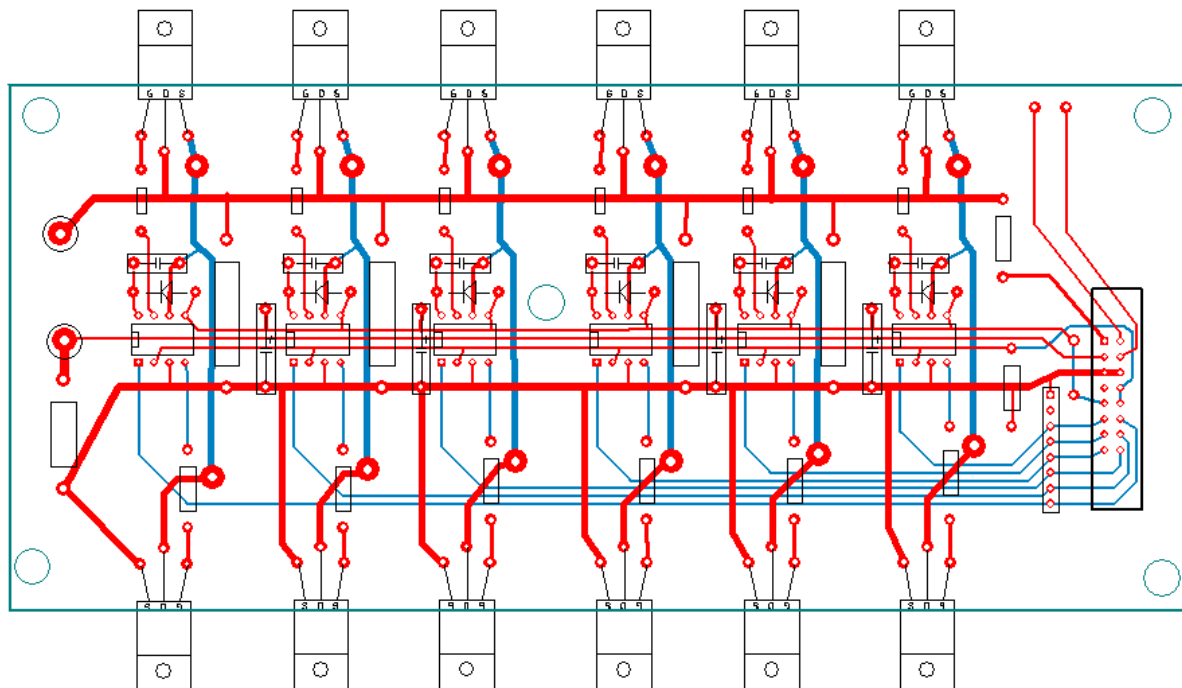
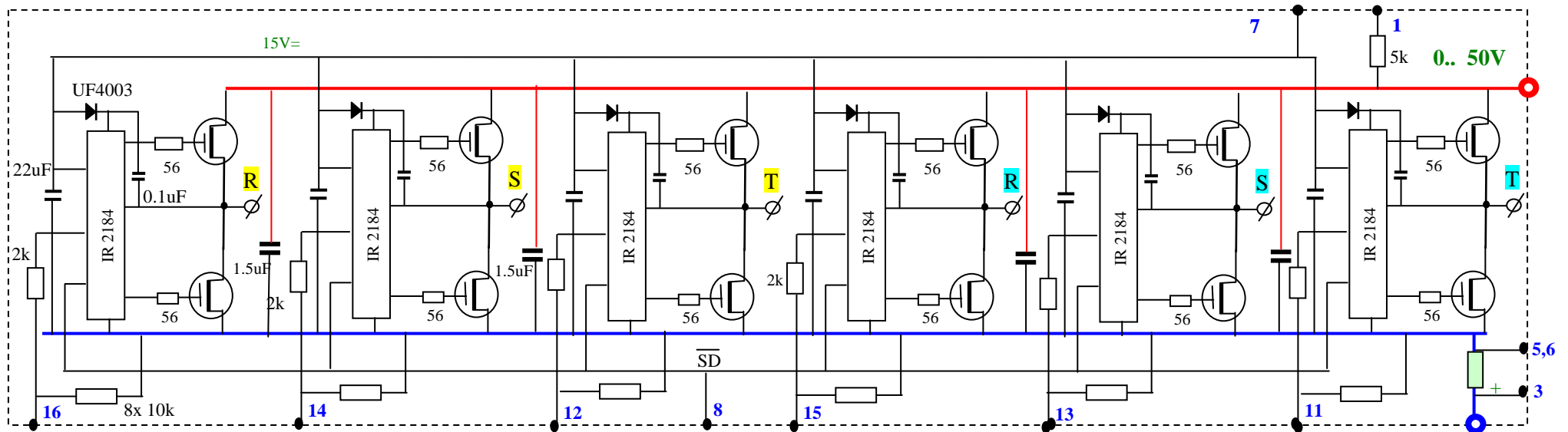
3-fase generator #2 oscillator
15-03-2023/ kb

