



Jan Genoe

jan.genoe@kuleuven.be

Klasse D versterkers

Een klasse D versterker is zoals de klasse C versterker een hoogfrequent versterker gebaseerd op een resonante LC trilkkring. Maar in tegenstelling met de klasse C versterker is hij uitgevoerd met 2 transistors (zoals de klasse B versterker). In tegenstelling met de klasse B versterker, zijn deze 2 transistors schakelende elementen.



Klasse D versterker

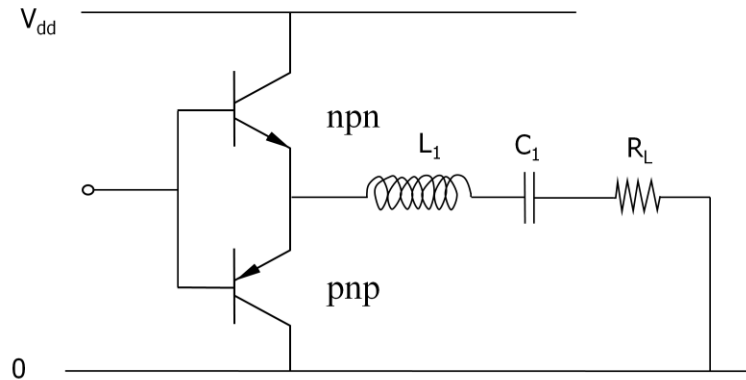
- Combinatie van een balansschakeling (zie klasse B) met een resonante L-C kring (zie klasse C)
- Kan enkel vermogen leveren op de resonantiefrequentie van de kring
- Sturing gebeurt aan de hand van een blokgolf op de resonantiefrequentie (dit houdt in dat de transistors gebruikt worden als schakelaars)
- Enkel de eerste harmonische komt ongehinderd door naar de belasting

Dit kan enkel maar voor
een resonante versterker



Basisschema

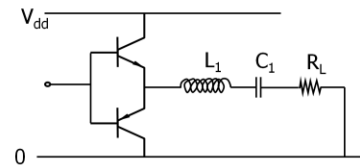
- Geen voorinstelspanning nodig, we sturen de elementen maximaal uit.





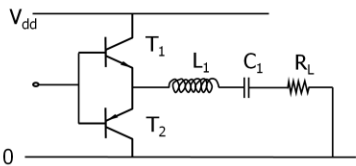
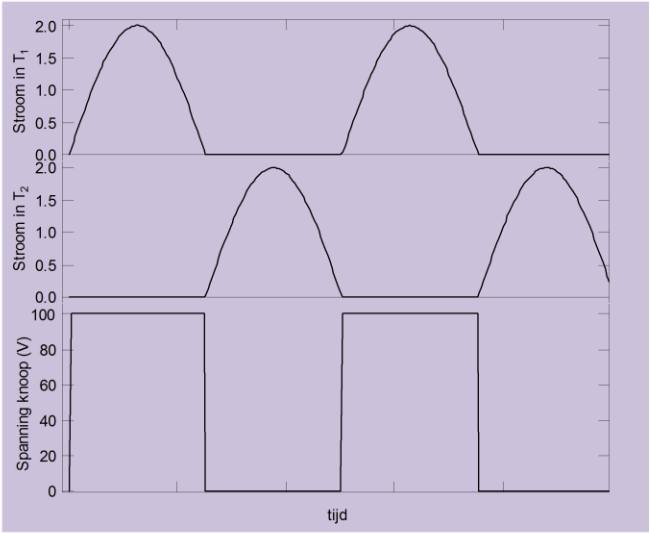
Stromen en spanningen

- Er wordt geschakeld als de stroom door de inductantie 0 is
- Spanning over de transistor
 - ongeveer 0 Volt in geval de transistor stroom geleidt
 - Voedingsspanning in het geval de transistor geen stroom geleidt
- Stroom door de transistor
 - Afwisselend
 - een halve periode stroom (sinus)
 - een halve periode geen stroom





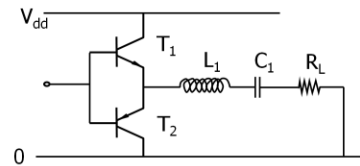
Stromen en spanningen (2)





Fourrier reeks van de blokgolf

- De oneven hogere harmonischen hebben een kleinere bijdrage in de blokgolf
- Deze componenten zien ook een veel hogere impedantie
- De harmonische bijdrage is klein, maar niet onbestaande (hangt af van de kwaliteit van de kring)



$$\frac{V_{dd}}{2} + \frac{2V_{dd}}{\pi} \left(\sin x + \frac{\sin 3x}{3} + \frac{\sin 5x}{5} + \dots \right)$$



