

EMI IN DC-NETTEN

RDM 22/10/22

Dr. Ir. Ing. Sven De Breucker (Dynniq Energy)

Dr. Ir. Giel Van den Broeck (dcinergy)

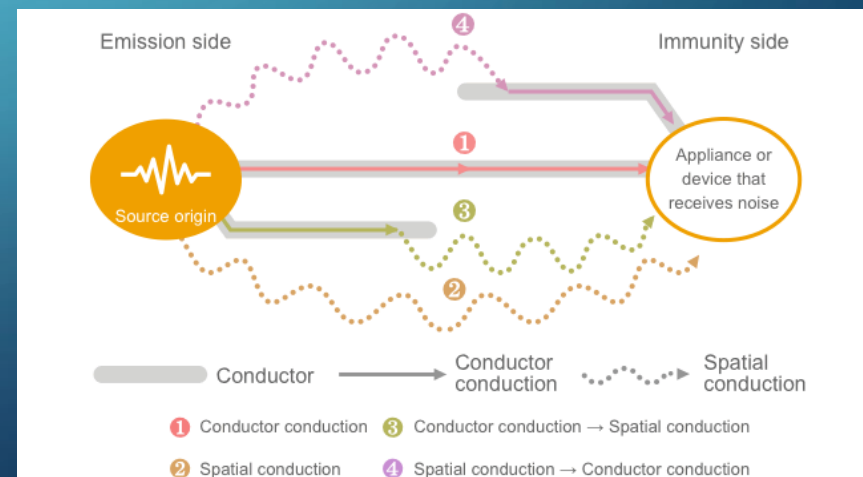
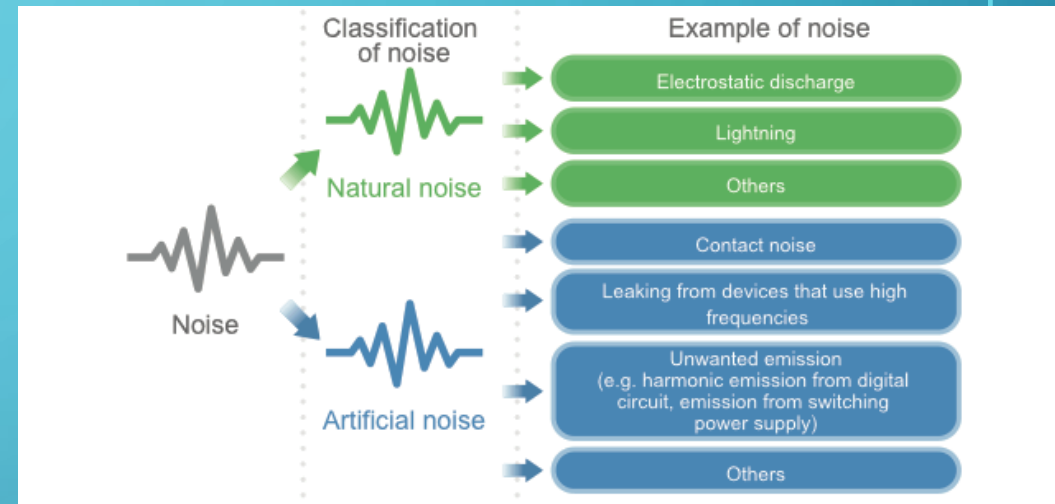


INHOUDSTAFEL

- **Wat is EMC?**
- Oorzaak van EMC?
- Problemen door EMC?
- Oplossingen tegen EMC?

WAT IS ELEKTRO-MAGNETISCHE INTERFERENTIE?

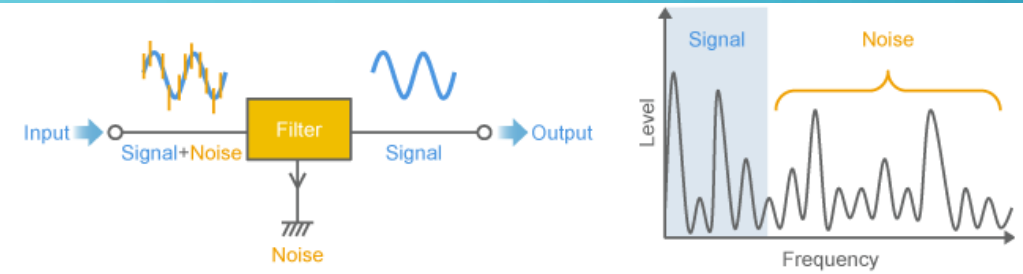
- Ruis in circuit
 - Ongewenste stromen en spanningen
 - Power & Communicatie net
- Bron(verstoorder) ~ EM-Emissies
- Ontvanger(verstoorde)
 - ~ EM-immuniteit/tolerantie
- Conducted emissions: kabels
- Radiated emissions: via lucht
- EMC: EM Compatibiliteit
- EMI: EM Interferentie



WAT IS ELEKTRO-MAGNETISCHE INTERFERENTIE?

Bronnen:

- Schakelende voedingen/omvormers
- Stroompulsen (bijschakelen C)
- Spanningspieken (L afschakelen)
- Natuurlijk: Bliksem / statische elek
- Breed spectrum ↔ discrete harm.



(a) Noise and signal separation

(b) Noise and signal frequency distribution

Fig. 1 Filter operation

Type	Target noise	Information used to separate noise	Difference in signal/noise		Implementation method	Major applications
EMI suppression filter	Radio noise in general	Deviation in frequency distribution	Signal	Low frequency	Low-pass filter	Electric circuits in general
			Noise	High frequency		
Common mode choke coil	Common mode noise	Difference in transmission mode	Signal	Normal	Coupling coil	Power supplies (AC/DC) Differential signal
			Noise	Common		
Surge absorber	High voltage surges	Difference in voltage	Signal	Low voltage	Non-linear resistance Discharge gap, etc.	Electronic devices in general (surge entry point)
			Noise	High voltage		

Table 1 Signal and noise separation

INHOUDSTAFEL

- Wat is EMC?
- **Oorzaak van EMC?**
- Problemen door EMC?
- Oplossingen tegen EMC?

BASISWERKING OMVORMER

- I1 & I2
- DC-stroom heeft rimpel op f_{sw} !

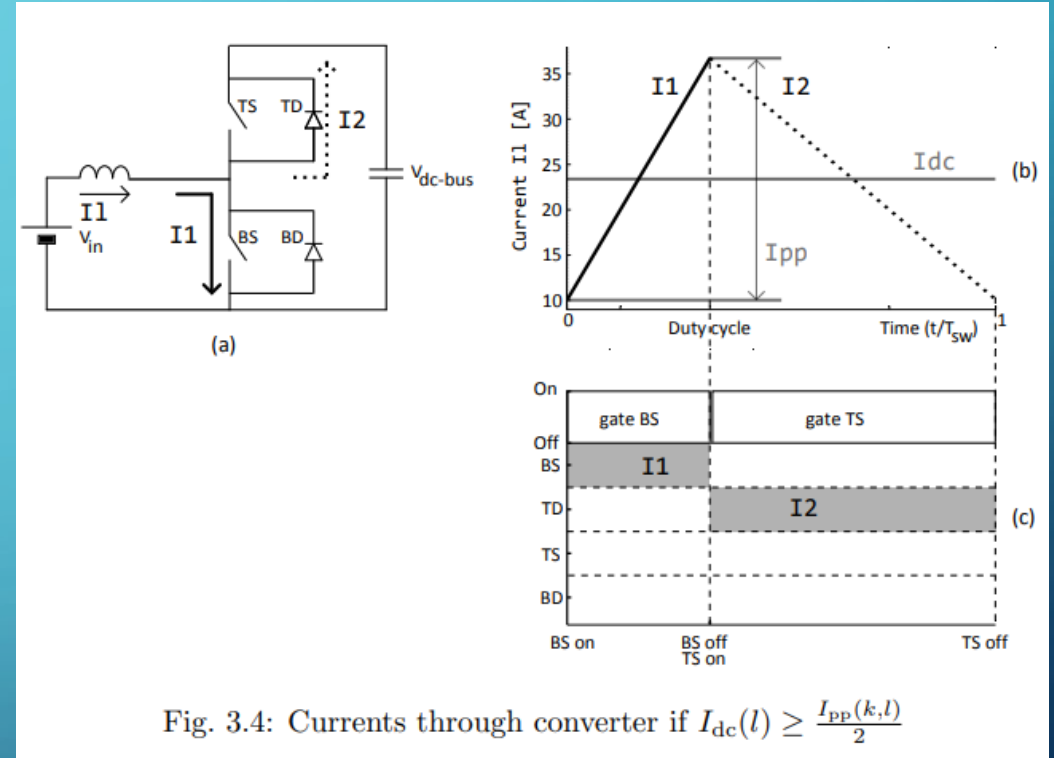
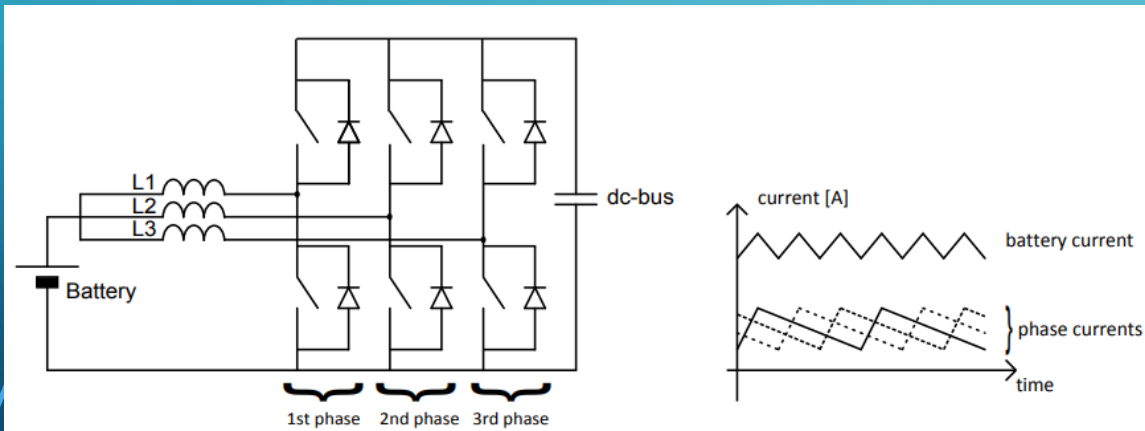
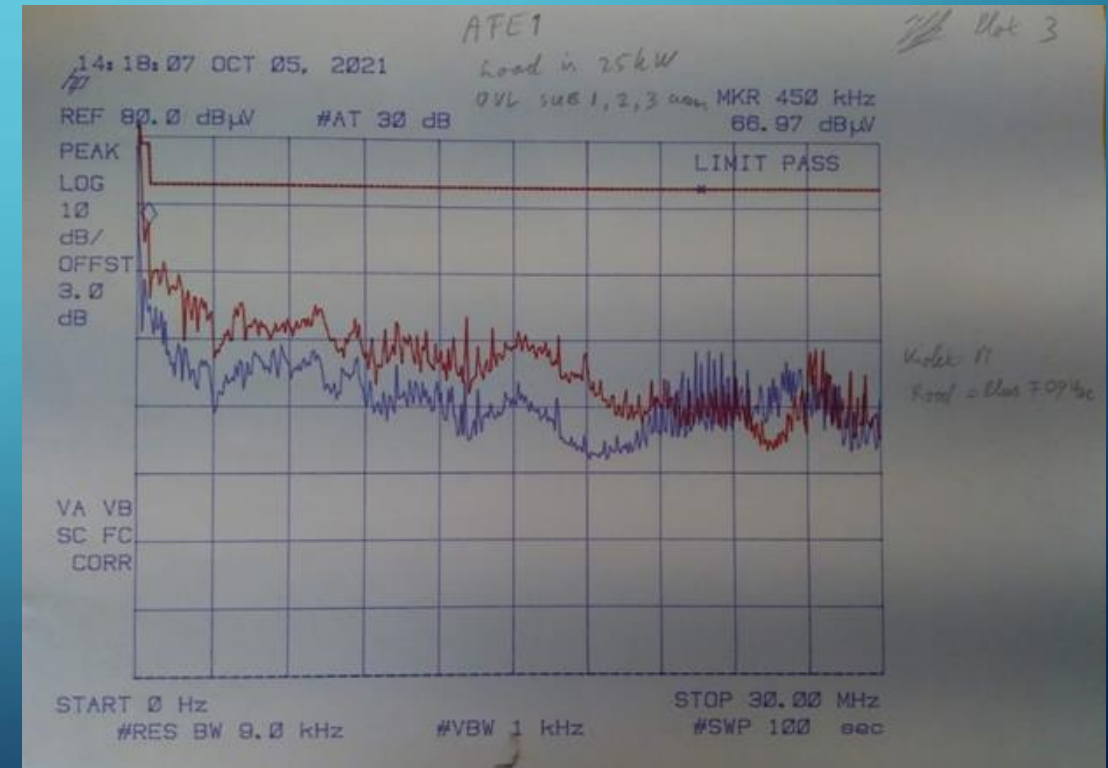
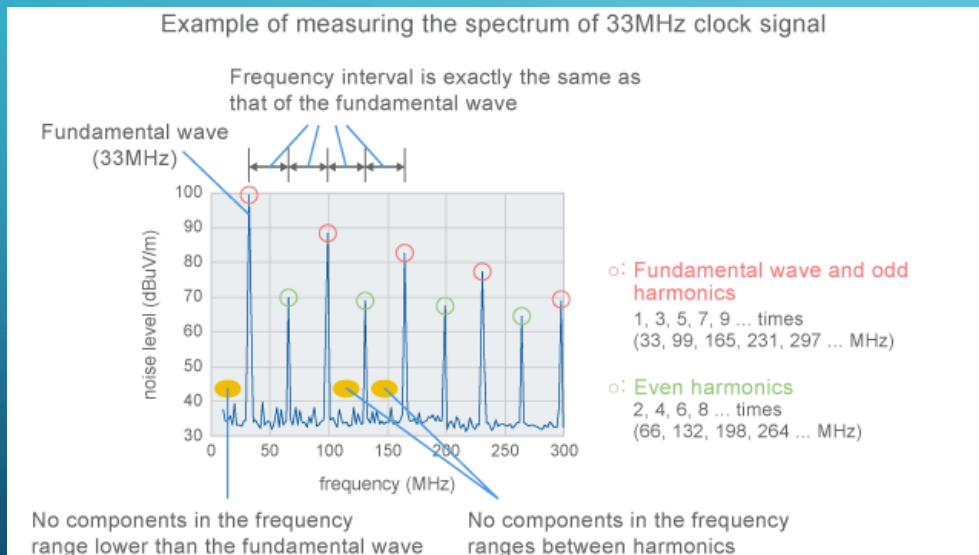