Print #4 optioneel puls patroon



Optional pulse patterns

- alpha: amplitude control
- beta: unequal gap widths bridge 1 vs bridge 2
- gamma: unequal gap start bridge1 vs bridge 2
- gamma no longer active



1 -	9 -
2 -	10 -
3 Idc shunt	11 ingang T''
4 -	12 ingang T'
5 gnd	13 ingang S'
6 gnd	14 ingang S
7 +15V	15 ingang R'
8 shut down	16 ingang R

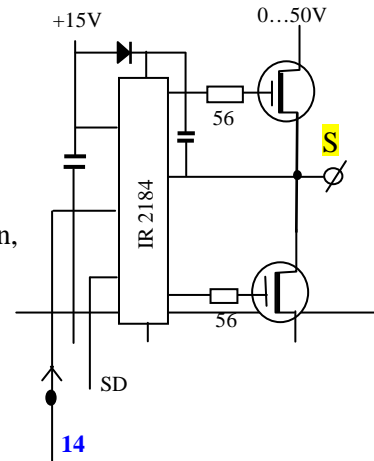
De zes puls ingangen hebben een pull-down weerstand van 10k zodat onderste FETs aanblijven zonder sturing.
De shut-down ingangen hebben een interne pull-up van enige k naar +5V.
Elke IR2184 heeft 5V zeners op beide ingangen.

Hex Power Amplifier
19-03- 2021 /kb

Eindtrap

Per trap worden de beide Fets gestuurd door een IR2184 IC. Voor voldoende fet sturing wordt dit IC uit een aparte 15V / 100mA gevoed.

De gate van de bovenste fet moet tussen nul en +15V gestuurd worden, dus boven de plus rail. Hiervoor dient een booster condensator, die telkens tot 15V wordt opgeladen als de onderste fet geleidt.



Zowel de basis, als de optieprint hebben een tristate buffer (CD4502). De clear ingang hiervan (pin 12) wordt in geen van beide gebruikt.

Als de optieprint **niet** geplaatst is, dan wordt normaal de uitgang gestuurd. Alleen bij omschakelen van bereik en bij overstroom gaat de buffer in tristate. Dan winnen de pull-down weerstanden op de driverprint het, en blijven alleen de onderste FETs aangestuurd. Naar tristate gaan van de CD4502 's is snel, zodat de onderste FETS nog net aan kunnen gaan voordat alle fets uit gaan. Ook bij vrijgave wordt eerst de SD lijn hoog, zodat de onderste FETs aangaan voordat het normale pulspatroon begint. Dit om de bootstrap C's te laden.

CD4502: Pin 4 hoog zet outputs in tristate.

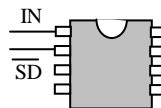
Elke uitgang kan 15mA leveren indien hoog, of 7 mA indien laag.