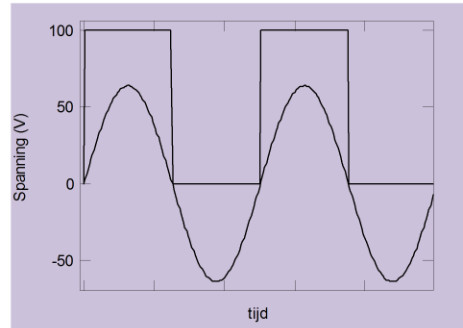
Nuttig vermogen

- Bekomen spanning over R_L is de amplitude van de eerste harmonische van de blokgolf.
- Deze amplitude bedraagt:

$$V_{R_L} = \frac{2V_{dd}}{\pi}$$

- Het nuttig vermogen is dus:

$$P_{R_L} = \frac{2V_{dd}^2}{\pi^2 R_L}$$



Dit houdt in dat amplitude modulatie alleen maar kan bekomen worden door plaatmodulatie



Opgestapelde energie

- De amplitude over R_L zegt niets over de amplitude over L_1 (en dus ook tegengesteld over C_1)
- Deze amplitude wordt bepaald door de kwaliteitsfactor van de kring, dit is de verhouding tussen de opgestapelde energie en de vrijgegeven energie.

$$Q = \frac{\omega L_1}{R_L} = \frac{\text{opgestapelde energie}}{\text{vrijgegeven energie}}$$

De eerste en de derde harmonische zien de volgende impedantie:

$$\begin{aligned} Z_1 &= j \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C} \right) + R_L = R_L \\ Z_3 &= j \left(3\omega_1 L - \frac{1}{3\omega_1 C} \right) + R_L \\ &= j \frac{8}{3} \omega_1 L + R_L \\ &= R_L \left(1 + j \frac{8}{3} Q \right) \end{aligned}$$

Omdat de derde harmonische slechts slechts 1/3 van de amplitude van de eerste harmonische heeft en een veel grotere impedantie heeft zal de stroom en dus ook het vermogen hierin veel beperkter zijn. Het is de factor Q die dus de kwaliteit van de trilkring bepaalt.



Rendement

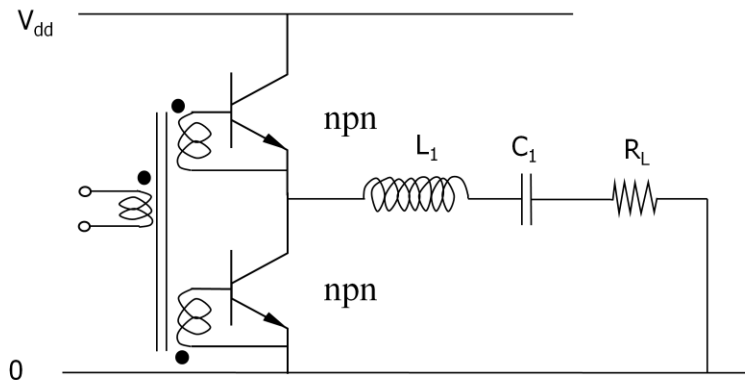
- Theoretisch 100%
- Lager door
 - (Beperkte) stroom in de harmonischen
 - Schakelverliezen
 - Bepaald door de ladingsopslag q in het actief element
 - Evenredig met q^2
 - Evenredig met de schakelfrequentie
 - Spanningsval
 - bipolaire componenten: vaste spanning
 - veldeffect componenten: vaste weerstand

De schakelverliezen kunnen als het volgt ingeschat worden. De interne spanningen van de schakelende transistor (bv V_{BE} of V_{GS}) moeten om een bepaalde spanning opgeladen zijn om in geleiding of in sper te kunnen zijn. Om over te gaan naar de andere geleidingsvorm moeten die capaciteiten opgeladen of ontladen worden. Hiervoor is energie nodige en dit levert verliezen op.

Eens een transistor in geleiding kan de spanning over deze transistor niet helemaal nul zijn. Bij een bipolaire transistor zal er steeds de saturatiespanning over de transistor blijven staan en bij een MOS transistor bepaalt de aan-weerstand, samen met de stroom hoeveel spanning er nog over staat. Hetzelfde geldt voor een MESFET of een JFET.