Fig. 3.4: Currents through converter if $I_{dc}(l) \geq \frac{I_{pp}(k,l)}{2}$

BASISWERKING OMVORMER

- Schakelen zorgt voor harmonischen: veelvouden van f_{fund}
- Ruis is afkomstig van deze harmonischen



SCHAKELEN VAN INVERTER: COMMON MODE

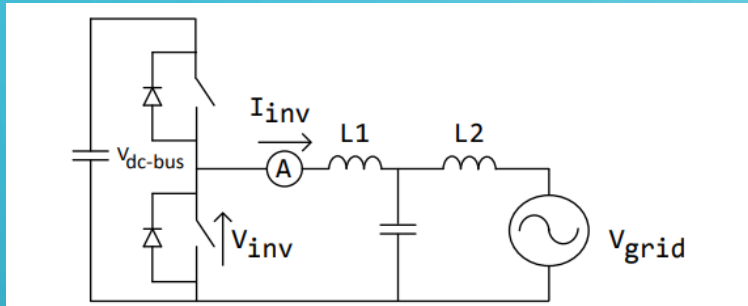
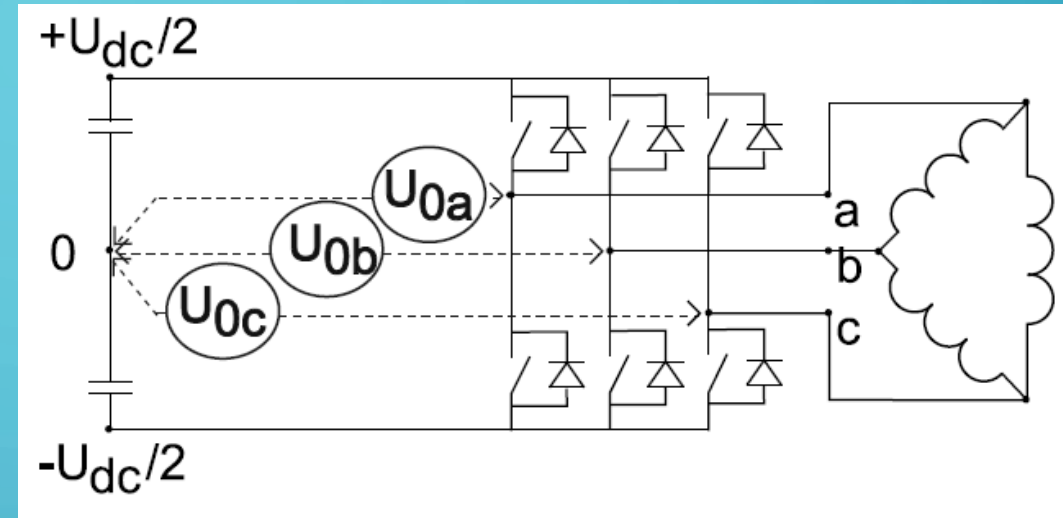


Fig. 5.14: Single-phase equivalent scheme of the grid coupling



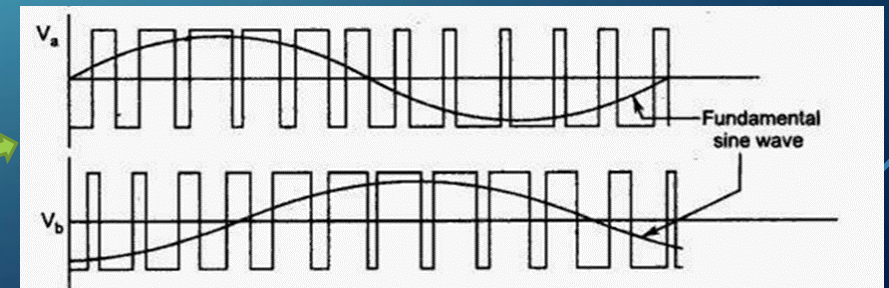
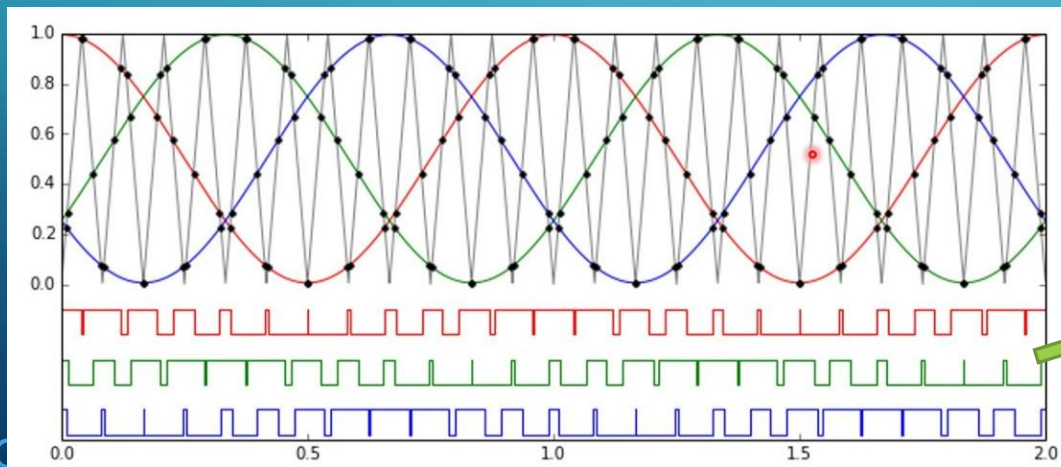
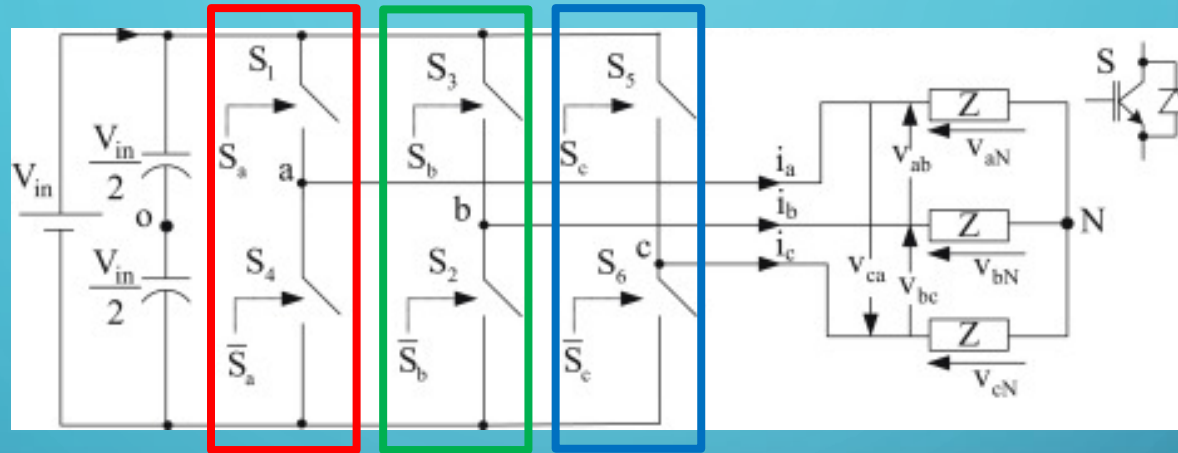
$$v_{CM} \triangleq \frac{v_{A0} + v_{B0} + v_{C0}}{3}$$

3f-net => 3 * echte sinus => $V_{CM} = 0$

3f-INV => 3 * blokken => $V_{CM} \uparrow\uparrow$

SCHAKELEN VAN INVERTER: COMMON MODE

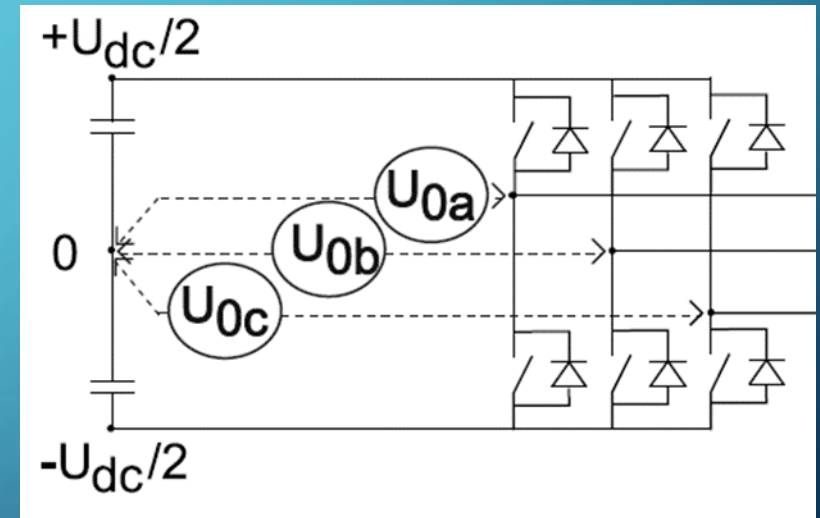
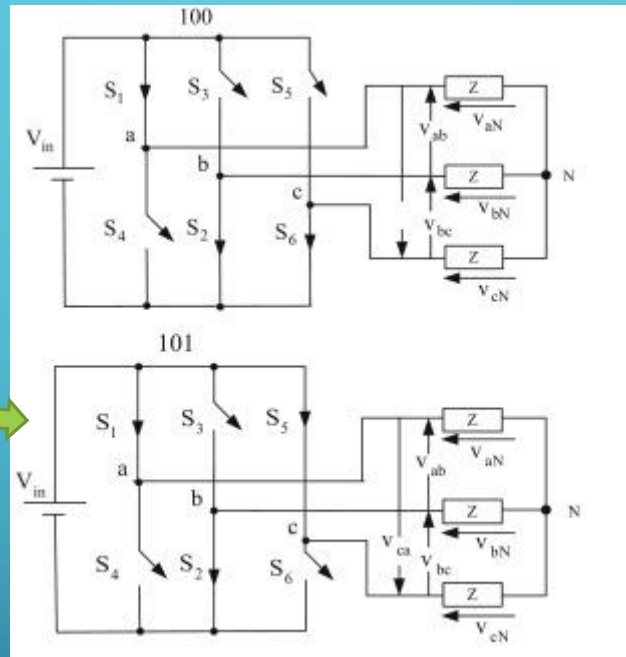
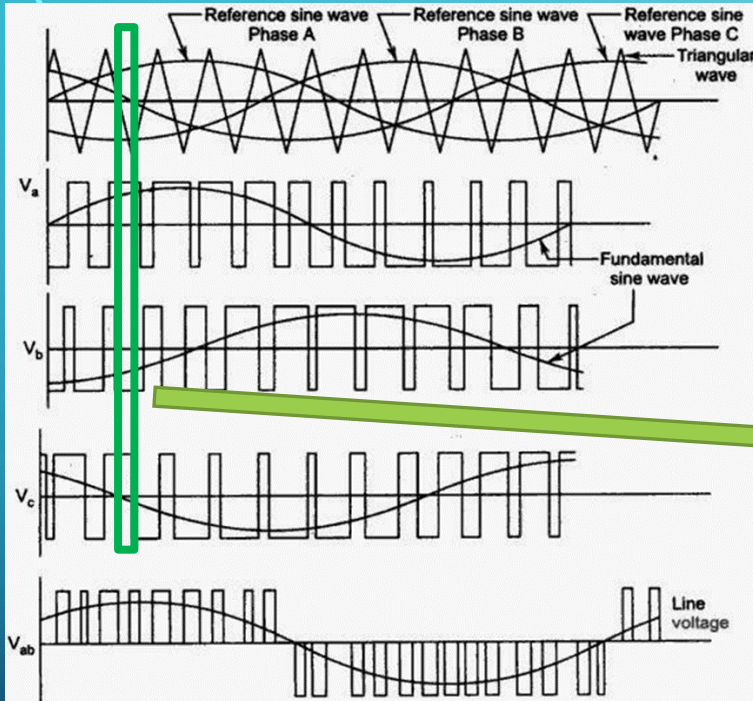
- Gewenst effect: Sinus benaderen door "gehakte" DC



SCHAKELEN VAN INVERTER: COMMON MODE

In praktijk: 3 Halve Bruggen met 2 states => $2^3 = 8$ toestanden

Bv: V_A & V_C hoog / V_B laag = toestand 101



$$v_{CM} \triangleq \frac{v_{A0} + v_{B0} + v_{C0}}{3}$$

$$v_{CM} = 1/3 * (V_{dc}/2 - V_{dc}/2 + V_{dc}/2) = V_{dc}/6$$

SCHAKELEN VAN INVERTER: COMMON MODE

- Common Mode spanning
 - Schakelfrequentie \Rightarrow Geen DC! \Rightarrow Door $C_{\text{parasitair}}$!
 - Amplitude $\sim V_{\text{DC}}$!
 - Zonder tegenmaatregelen/impedantie \Rightarrow Grote CM-stroom \Rightarrow Switches stuk

