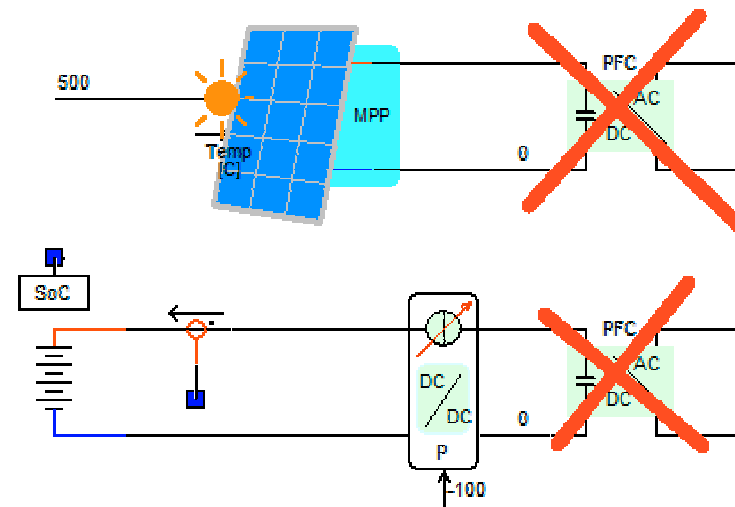


## Schakelen in DC-netten

dr ir P.J.van Duijsen



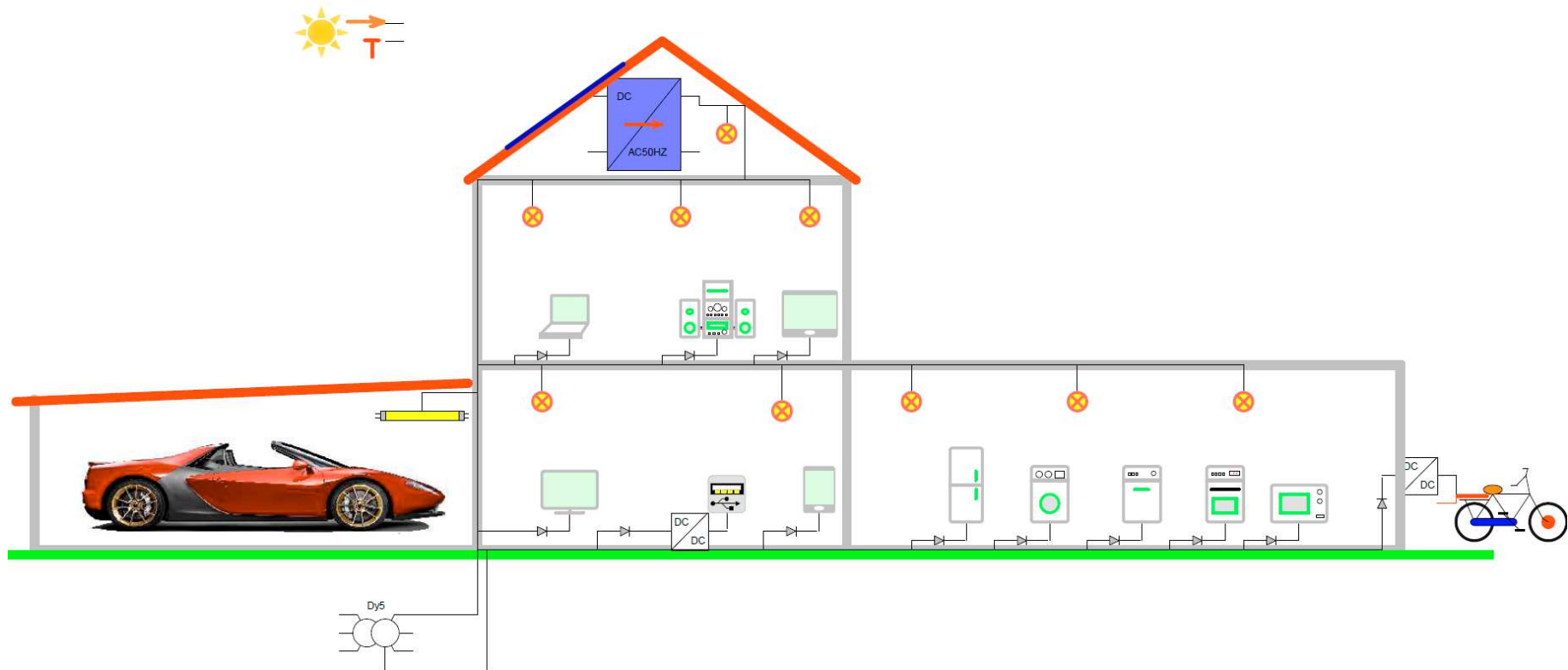
Learning by Simulation

Simulation Research  