Variaties op het basisschema (spanningssturing)

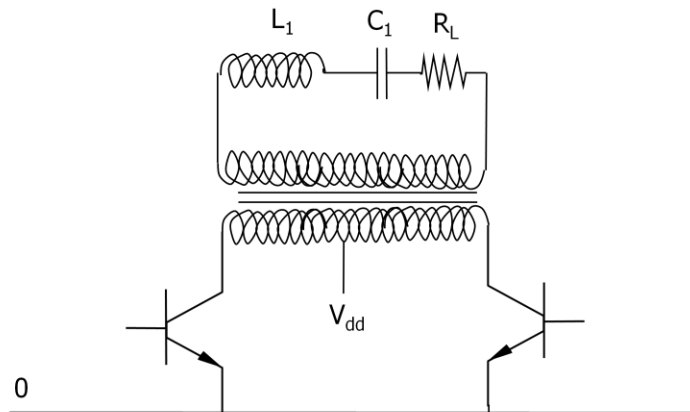


In de plaats van met 2 complementaire transistors kan deze schakeling ook uitgevoerd worden met 2 NPN transistors. Maar deze 2 transistors moeten dan wel aangestuurd worden met een tegengesteld signaal tussen hun basis en emitter. Hiervoor kan bijvoorbeeld een transformator gebruikt worden, zoals aangegeven in het schema. Het blijft hierbij zo dat het stuursignaal dat opgelegd wordt aan de trielkring een blok golf spanning is. De kring zorgt er dan voor dat de stroom die erdoor loopt (voornamelijk) de eerste harmonische is van die opgelegde spanning. Deze stroom loopt dan ook door de belasting waardoor we hier zowel een sinusvormige stroom als spanning bekomen.



Variaties op het basisschema (spanningssturing)

- Een blokgolf (+ of -) de voedingsspanning wordt afwisselend aangelegd.
- De stroom verloopt sinusoidaal



De trilkring in het bovenstaande schema krijgt ook een blokgolf spanning te verwerken. Deze wordt echter niet rechtstreeks opgelegd, maar wel aan de hand van een transformator. Indien de rechter transistor in geleiding is krijgen we de positieve voedingsspanning over de trilkring. Indien de linker transistor in geleiding is krijgen we de negatieve voedingsspanning over de trilkring. De trilkring bepaald vervolgens de stromen die er vloeien en deze stromen lopen dan ook door de respectievelijke transistors.

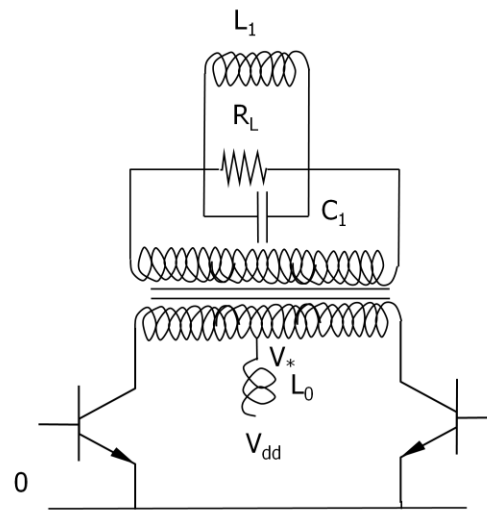
Indien de wikkilverhouding groter dan 1 is, wordt er een grotere blokgolf spanning over de trilkring bekomen en moet er een zelfde factor meer stroom lopen door de transistors dan er door de trilkring loopt. Omgekeerd geldt natuurlijk het omgekeerde.

Ook dit schema heeft het voordeel dat er gewerkt wordt met npn transistors.



Stroomsturing

- De aangelegde blokgolf is in dit geval een stroom.
- De spanning verloopt nu sinusoidaal, over de transistor die niet in geleiding is
- De kring is nu een parallelkring
- De stroom wordt constant gehouden door de inductantie L_0



Een klasse D versterker, kan, zoals de klasse C versterker ook aangestuurd worden met stroomsturing. In dit geval moeten we wel werken met een parallel resonantiekring. De stroom die naar de kring gestuurd wordt is in dit geval een blokgolf. Enkel de eerste harmonische uit deze blokgolf zal in staat zijn een spanning op te bouwen over de trillkring op de bouwen en dus vermogen te leveren aan de belasting. Alle hogere harmonischen zien een lage impedantie in de condensator C_1 en laden deze condensator dus op en af. Er wordt geen spanning over R_L bekomen en dus ook geen vermogen overgedragen.