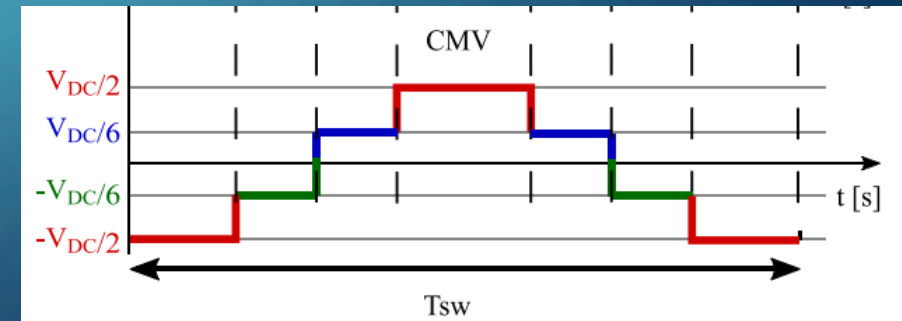
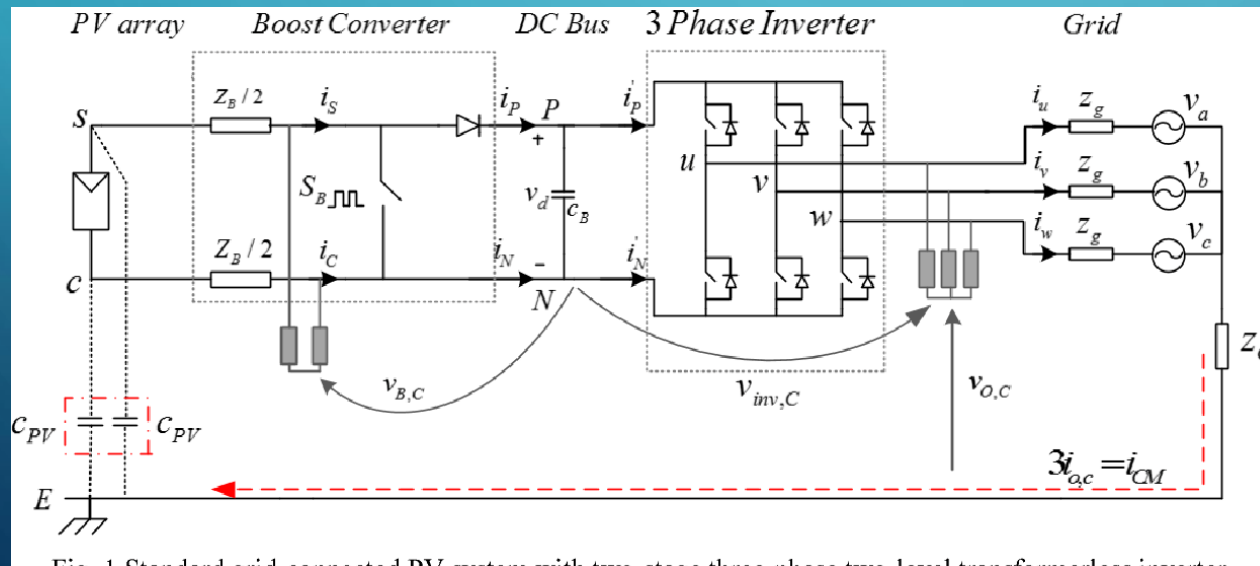


Fig. 1. Standard grid-connected PV system with two-stage three-phase two-level transformerless inverter

INHOUDSTAFEL

- Wat is EMC?
- Oorzaak van EMC?
- **Problemen door EMC?**
- Oplossingen tegen EMC?

EMC PROBLEMEN

Kortsluiting

- Zichtbaar/korte-termijn effect

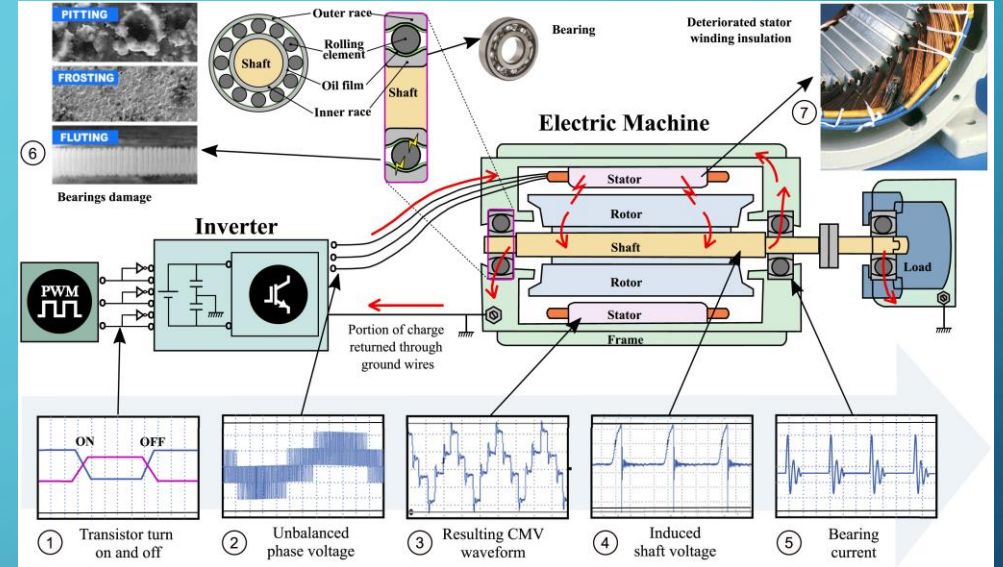


- Eenvoudige diagnose



EMC

- Onzichtbaar/lange-termijn effect



- Dure & Gecompliceerde diagnostics



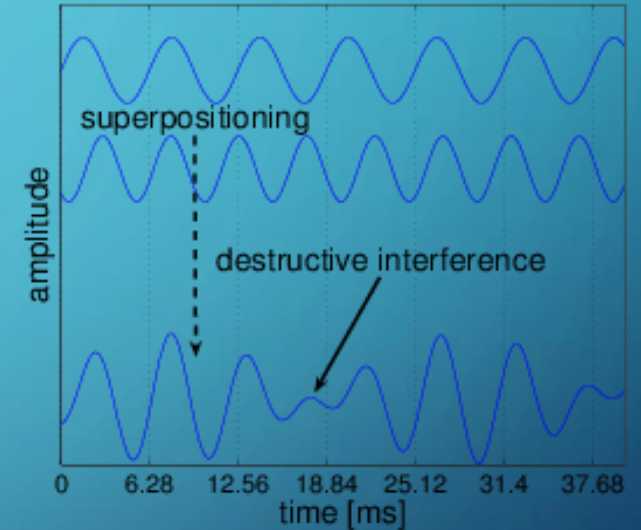
EMC PROBLEMEN DOOR RADIATED EMISSIONS

Agentschap Telecom: slechte zonnepanelen verstoren C2000-netwerk hulpdiensten

De bruikbaarheid van het C2000-netwerk staat op het spel door zonnepaneelinstallaties die onjuist zijn geïnstalleerd en niet voldoen aan wettelijke EMC-eisen. Het C2000-netwerk wordt als communicatienetwerk gebruikt door hulpdiensten.

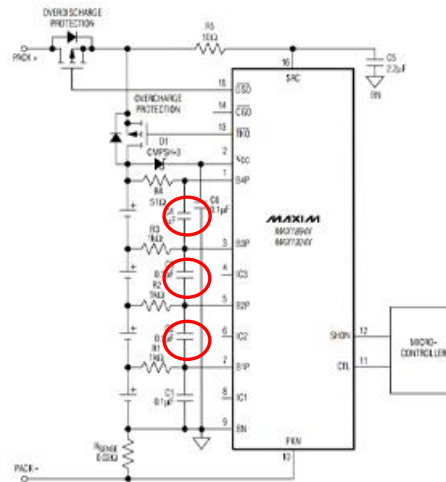
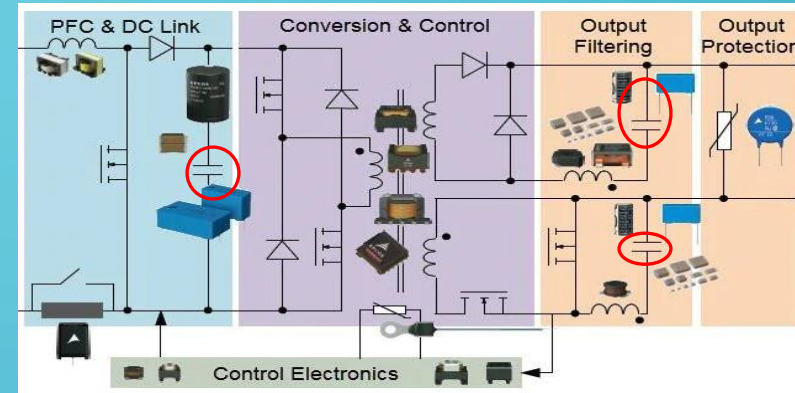
Het Agentschap Telecom [schrijft in zijn jaarrapport](#) bezorgd te zijn over de ontwikkeling van zonnepaneelinstallaties die het C2000-netwerk ernstig verstoren. Door deze verstorende zonnepanelen zou de bruikbaarheid van het C2000-frequentienetwerk op het spel staan, schrijft het agentschap. De verstoring ligt volgens het agentschap bij de gebruikte componenten of de manier waarop deze geïnstalleerd zijn.

Volgens het agentschap zijn de panelen verstorend omdat deze hoog geplaatst worden en de hele dag stoorsignalen uitstralen. Niet alle installaties zijn volgens het agentschap verstorend; apparatuur die aan de EMC-richtlijn voldoet, verstoort sowieso niet. Niet alle zonnepaneelinstallaties voldoen hier echter aan,

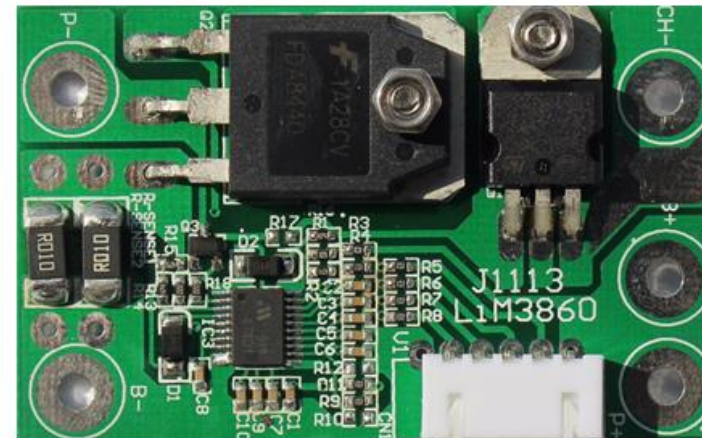


EMC PROBLEMS DOOR CONDUCTED EMISSIONS

- Condensator krijgt te veel stroom
 - ⇒ Lagere impedantie bij hoge f
 - ⇒ Versnelde veroudering
 - ⇒ Economische impact



Cell Battery Pack Schematic

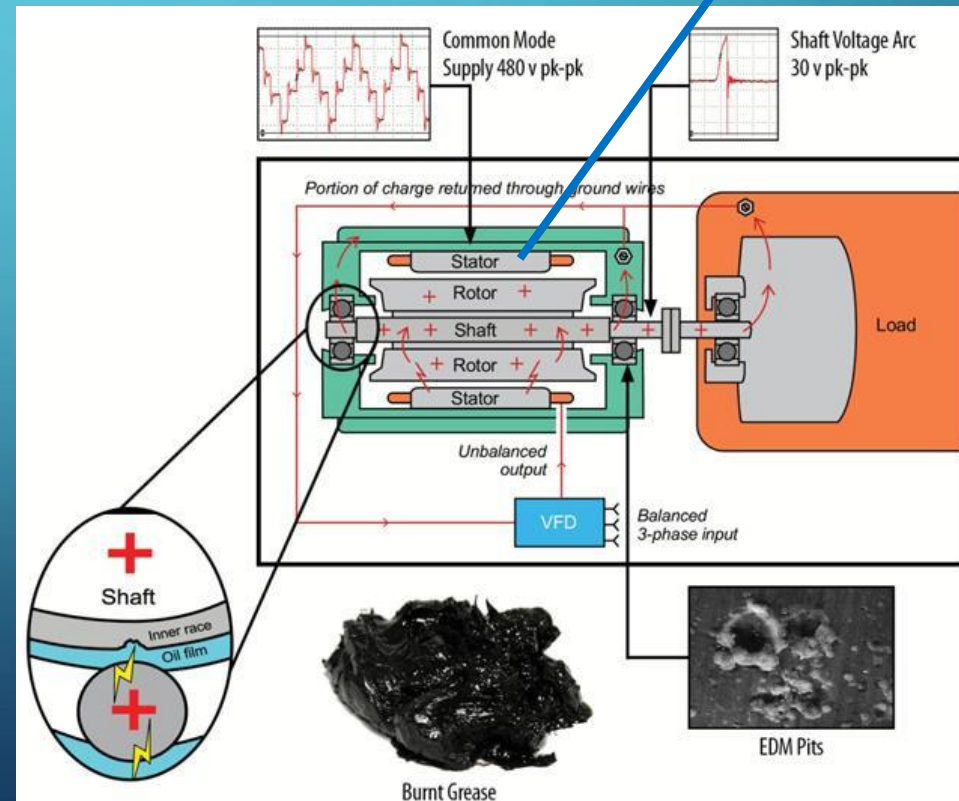
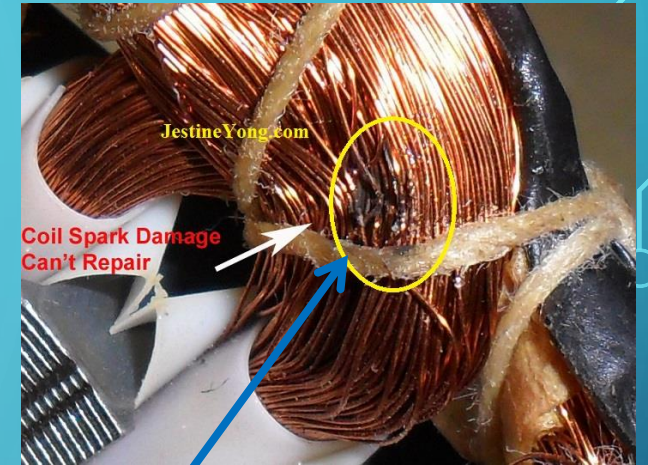
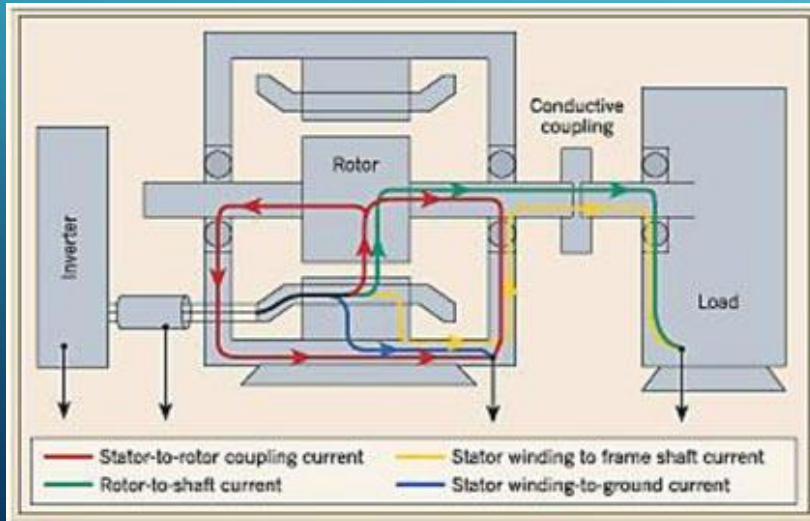


Simple BMS for cordless tools. Source: Ali Express.