IR2184

IN : laag=onderste FET aan (default laag)

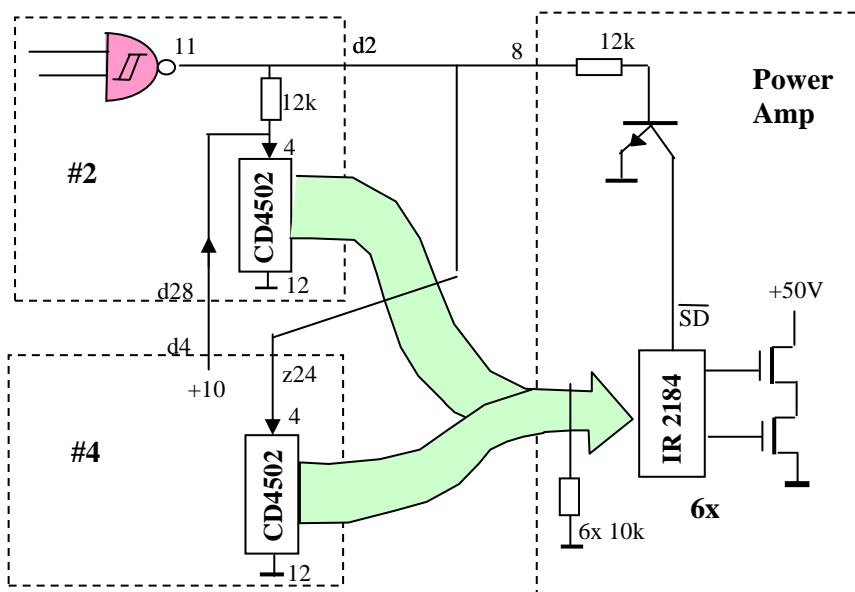
SD: laag= shut down (default hoog)

Bij opstarten moeten beide laag zijn tbv bootstrap C



De IN, en SD ingang van deze chip hebben een 5V zener naar ground. Er is een serie weerstand nodig voor sturing vanuit 10V. De IN pin heeft een interne pull-down, dus om de onderste fets aan te zetten. Naast de interne pulldown is een externe pull down toegevoegd.

De SDnot ingang heeft een interne pull-up naar +4V, dus de normale run stand. Met een externe transistor kan deze lijn laag worden getrokken om alle fets uit te zetten.



Shut down met optieprint

Plaatsen van de optionele insteekprint #4 zet de uitgangen van de basis print #2 in tristate. De optie print #4 zelf staat alleen bij storingen in tristate.

Bij shut down gaan alle FETs uit.

Output Filter

The 40- 4000Hz frequency range is divided into 6 segments, each with a different L and a different C. Control of the relays K1-K5 is automatic. Only one relay is ON. With relay K6 the whole filter is switched off to allow a view of the raw stepped waves on the output terminals.

With all relays OFF (as in the drawing) all inductors are series connected , and all capacitors are in parallel. This yields the maximum L and C, suitable for the lowest range, 40-85Hz.

Component ratings:

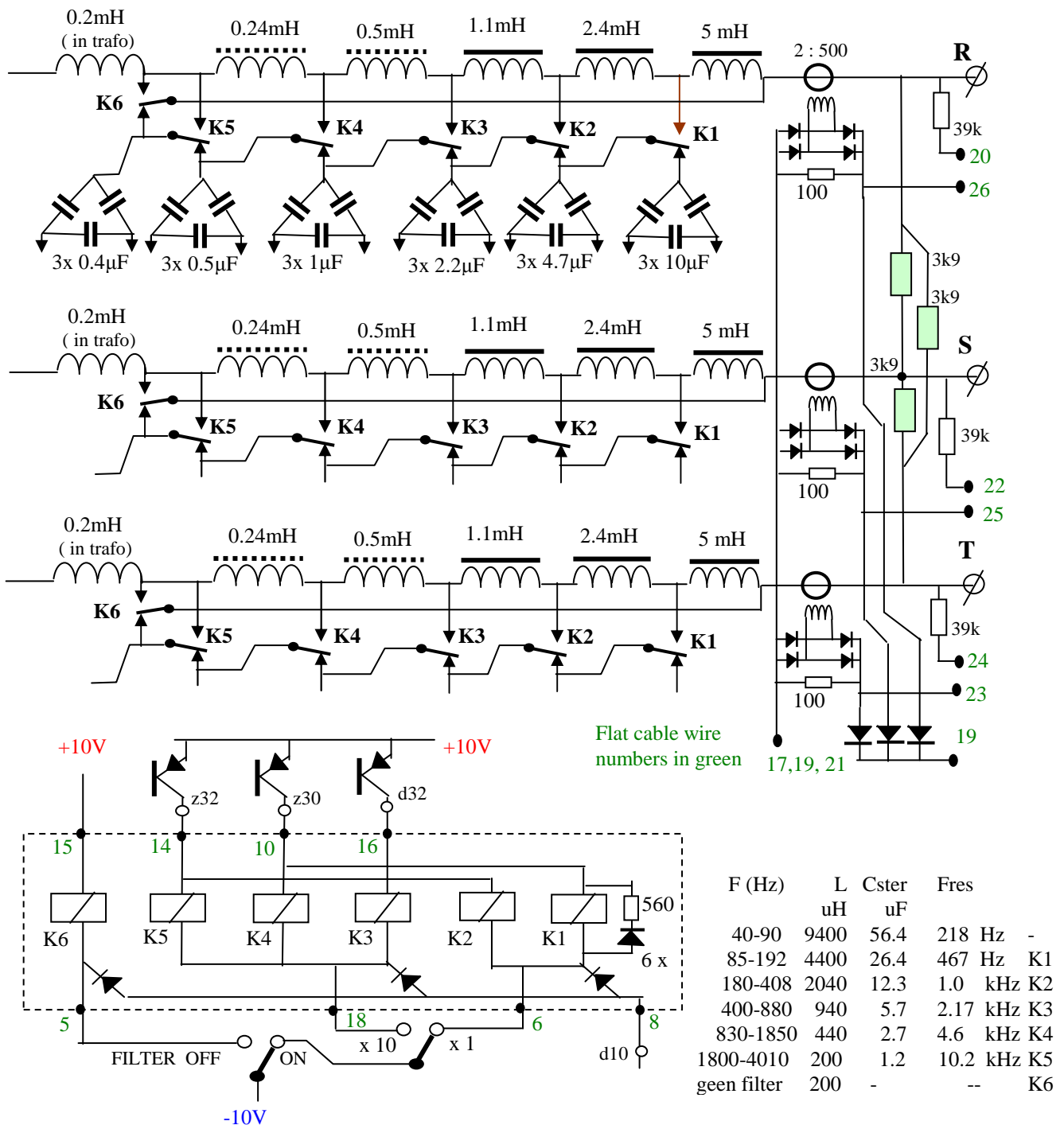
Each **relay** has 4 change-over contacts rated 4A~. Smitt type RABK-4B, coil 24Vdc, 43 mA

Compatible with Siemens type V23100-V7213-F110 with silver contacts 3A; coil 24Vdc - 650Ω

The filter **inductors** saturate above 7A. The capacitors are Bosch MP type rated 250V- or higher.

Current transformers are ZKB 465/407 having 500 secondary turns. Used with 2 primary turns.

At nominal load, the secondary current is $3A \times 2/500 = 12 \text{ mA rms}$.



Metering

De generator heeft 2 draaispoel meters, beide 1mA - 106Ω.

Een 3 positie keuzeschakelaar verbindt de meters met de drie fasen volgens:

stand 1 Vrs, Ir

stand 2 Vtr, Is

stand 3 Vst, It

Spanningsmeting

De volle schaal is 100Vrms. Dat is $100\sqrt{2} = 141\text{V}$ piek en $141 \times 2/\pi = 89.8\text{Vdc}$

Voor 1mA volle schaal is dus 89.8 kΩ serie weerstand nodig, hier opgebouwd uit $2 \times 39\text{k} + 6\text{k}8 + 4\text{k}$

Er is ook een kleine trafo plus BNC plug om de golfvorm te **monitoren**. De overzetting is 7 : 1