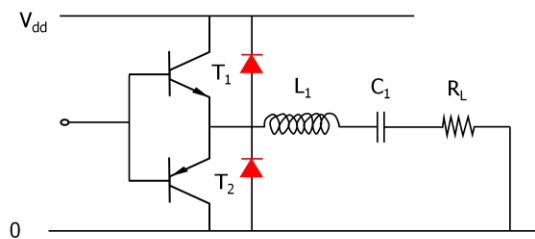
Om een stroomsturing te bekomen moeten we ervoor zorgen dat de stroom door elk van de primaire wikkelingen van de transformator steeds een constante is. Hiervoor plaatsen we een grote inductantie L_0 tussen de voedingsspanning V_{dd} en de aftakking van de transformator. Deze inductantie zal ervoor zorgen dat elke stroomvariatie wordt tegengewerkt door de spanning aan te passen.

$$V_* = V_{dd} + L_0 \frac{\partial I}{\partial t}$$



Reactieve component in de belasting

- Wanneer we niet juist op de resonantiefrequentie sturen is er een reactieve component in de belasting
- Dit leidt tot schakelen onder spanning
- De actieve elementen kunnen daardoor beschadigd worden
- Oplossing: bijplaatsen van overbruggingsdiodes



universiteit
hasselt

KU LEUVEN

13

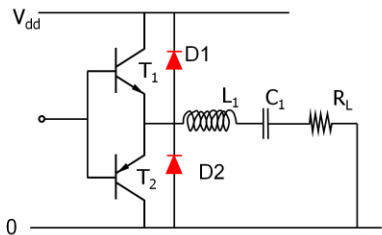
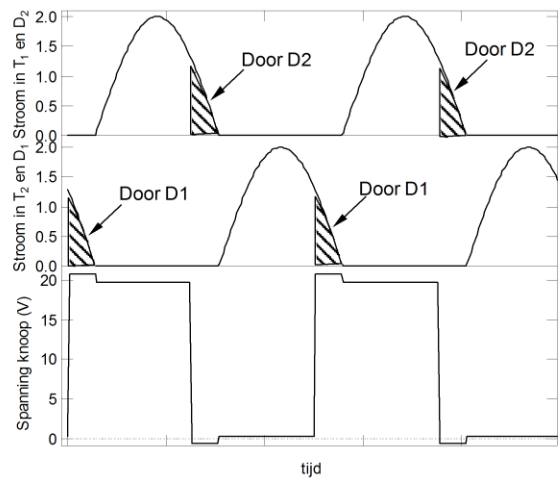
$$Z(\omega) = j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) + R_L \neq R_L$$

We merken dat indien de klasse D versterker off-resonance aangestuurd wordt, dat de impedantie dan ook een reactieve (=imaginaire) component heeft. Daardoor zullen stroom en spanning niet meer in fase zijn.

Als een gevolg hiervan zou de transistor die in geleiding is een omgekeerde stroom moeten leveren, wat niet kan in geval van een bipolaire transistor. Hierdoor zou de stroom plots afgebroken worden en er over de inductantie een zeer grote spanning komen te staan, wat de transistor kan kapotmaken.

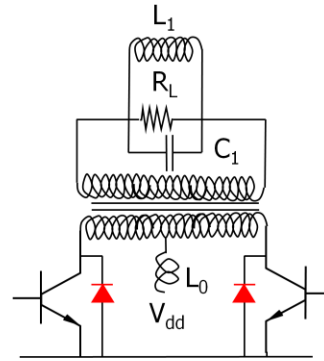
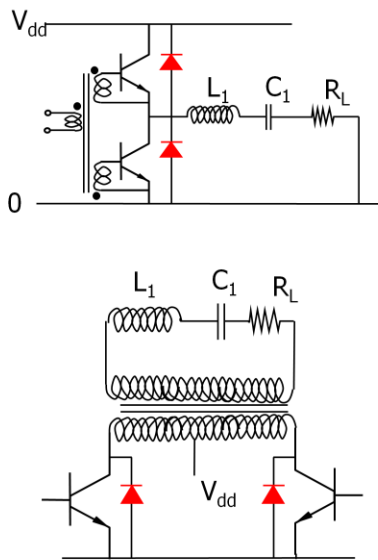


Stroom en spanning (reactieve component)





Overbruggingsdiodes in andere schema's



Alle andere schema's kunnen op een gelijkaardige wijze worden uitgerust met overbruggingsdiodes om een negatieve spanning over de transistor te voorkomen.

Deze overbruggingsdiodes zorgen ervoor dat de klasse D versterker veel geschikter is dan de klasse C versterker voor een werking iets naast de resonantiefrequentie.