EMC PROBLEMEN DOOR CM

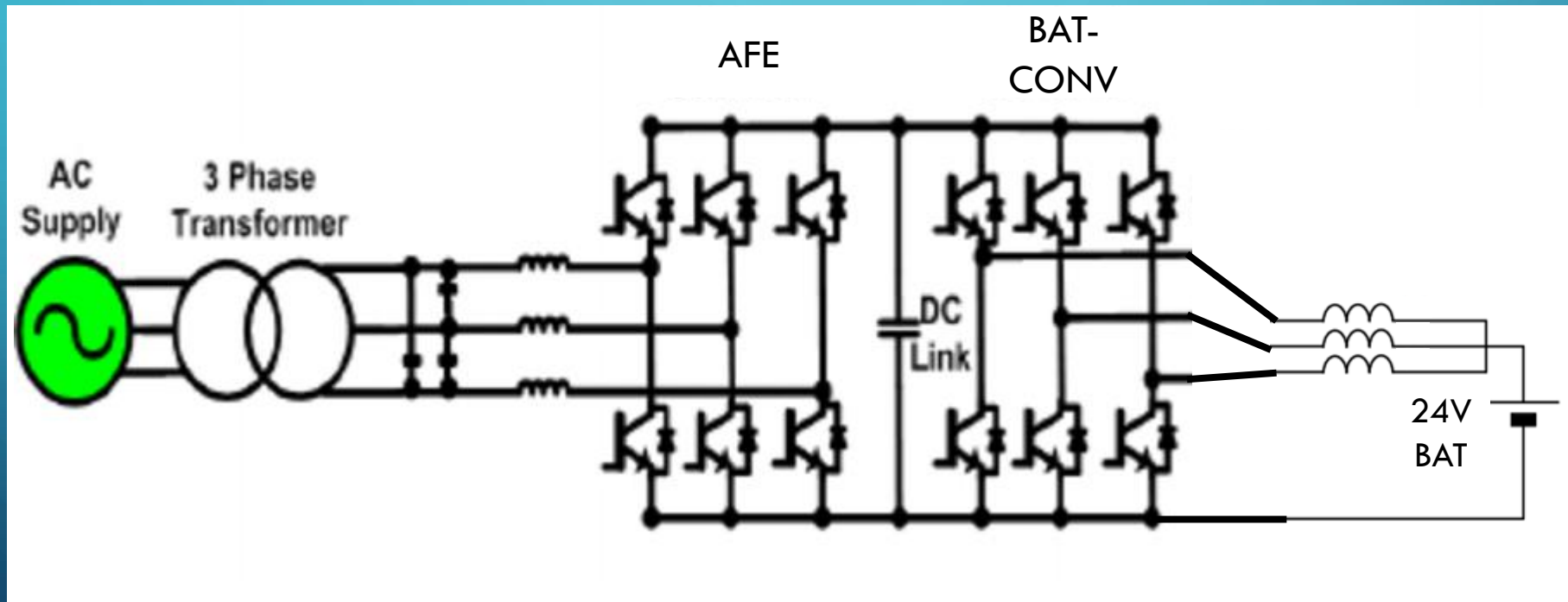
Motoraandrijving:

- EMI: hoogfreq => Cap. gekoppeld
=> I_{hoogfreq} door $C_{\text{parasitair}}$
 - Reflecties: $V*2!$
 - Lagers
 - Statorwindingen
- 80% falen

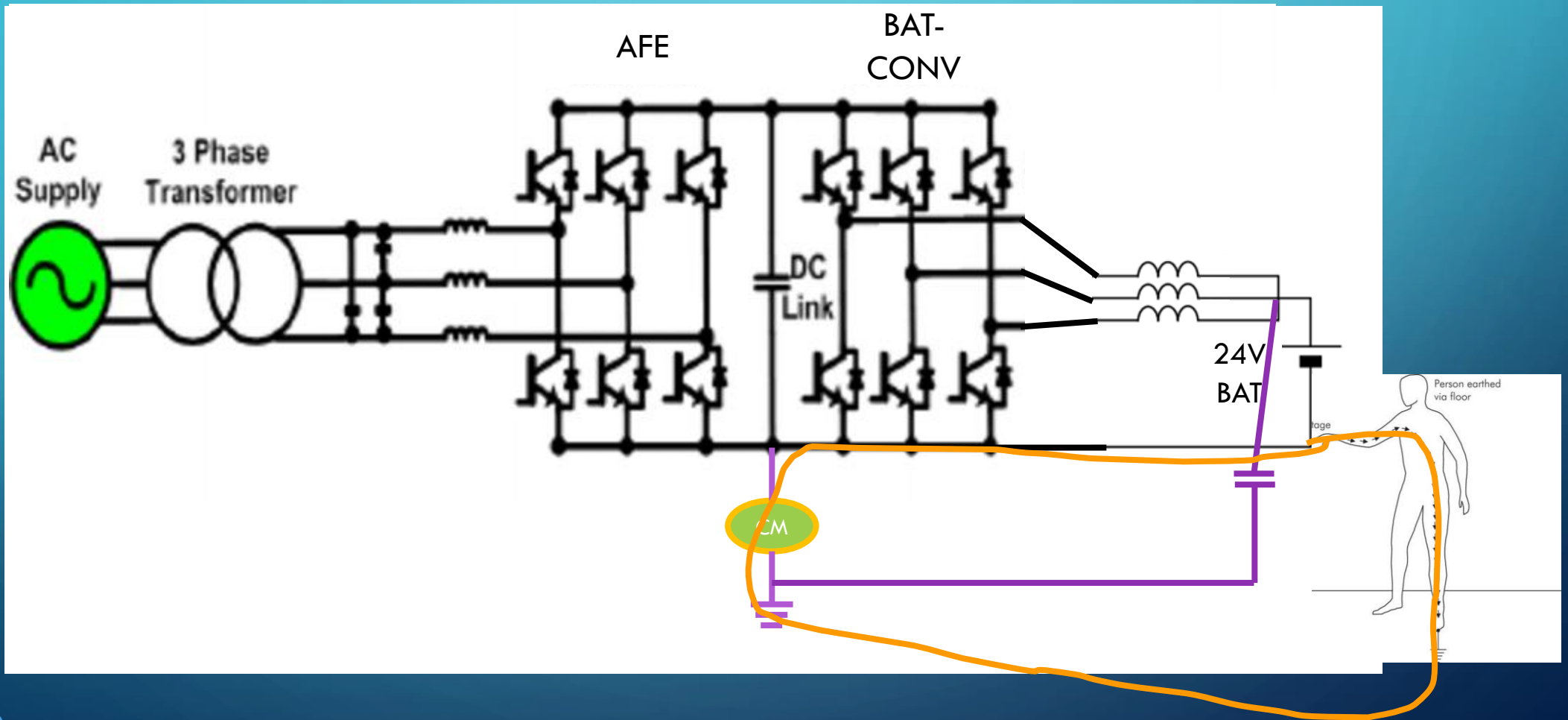


EMC PROBLEMEN DOOR CM

- Batterij-converter in zwevend DC-net + 24 V_{dc} ELV
- Aanraakveilig want stroomkring kan zich niet sluiten!



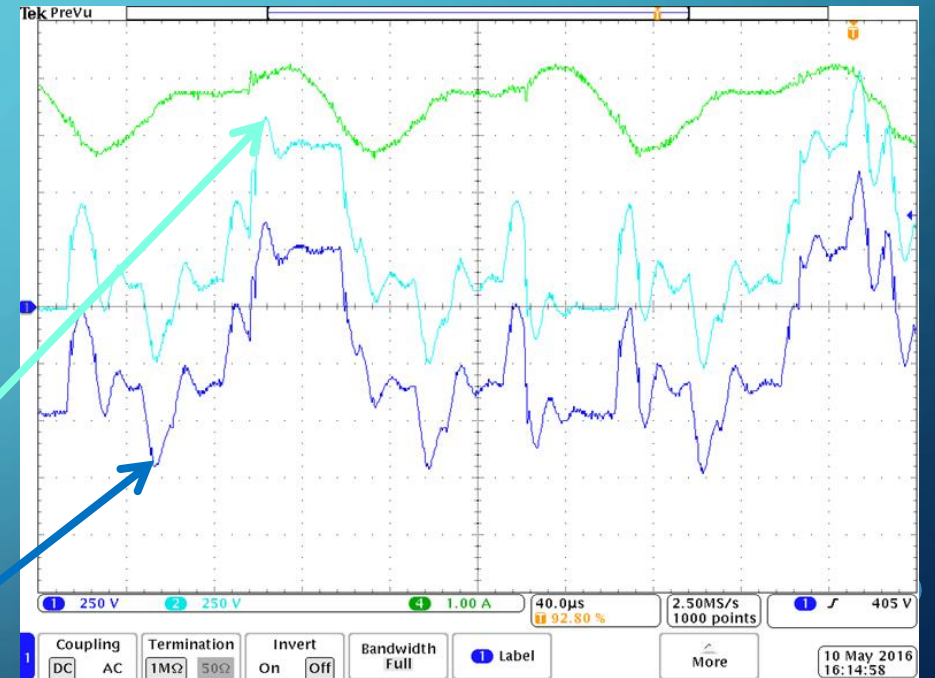
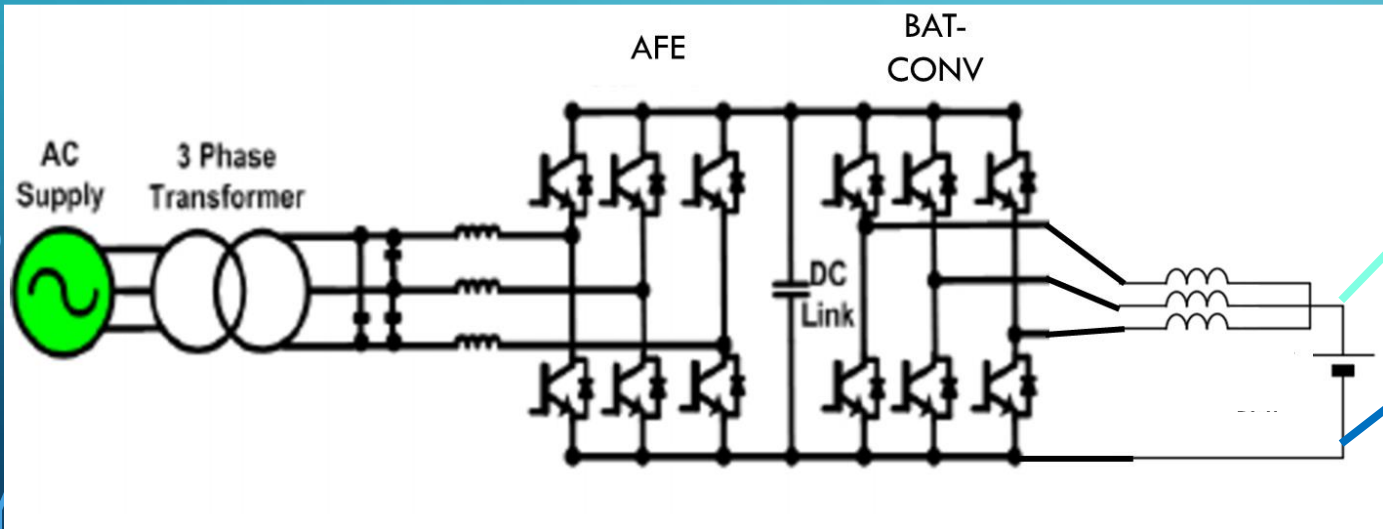
EMC PROBLEMEN DOOR CM



EMC PROBLEMEN DOOR CM

Batterij-converter in DC-net:

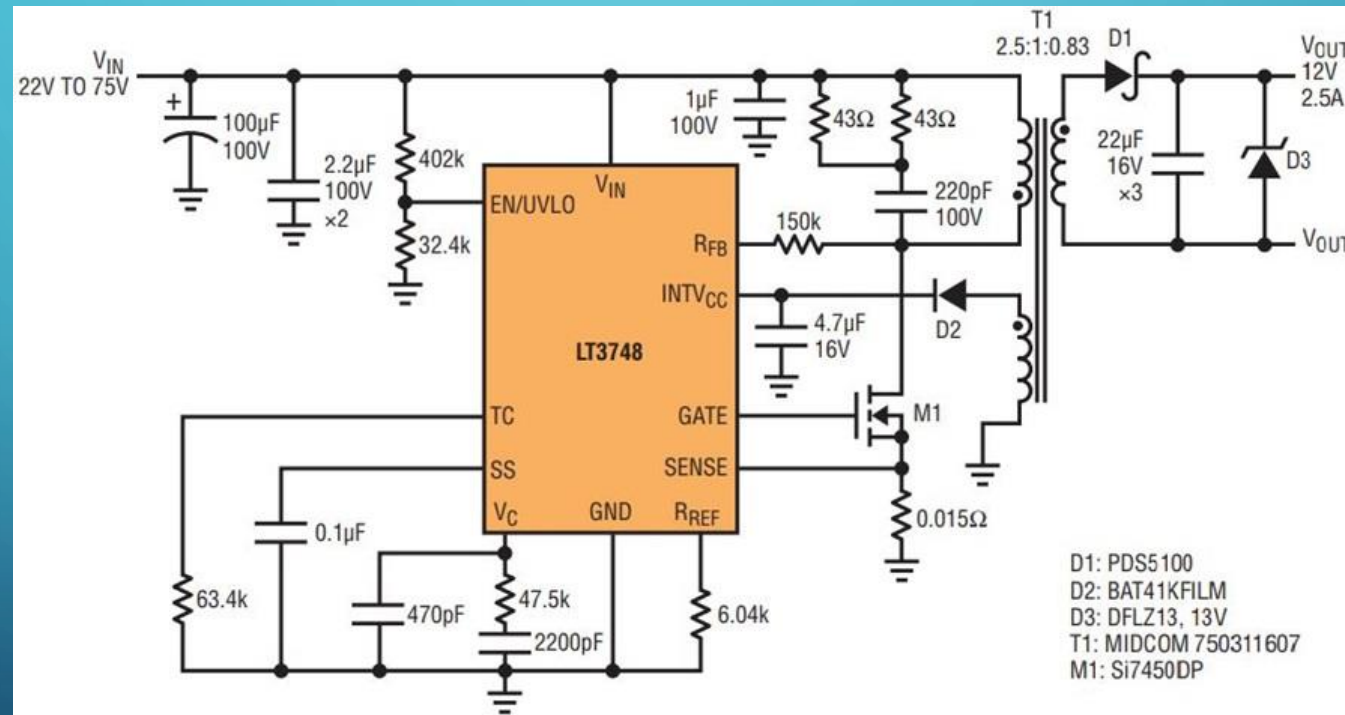
- Plus-pool: 1 kV tov PE
- Min-pool: -750 V tov PE
- Verschil = $C_{te} = ??$



EMC PROBLEMEN DOOR CM

Voeding voor Randorganen DC-net: Meting / Comm / Controller / Actuator

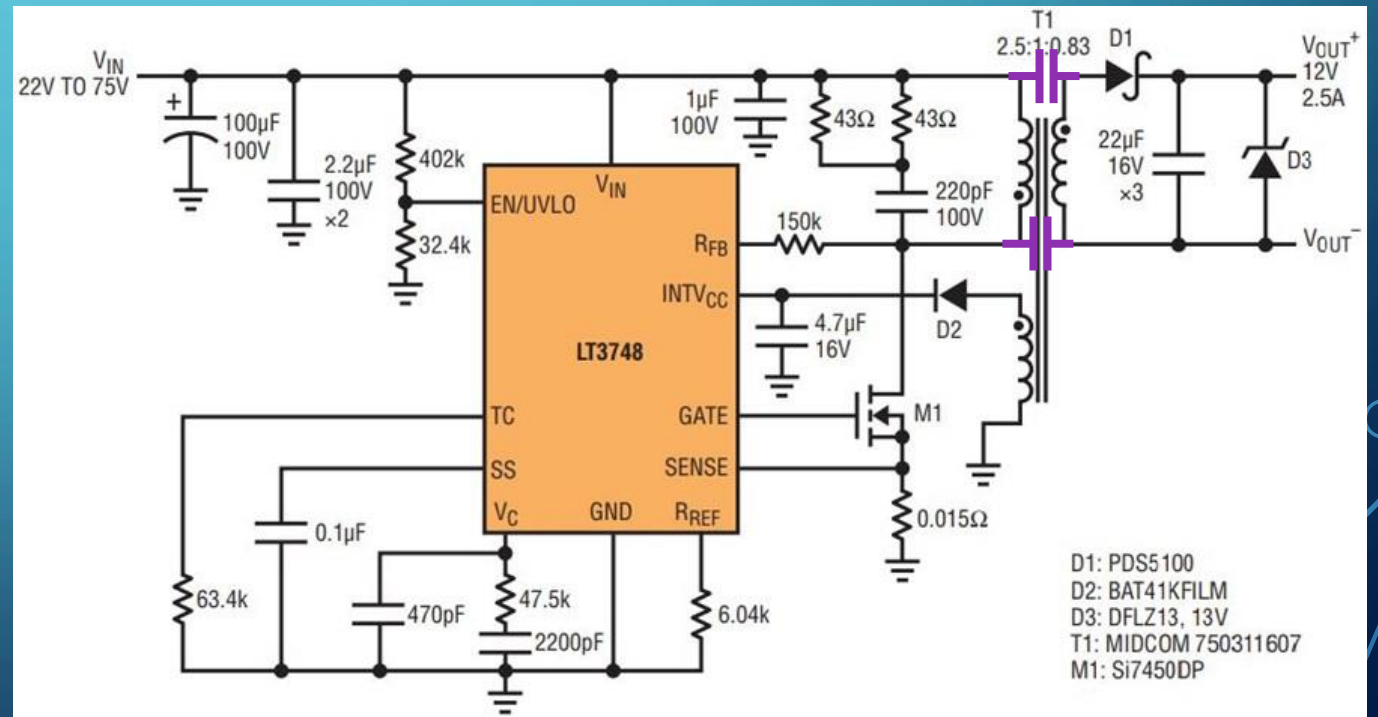
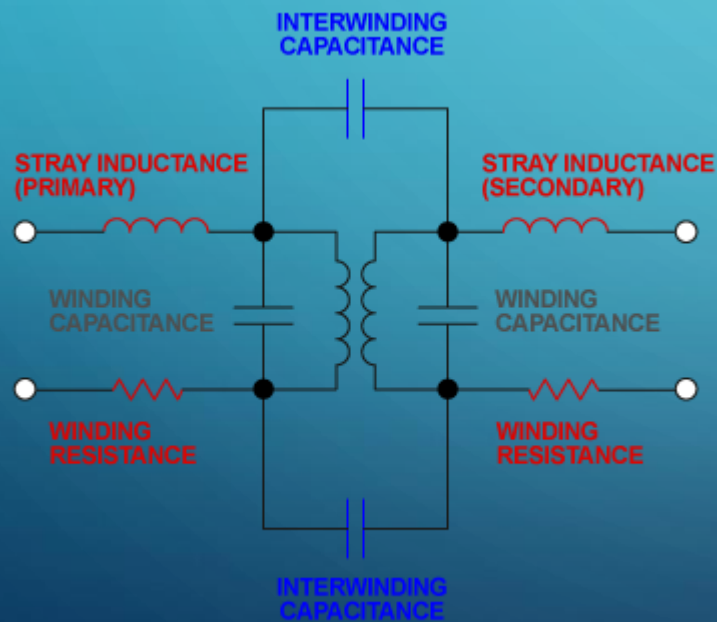
- Voeding met geïsoleerde DC/DC converter => Klopt voor DC + LF



EMC PROBLEMEN DOOR CM

Voeding voor Randorganen DC-net: Meting / Comm / Controller / Actuator

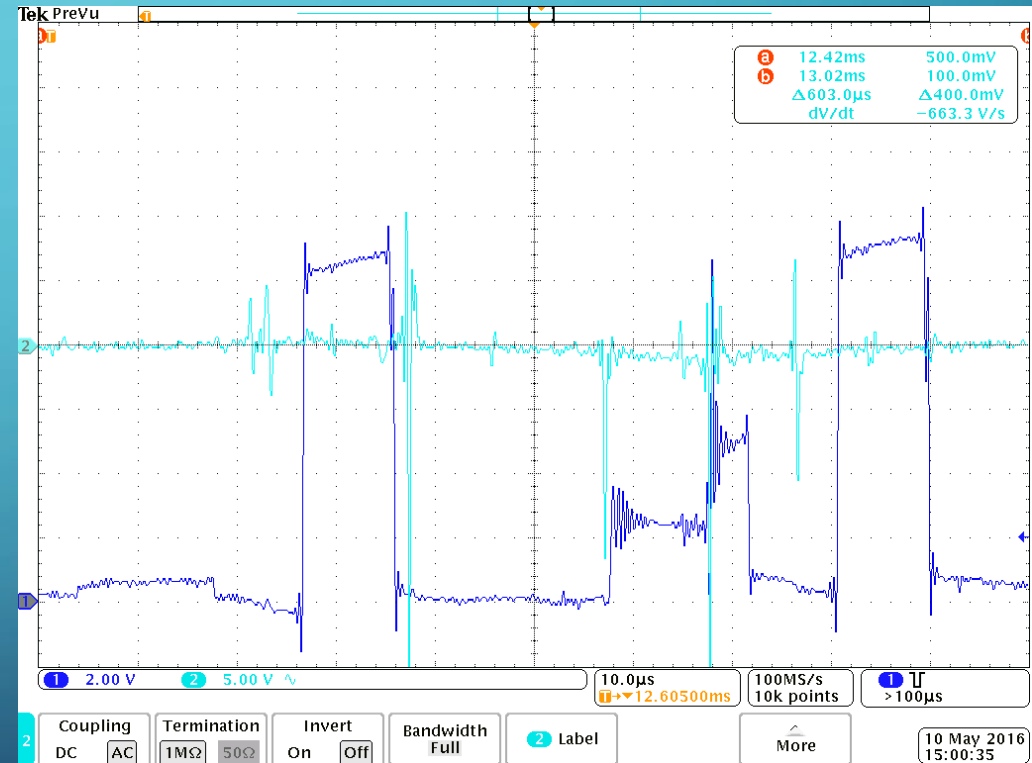
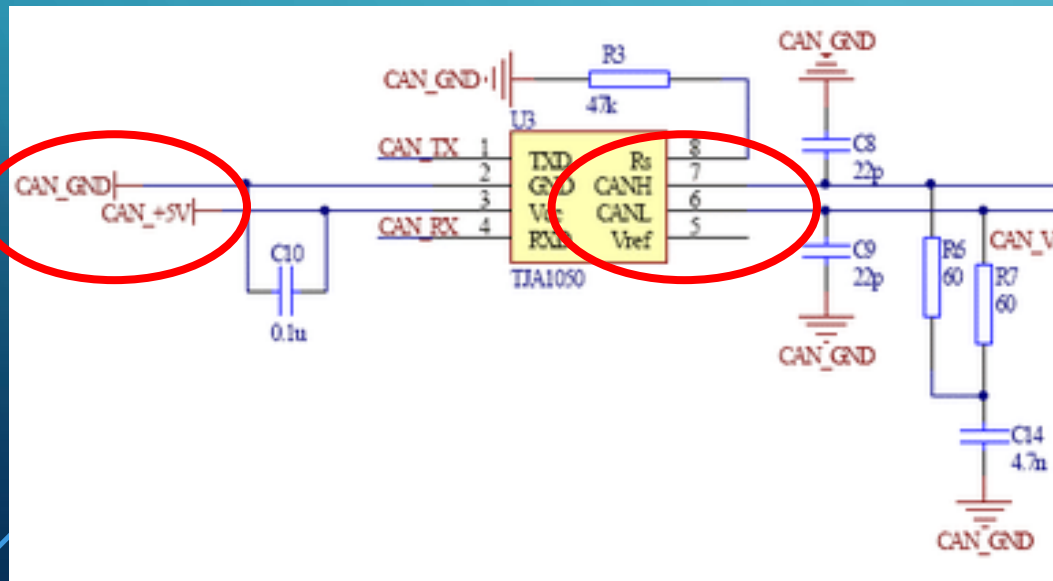
- Geïsoleerde DC/DC converter => HF-verbinding (C_p) => CM dringt door tot randorganen



EMC PROBLEMEN DOOR CM

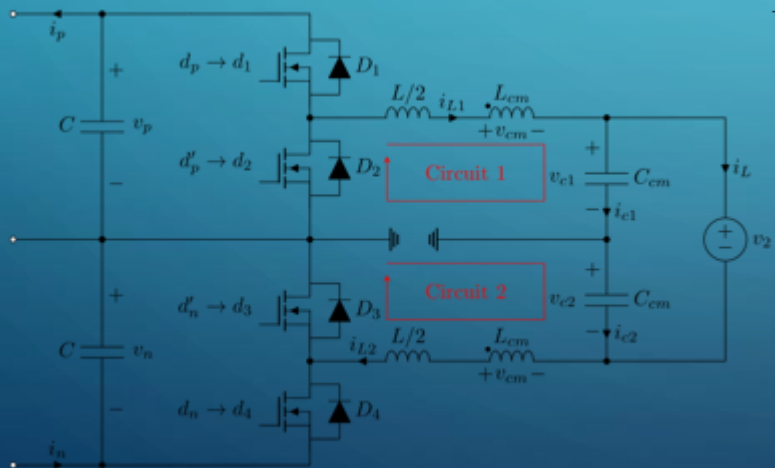
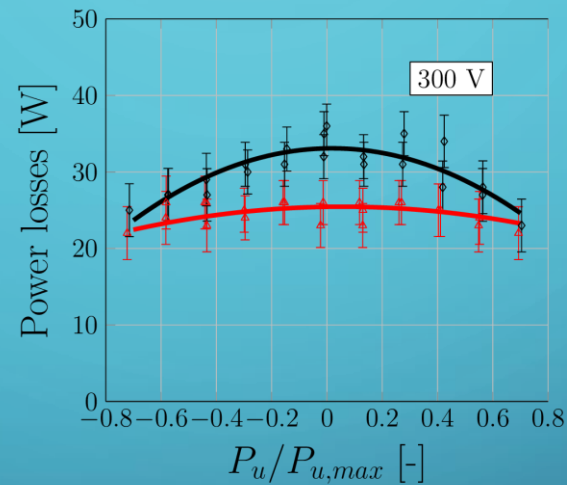
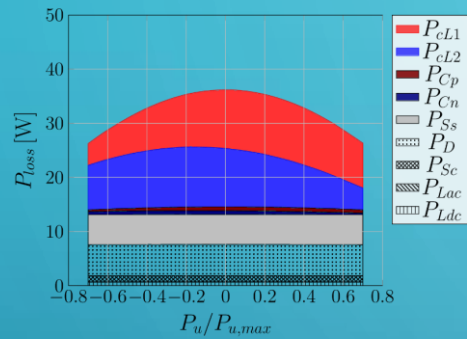
Voeding voor Randorganen DC-net: Meting / Comm / Controller / Actuator

- Lichtblauw: Diff probe op plus/min “stabiële” voeding => AC-ruis van DC-bron
- Donkerblauw: 5V van communicatie => CAN werkt niet!