Stroom meting

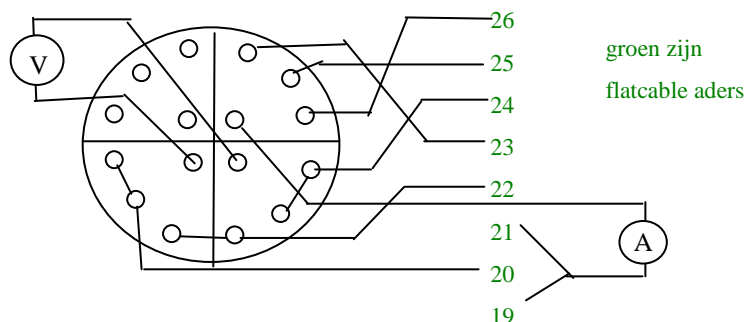
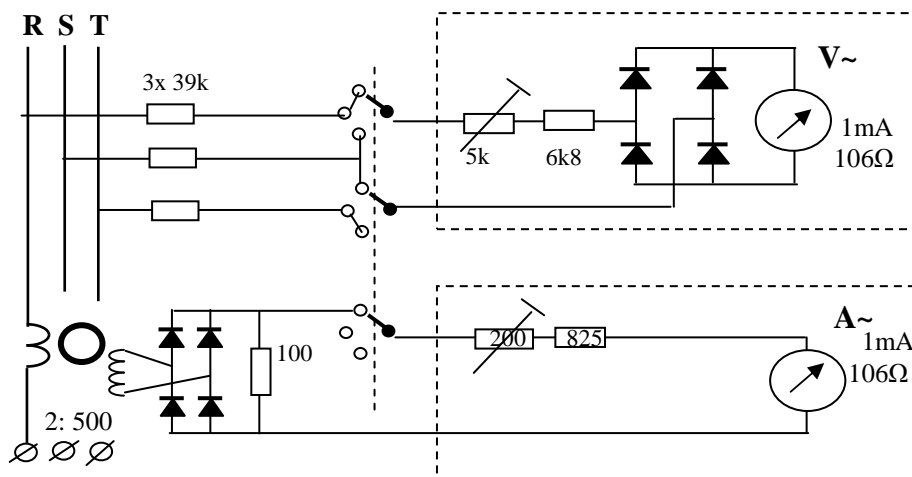
De uitgangsstroom wordt per fase gemeten met een VAC stroomtrafo type ZKB465/ 407. Deze heeft 500 secundaire windingen. Er zijn 2 primaire windingen gebruikt, afgesloten met 100Ω.

De volle schaal waarde is 3.3Arms, het laatste getal "3" staat niet bij het eind van de schaal.

Bij volle schaal staat er $3.3 \times 2/500 \times 100 = 1.32\text{Vrms}$ over de (onbelaste) burden weerstand.

Met ca 1k belasting wordt het 10% minder, dus 1.19V dc

Dit komt overeen met $1.19\text{V} \times \sqrt{2} \times 2/\pi = 1.066\text{Vdc}$. Volle schaal (fsd) van de meter is 1mA, dus er is 1067Ω serie weerstand nodig. Deze is opgebouwd uit $825 + 136 + 106\ \Omega$

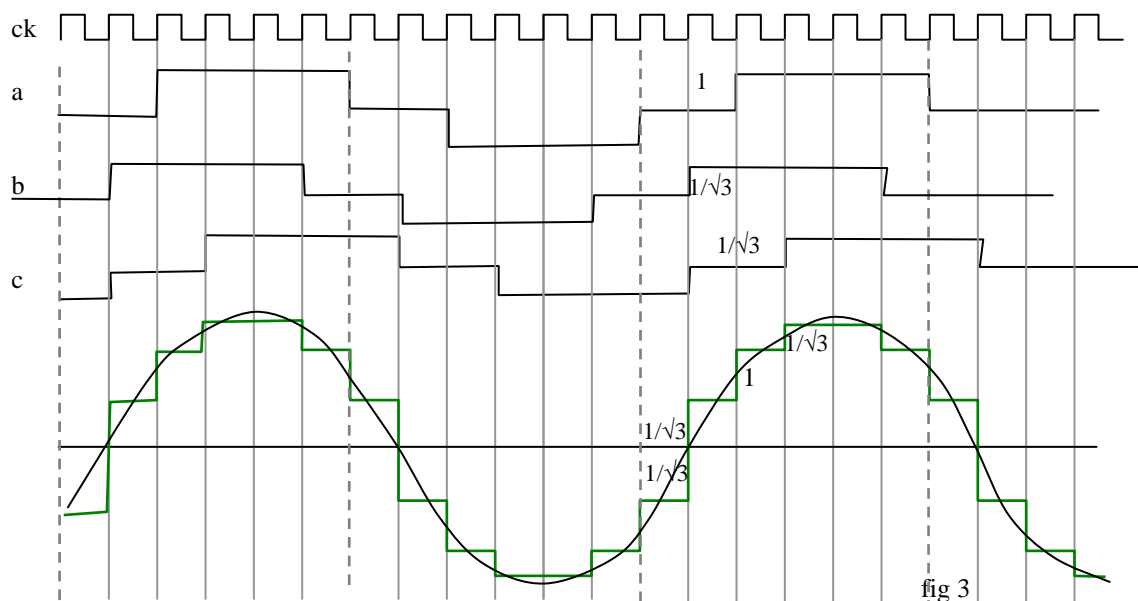


Achterzet trafo

Voor een hogere uitgang spanning heb ik extern twee 3 fase trafo's :

1. Configuratie DY, 208 op 19V , 660VA 400Hz.
2. Configuratie YY, 480 op 30V , 200VA 60 Hz

Relatie uitgangsspanning versus de DC ingangsspanning.



De topwaarde van de grondtoon in een quasi-blokgolf is $(2\sqrt{3} / \pi) * V_{dc} = 1.1026 * V_{dc}$
 De topwaarde van de b en c grond golven samen zijn even groot als de a golf..

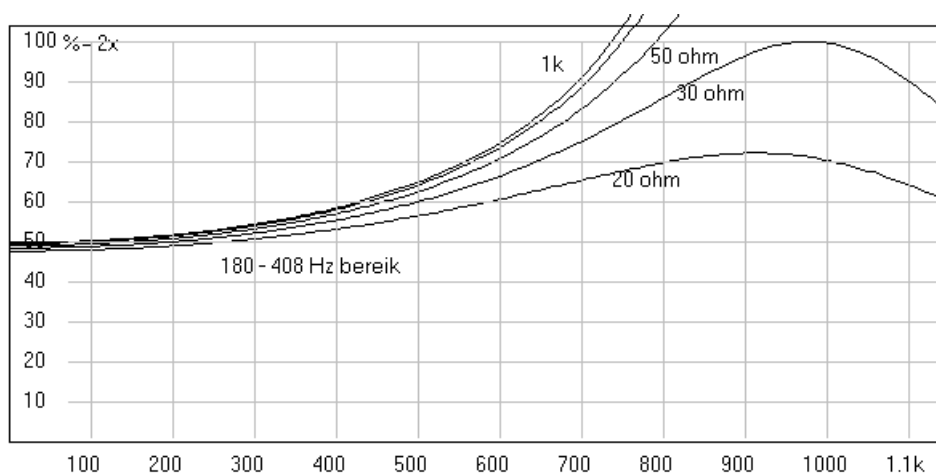
De topwaarde van de trapjesgolf zelf is $(1 + 2/\sqrt{3}) * V_{dc} = 2.1547 V_{dc}$

De top van de grondtoon in de stapjesgolf is dan $\frac{4\sqrt{3}}{\pi} * V_{dc} = 2.2053 V_{dc}$

De grondtoon is maar 2% groter dan de trapjesgolf.

De effectieve waarde van de uitgangsgolf is $\sqrt{2}$ x kleiner dan de topwaarde, dus **$V_{ac} = 1.5594 V_{dc}$**
 Dus bij 50Vdc komt er 77.97 Vrms lijn-lijn uit de inverter als het filter de grondtoon niet versterkt of verzwakt, en de de fets geen doorlaatspanning hebben.

Het filter geeft, zeker onbelast, een opslingering van de grondtoon. Dit effect is het grootst aan het eind van elk frequentie segment, waar de grondtoon nog maar een factor 2 onder de resonantiepiek van het filter zit. Onbelast kan er al 20% verhoging zijn.