EMC PROBLEMEN IN BIPOLAIRE NETTEN

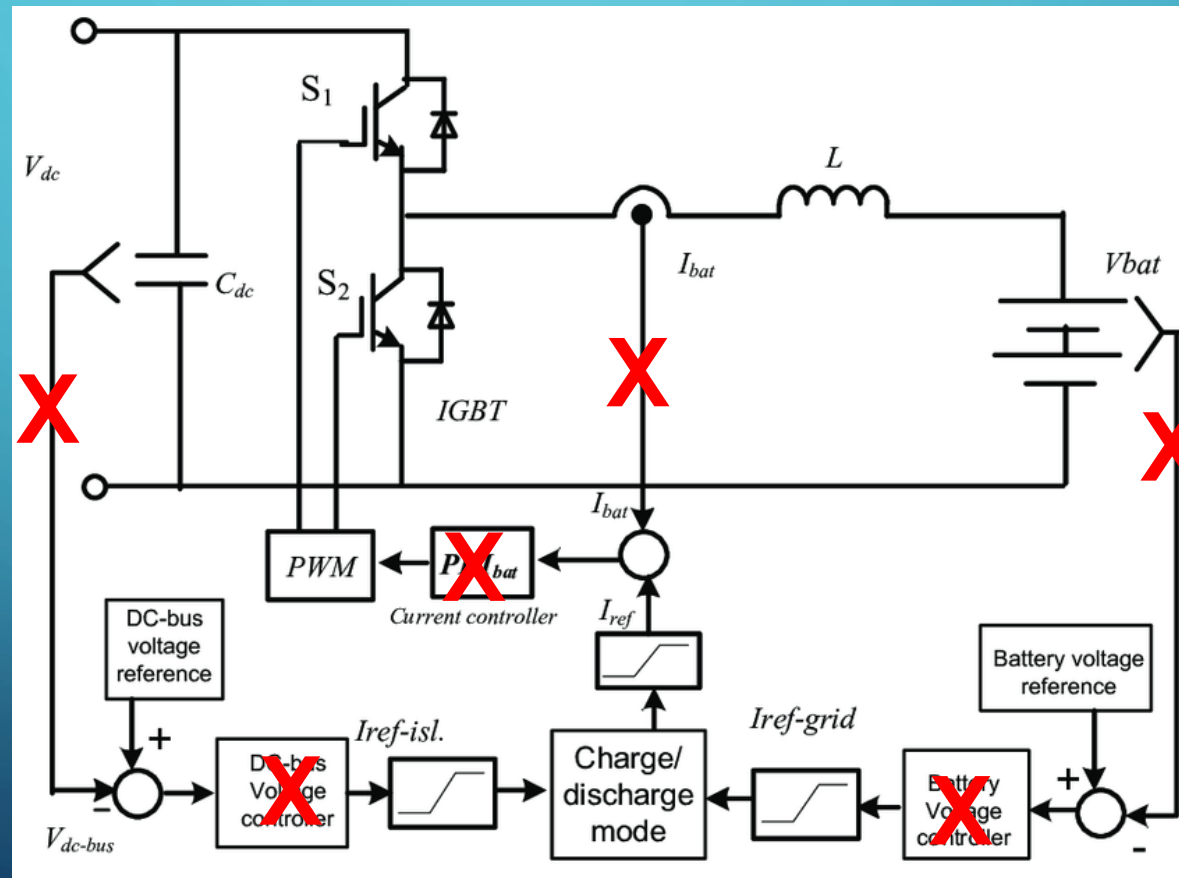
- Efficiency of three-level DC-DC converters in unbalanced conditions



EMC PROBLEMEN

Voeding voor Randorganen DC-net: Meting / Comm / Controller / Actuator

- Geen metingen => Geen controller => Geen omvormers => Geen DC-net
- PMS



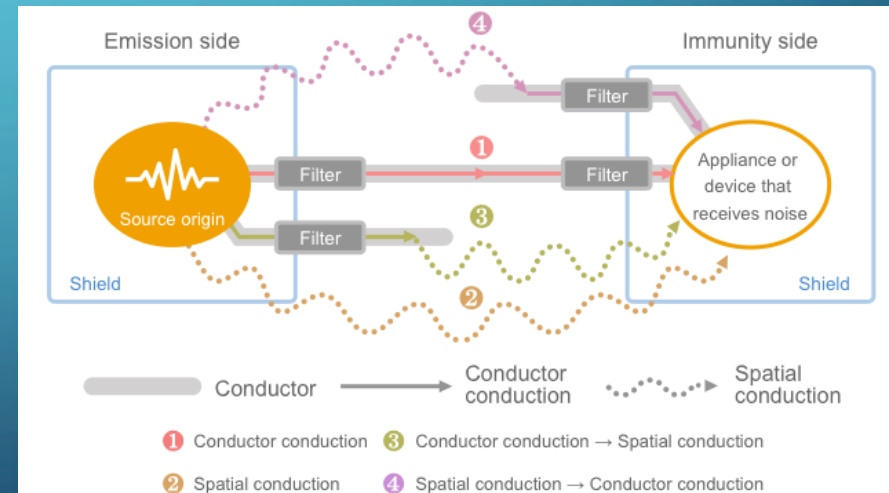
INHOUDSTAFEL

- Wat is EMC?
- Oorzaak van EMC?
- Problemen door EMC?
- **Oplossingen tegen EMC?**

=> Hoeft niet naar nul, onder drempel is voldoende.

EMC-OPLOSSINGEN

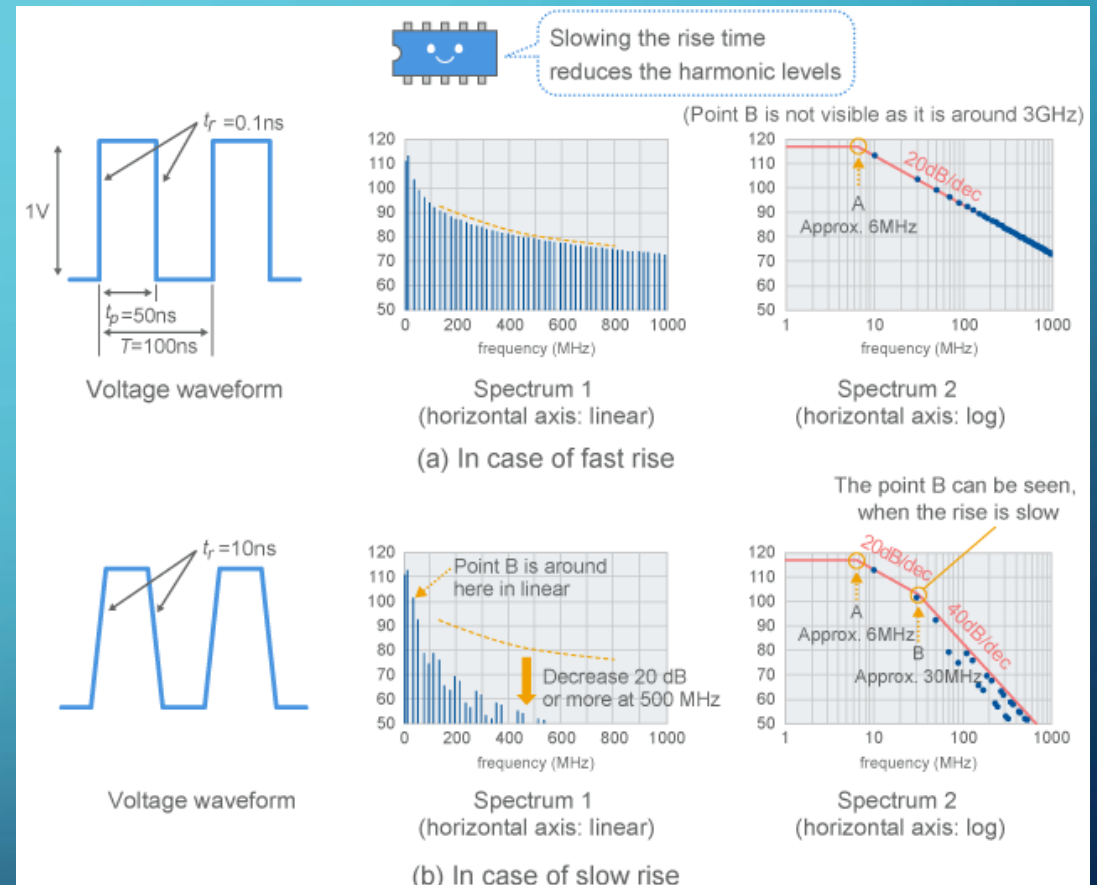
- Ontwerp omvormer met minimale emissies
- Filters toevoegen
- Shielding



ONTWERP OMVORMER MET MINIMALE EMISSIES

Omvormer

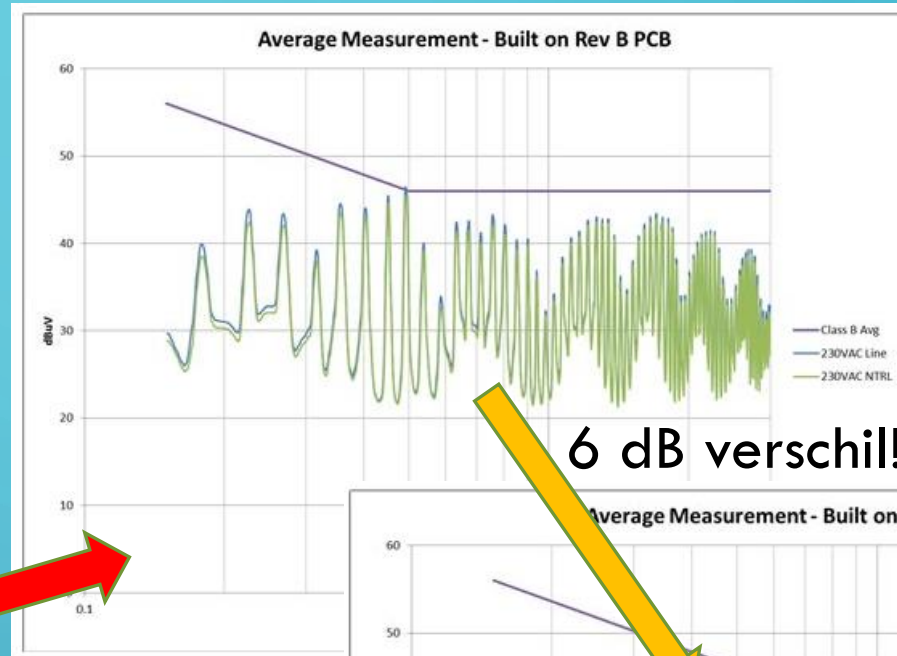
- Switch geleidelijker aan/uit zetten
- Spanning “afgerond”: Minder harmonischen
- Niet té lang: Omvormer met grote dode tijd is moeilijk te regelen