Metingen

Voor metingen is de frequentie 400Hz gekozen omdat deze nodig is voor vliegtuig apparatuur, en omdat deze frequentie in 2 bereiken voorkomt.

De metingen zijn alle bij 410Hz, en 3x 19 Ω belasting in ster.

Vac is lijn-lijn spanning, dan is $P_{uit} = V_{ac}^2 / 19$

Configuratie: Standaard pulsprijs, geen happen. Filter ingeschakeld.

Meting 1: Bovenin het x1 bereik

1.1 Meting --- onbelast --				----- belast -----							
Vdc	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Iac ¹	Pin	Puit	verlies	η	
20V	0.26A	30 V	5.2 W	3.03 A	30.1V	0.86A	60 W	47 W	12W	79 %	
30	0.38	45	11.3	4.47	44.5	1.28	134	104	30	77	
40	0.49	60	20	6.0	60	1.72	240	187	52	78	
50	0.60	75	30	7.42	74	2.15	371	289	82	78	
60	0.77	90	46	8.9	90	2.57	534	426	108	80	

1) Iac niet gebruikt voor P-uit bepaling.

Conclusie: de nullast verliezen tgv stroom in filter-C's en ijzerverlies in trafo's is de helft van de belaste verliezen !

Meting 2 onderin het x10 bereik zelfde metingen herhaald bij 410Hz

Hierbij zijn de L en C van het filter 2x kleiner, en dus ook de verliezen.

Relatief lage Z-uit, maar wel meer vervorming.

Meting --- onbelast --				----- belast -----							
Vdc	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Iac	Pin	Puit	verlies	η	
20V	0.13	32.4	2.6	2.58	28.4	0.8	51.6	42	9W	82 %	
30	0.19	48	5.4	3.83	42.2	1.2	115	94	21	81	
40	0.24	63	9.6	5.10	56.3	1.58	204	167	37	82	
50	0.29	81	14.5	6.36	70.3	1.97	318	260	58	82	
60	0.35	95	21.0	7.6	84	2.33	456	371	85	81	

Het nullast verlies is nu maar een kwart van het belaste verlies. Hierdoor wordt met name bij lage belasting het rendement beter.

Meting 3 Pulspatroon met hap, zodat Vac ca 66% kleiner is dan als er geen hap is.

Voor het gemak ingesteld op Vac hetzelfde als Vdc Freq 400Hz **bovenin x1 bereik**

Meting --- onbelast --				----- belast -----							
Vdc	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Iac	Pin	Puit	verlies	η	
20V	0.13	20	2.6	1.33	20	-	27	21	6W	77 %	
30	0.17	31	5.1	1.95	30	-	58	47	11	80	
40	0.22	42	9.6	2.61	40	-	104	84	20	80	
50	0.26	52	13	3.25	49	-	162	126	36	77	
60	0.32	95	19	3.83	58	-	230	177	53	77	

1) Iac niet gebruikt voor P-uit bepaling.

Meting 4 Zonder filter

Freq 400Hz **ongeacht bereik**

Meting --- onbelast --				----- belast -----							
Vdc	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Iac	Pin	Puit	verlies	η	
20V	0.11	30	2.2 W	2.54	28	0.85	51	41	10 W	80	
30	0.15		4.5	3.73	42	1.28	112	93	19	83	
40	0.19		7.6	5.00	58	1.76	200	177	23	88	
50	0.23		11.5	6.24	73	2.22	312	280	31	89	

Meting 5 Verlies bij diverse frequenties, bij Vdc =26.2V en belasting (3 x 18.8 Ω in ster)