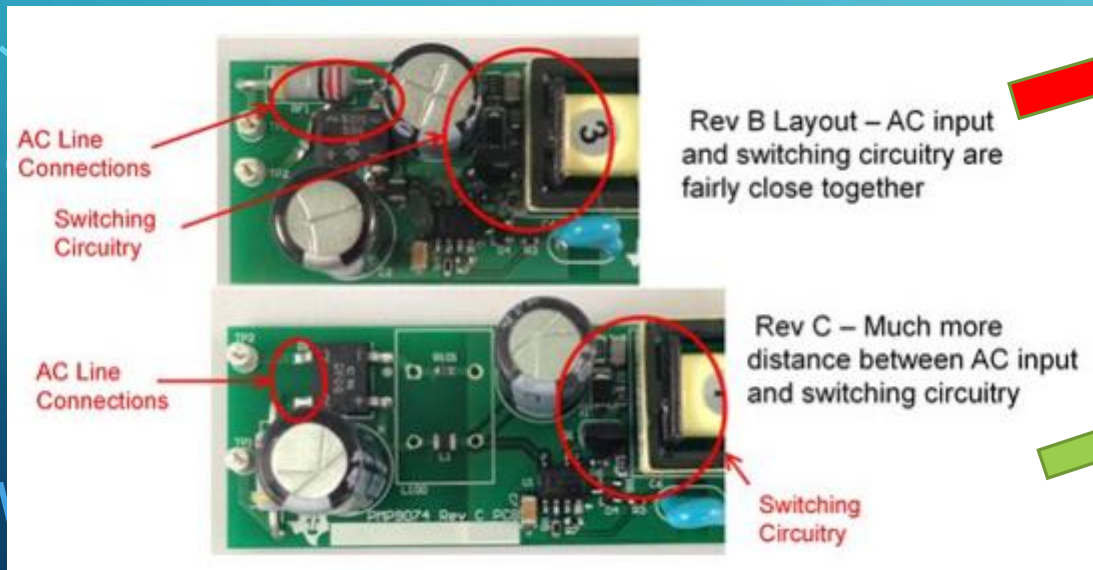
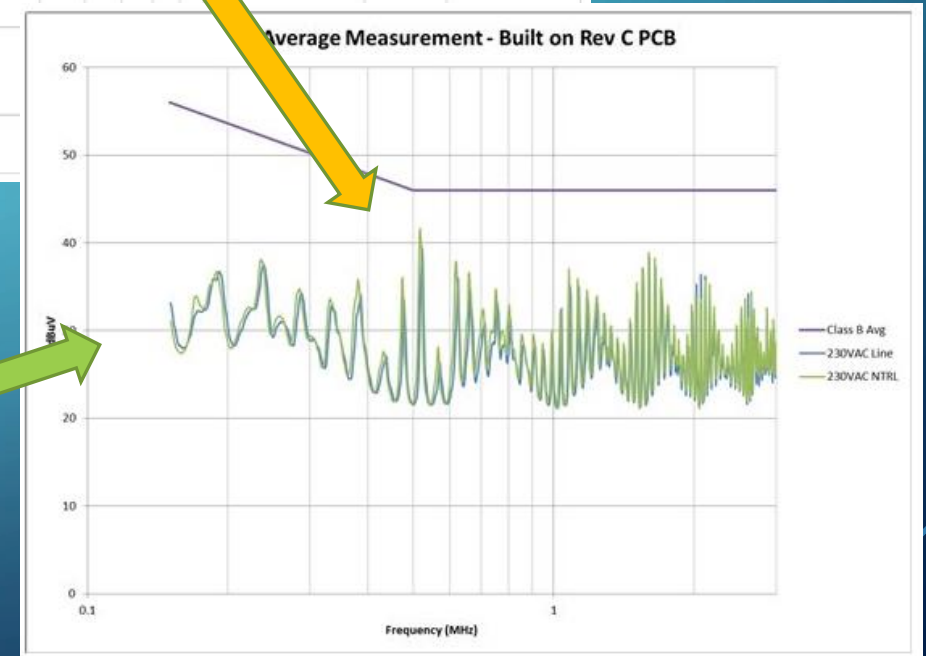
ONTWERP OMVORMER MET MINIMALE EMISSIES

Omvormer

- Layout aanpassen



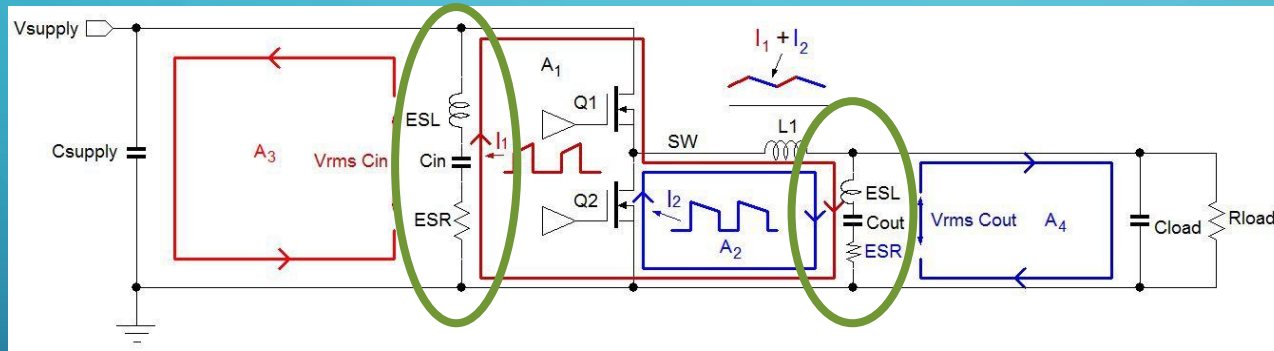
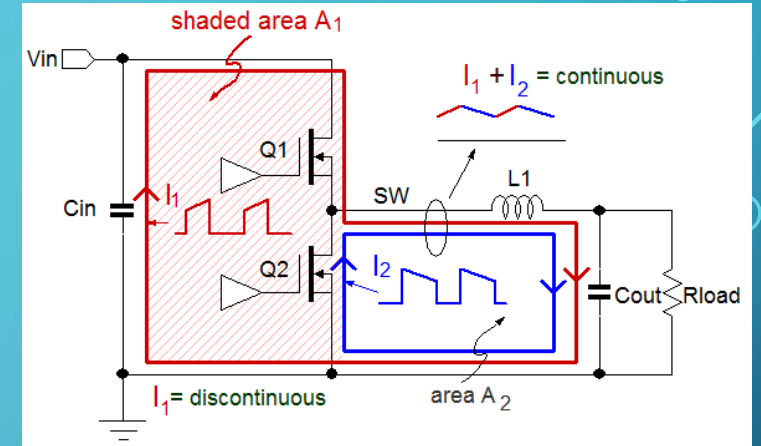
6 dB verschil!



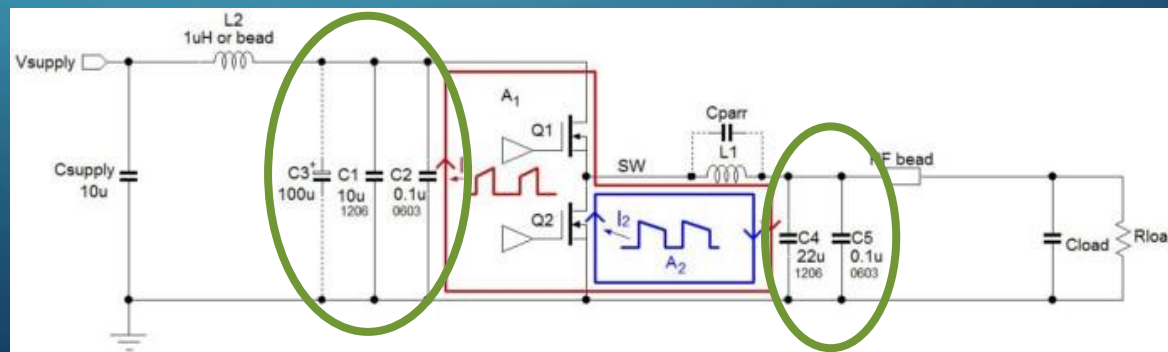
EMC-OPLOSSINGEN: FILTERS

- Filters (C_x)

- Schakelende voeding => Discontinue stromen DC-net
- C_x : Ontstoringcap tss L+ en M => Diff ruis onderdrukken
- 1 Niet-ideale C: nog steeds grote lus in DC-net



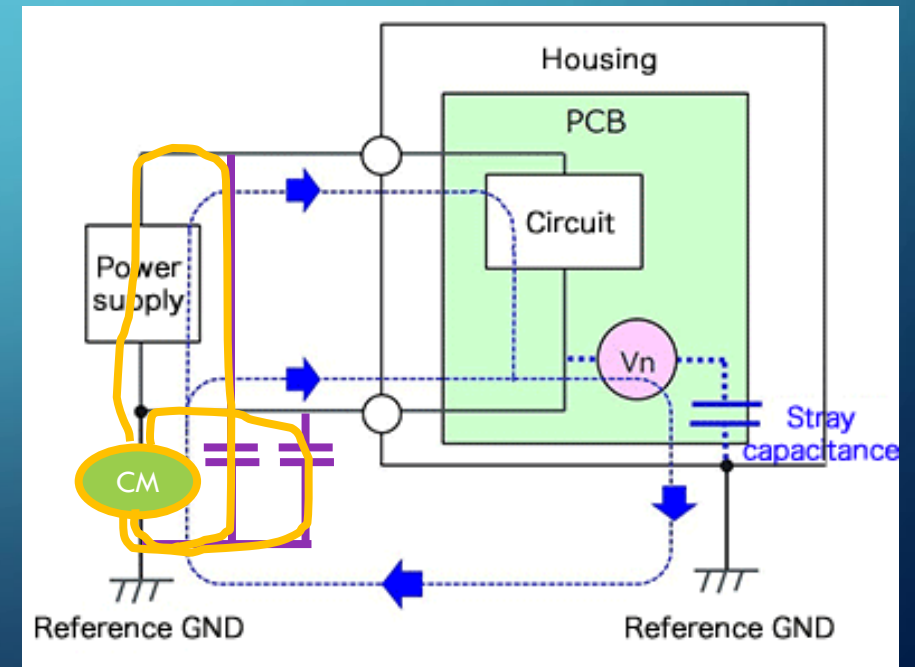
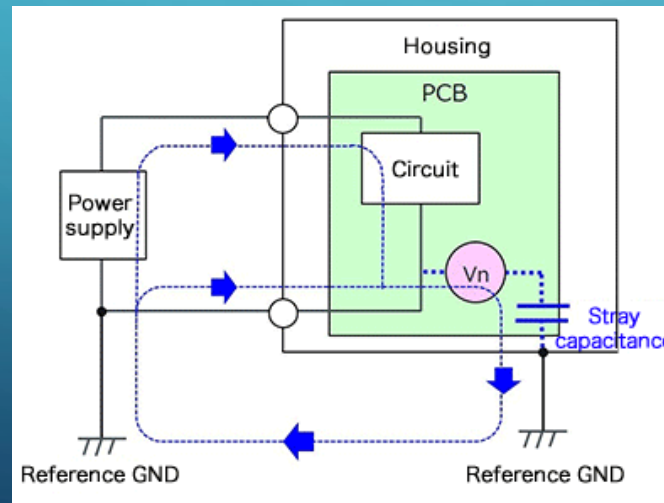
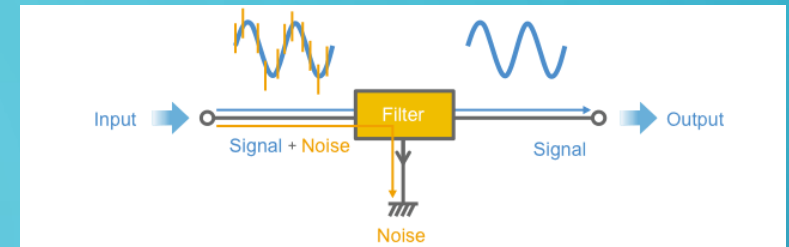
- Meerdere C in parallel: Lus wordt kleiner => Storing wordt kleiner



EMC-OPLOSSINGEN: FILTERS

- Filters (C_y)

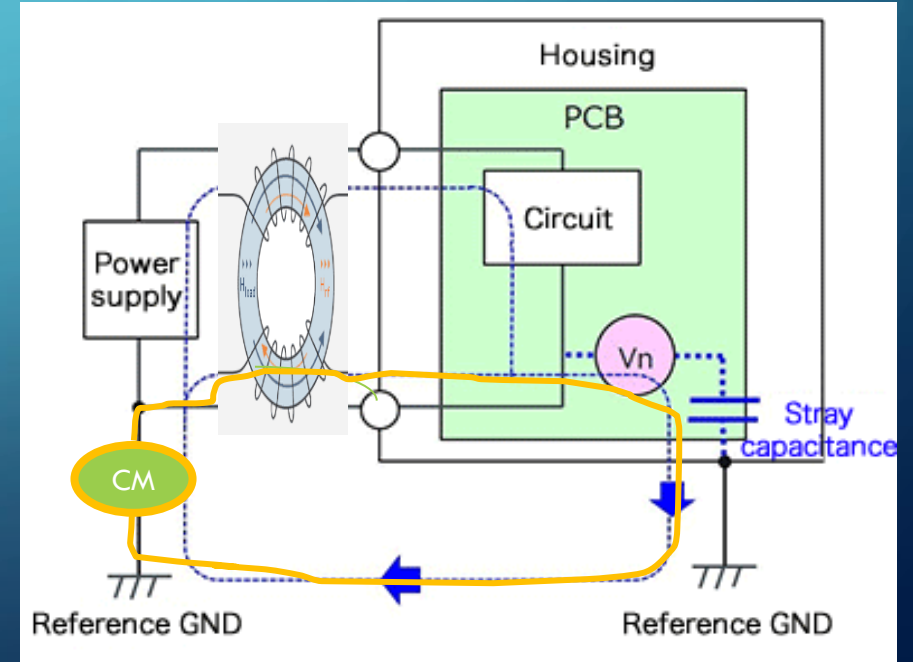
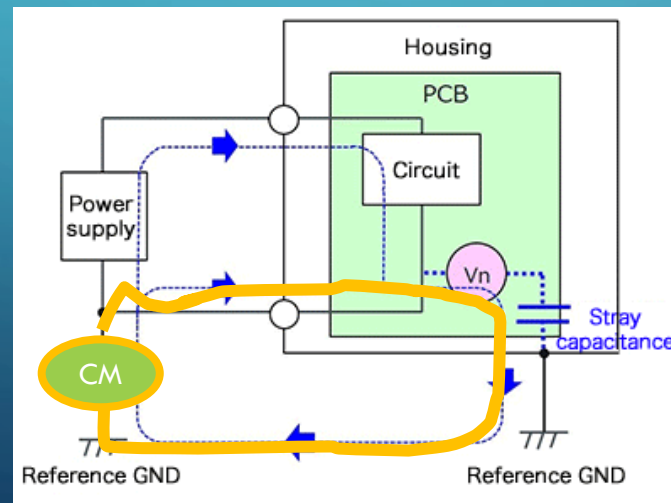
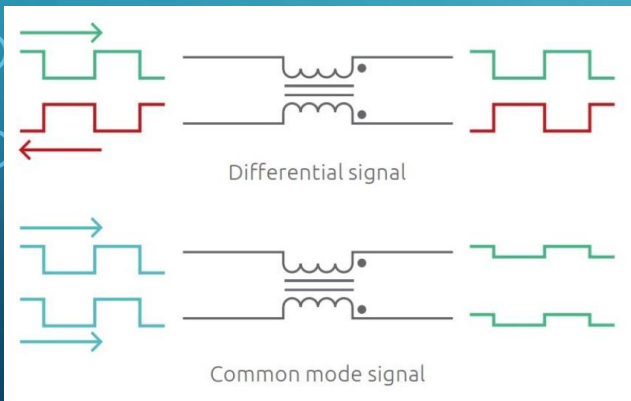
- C_y : Ontstoringscap tss L+/M en PE => CM-ruis onderdrukken
- Hoogfreq storing via PE terug naar bron
- Ook hier: Meerdere C in parallel => Storing wordt kleiner