Meting Freq bereik	--- onbelast ---			----- belast -----							
	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Iac	Pin	Puit	verlies	η	
40 Hz	1	262	42.4	6.9	3.43	37.1	1.1	89.8	73.2	17	81.5
90 Hz	1	352	47.6	9.2	3.83	38.9	1.2	100.3	80.0	20	80
85 Hz	2	223	41.8	5.8	3.34	36.8	1.1	87.5	71.6	16	82
192 Hz	2	391	50.8	10.3	4.10	39.8	1.2	107	84.3	23	79
180 Hz	3	195	42.5	5.1	3.39	37.4	1.1	89	74	15	83
408 Hz	3	353	50.1	9.3	3.93	39.8	1.2	103	83.8	19	81
400 Hz	4	172	42.0	4.5	3.37	37.6	1.1	88.3	74.8	13.5	84
880 Hz	4	259	46.5	6.8	3.75	39.4	1.2	98	82.1	16	83.7
830 Hz	5	165	41.4	4.3	3.34	37.5	1.1	87.5	74.4	13	85
1850 Hz	5	362	49.1	9,5	3.91	39.6	1.2	102	83	19	81
1800 Hz	6	185	41.7	4.8	3.33	37.5	1.1	87.2	74.5	13	85
4 kHz	6	399	47.7	10.5	3.66	39.0	1.2	96	80.5	15.5	84

Meting 6 Idem bij Vdc = 50V

Onbelast met of zonder filter, Idc in mA, belast Idc in A

Meting Freq bereik	---- geen filter- --			--- onbelast ----			----- belast -----							
	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Pin	Idc	Vac	Iac	Pin	Puit	verlies	η	
40 Hz	1	263	83	13.1	321	83	16.0	6.63	72.3	2.2	331.5	290.0	41.5	87.5
90 Hz	1	214	82	10.7	492	92	24.6	7.51	75.0	2.3	375.5	324.2	51.3	86.3
85 Hz	2	214	82	10.7	272	83	13.6	6.54	71.5	2.2	327	289.1	37.9	88.4
192 Hz	2	170	82	8.5	544	100	27.2	8.09	78.1	2.4	404.5	349.3	55.2	86.3
180 Hz	3	170	82	8.5	245	85	12.3	6.72	72.8	2.3	336	303.0	33.0	90.2
408 Hz	3	138	82	7.0	498	98	24.9	7.92	78.4	2.5	396	349.5	46.5	88.3
400 Hz	4	138	79	7.0	198	84	9.9	6.54	73	2.3	327	295	32	90.2
880 Hz	4	128	79	6.4	331	92	16.5	7.27	76.4	2.5	363.5	325	38.5	89.4
830 Hz	5	128	79	6.4	179	83	9.0	6.49	72.5	2.3	324.5	296	28.5	91.2
1850 Hz	5	117	79	6	480	98	24.0	7.61	78	2.6	380.5	337	43.5	88.6
1800 Hz	6	117	79	6	203	84	10.2	6.49	72.4	2.3	324.5	296	28.5	91.2
4 kHz	6	115	80	6	475	96	23.7	6.97	75	2.45	348.5	295.2	53.3	84.7

Het vollast rendement is beter dan 88% bij 50V dc

Meting 7 bij Vdc=50V (op klemmen generator) zonder filter

Vollast (3 x 19 Ω), *zonder filter*. Wattmeter op 110V / 5A bereik

Freq bereik	Idc	Pin	Vac	Iac	Puit	verlies	η
40 Hz	6.50	325	75	2.2	293	32	90.2
80	6.46	323	75	2.2	293	30	90.7
180	6.42	321	75	2.3	293	28	90.6
400	6.34	317	75	2.3	291	26	91.8
850	6.36	318	75	2.3	294	24	92.5
1850	5.98	299	73	2.3	283	16	94.0
4 kHz	5.27	263	69	2.15	230.4	33	87.6

Loss as function from the frequency at 50Vdc

measured with a Norma D4155 precision wattmeter on 9/4 2021

inverter with 6 x full square waves, in 4 situations :

- no load , with and without filter;
- nominal load (3 x 19 Ω star , ca 300W) with or without filter

The rms output voltage at 50Vdc is approx. 81V rms no load, or 73V rms with nominal load

Analysis : 5W ac preload, ca 15W in the filter, and 28W due to load current (2.2A) conform 2 ohm series resistance per line.

At the highest frequency, there is more iron loss in the transformers;

At the lowest frequency also due to saturation;

The higher loss at 180Hz is probably due to bad relay contacts.