EMC-OPLOSSINGEN

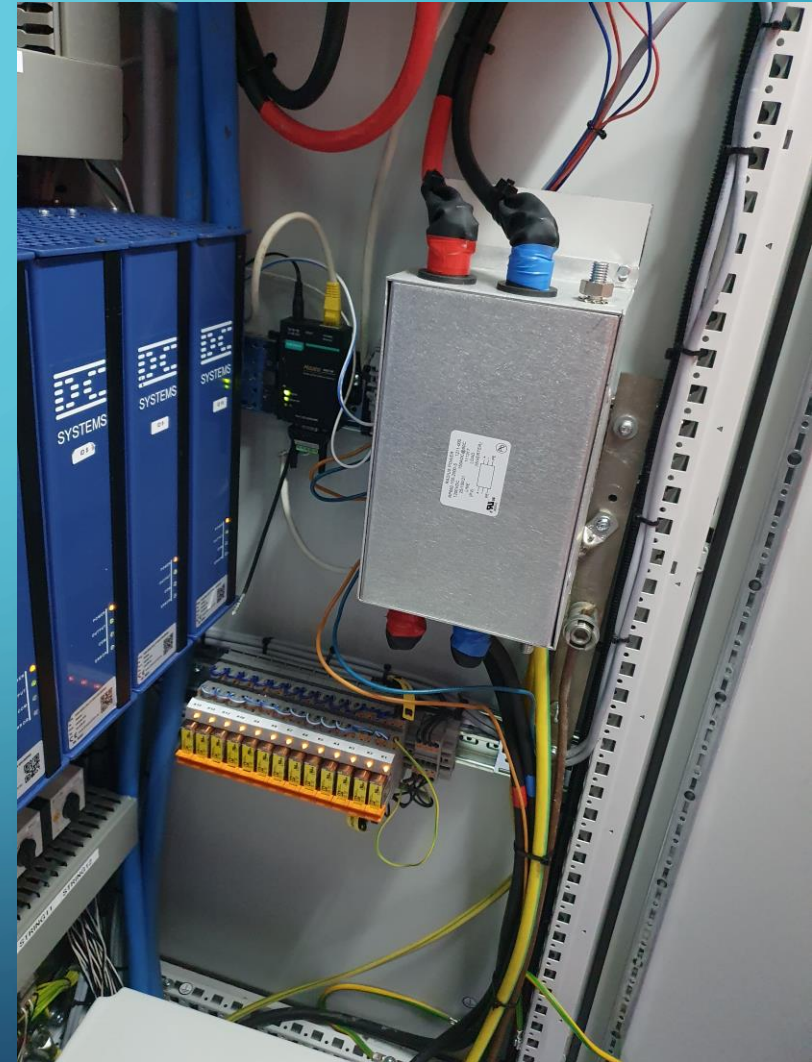
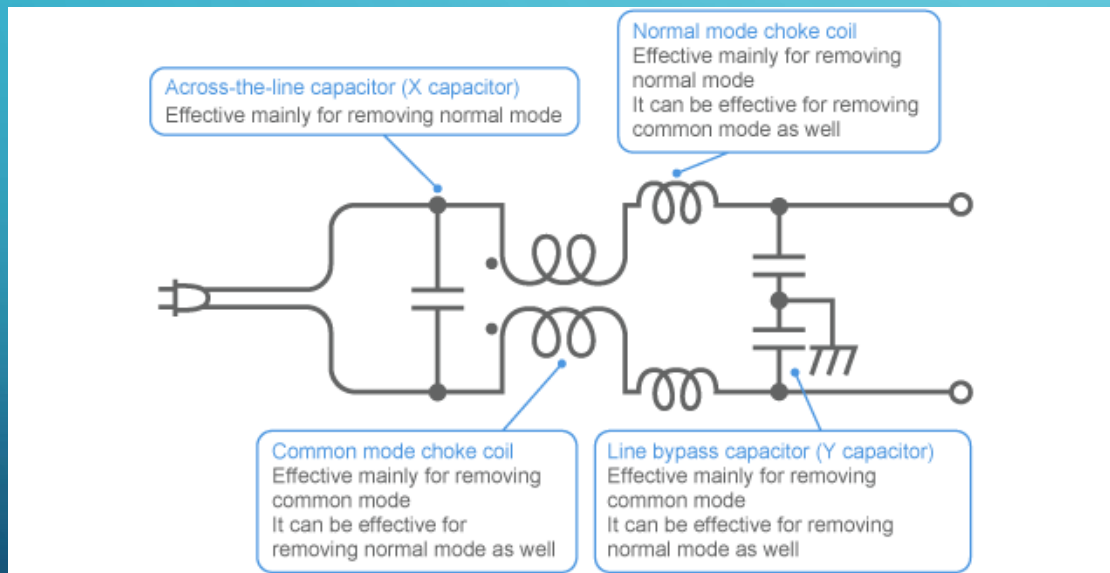
Common mode spoel/choke/inductor:

- Diff flux heffen mekaar op => Geen impedantie voor differentiële/normale stroom => Geen effect op “normale” rimpel
- Wel impedantie voor CM-stromen => CM-flux telt op => Grote impedantie



EMC-OPLOSSINGEN: FILTERS

- Filters
 - Worden samen in filter ondergebracht

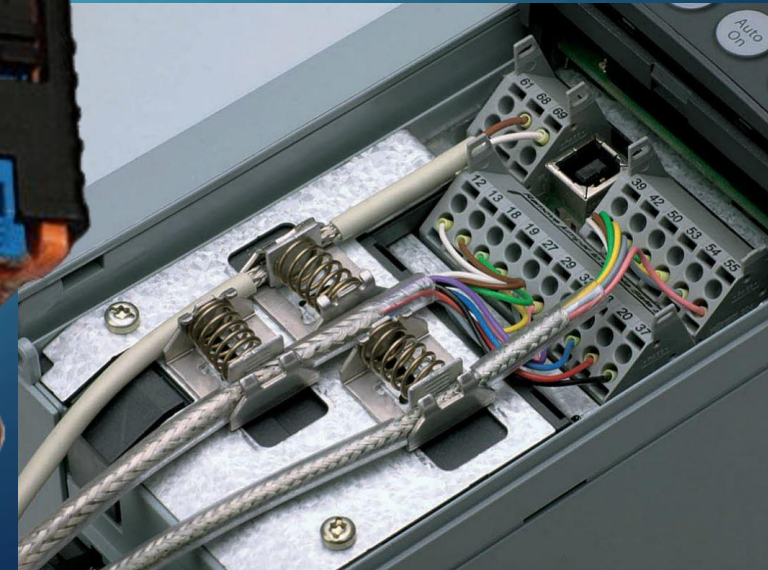
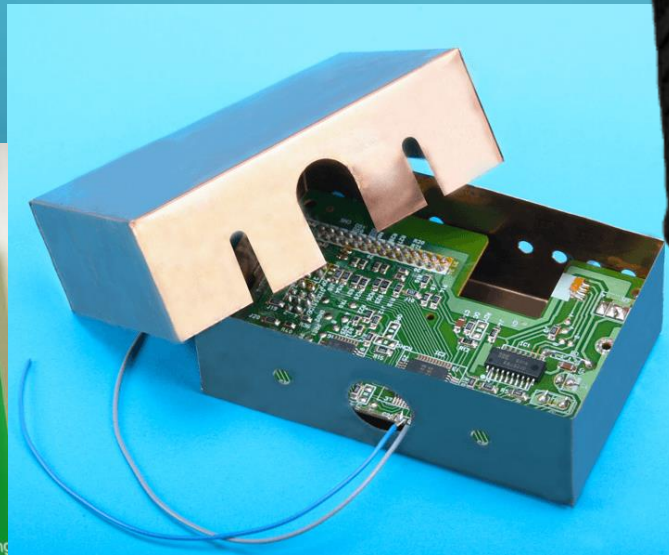
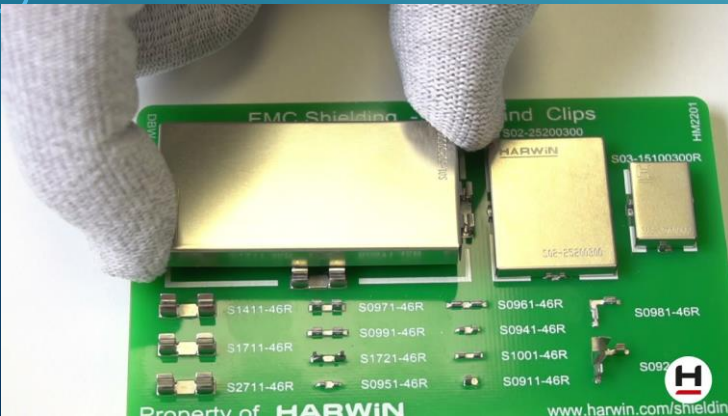


EMC-OPLOSSINGEN: SHIELDING

- Shielding = Faraday Cage

Between 1981 and 1987 five Blackhawk helicopters crashed and killed or injured all on board. **In each crash, the helicopter flew too near radio transmitters. The long-term solution was to increase shielding of sensitive electronics and provide as a backup some automatic control resets**

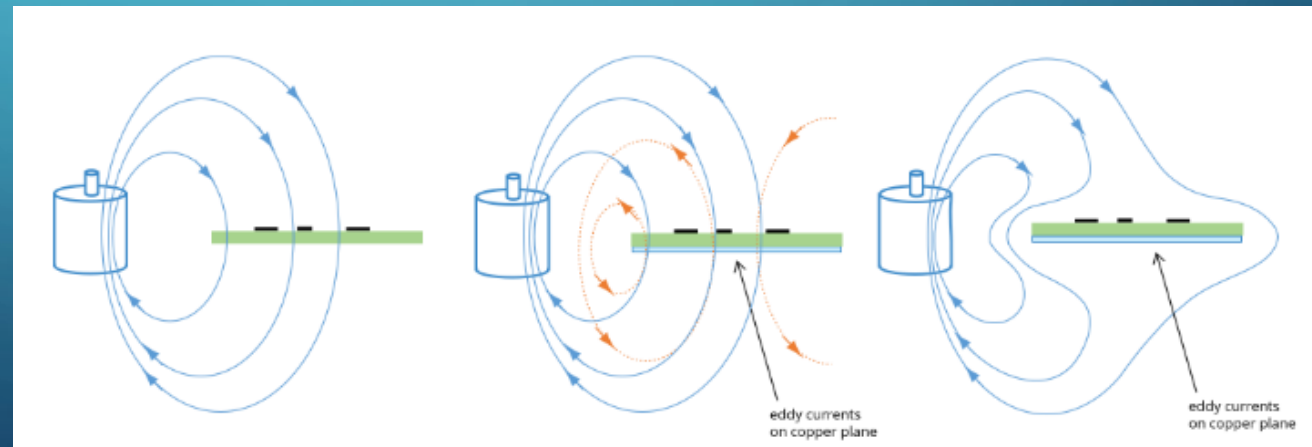
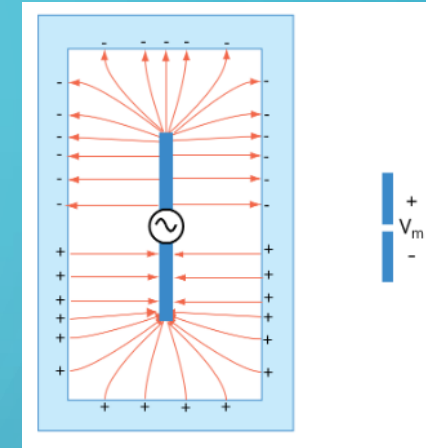
- Components or entire PCB
- Connectors
- Cables



EMC-OPLOSSINGEN: SHIELDING

Faraday Cage

- Volledig rond object met geleider (Al/Cu/Staal)
- Nuttig vanaf 100 kHz tegen elektrische en magnetische velden
 - Elektrisch veld: Lading op kooi heft elektrisch veld op
 - Magnetisch: Bestaat geen monopool => Magnetisch veld induceert spanning => zorgt voor “eddy-currents” in shield => Stroom werkt origineel magnetisch veld tegen => Alu/Cu/Fe
 - Eddy currents nodig => Te dun, geen eddies, geen tegenwerkend veld => Dikkere plaat, meer eddy-currents, meer tegenwerking!



CONCLUSIES

- Vermogenselektronica is essentieel in DC-netten
 - Van opwekking tot consumptie
 - Maar veroorzaken differentiële en common-mode ruis
- Nadelen zijn beheersbaar
 - Design van omvormer neemt EMC mee
 - Filters & Shielding zijn een supplementaire maatregel op ontwerp: Airbag die gordel aanvult
 - Pre-chargers zorgen voor compatibiliteit met Actieve Beveiliging