The Netherlands



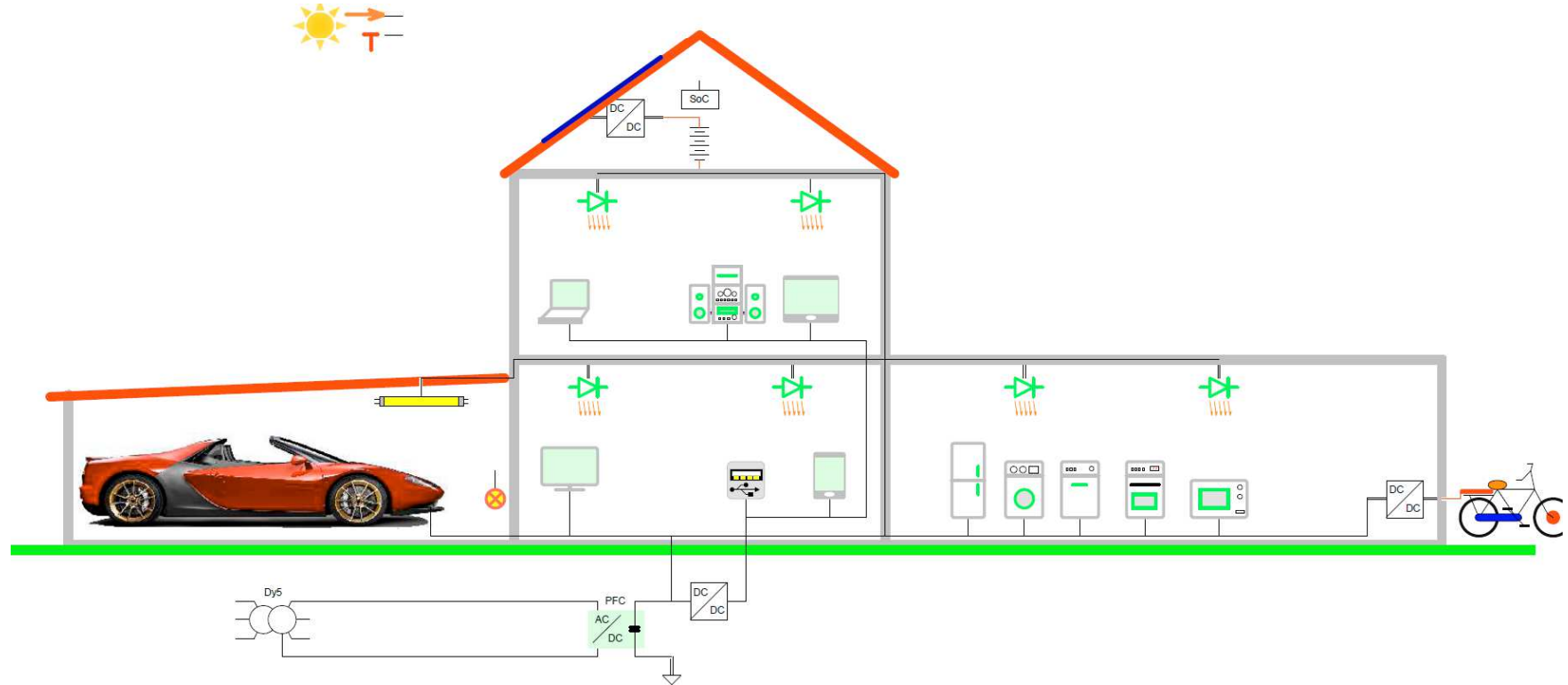
# Voordelen AC

- Bestaat



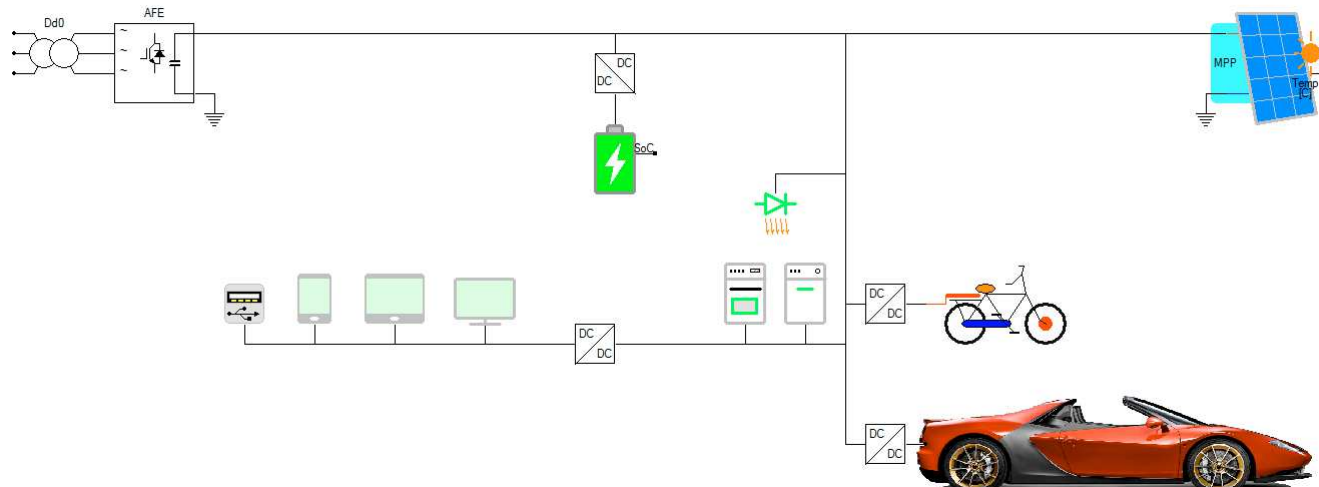
# Voordelen DC

- Regelbaarheid

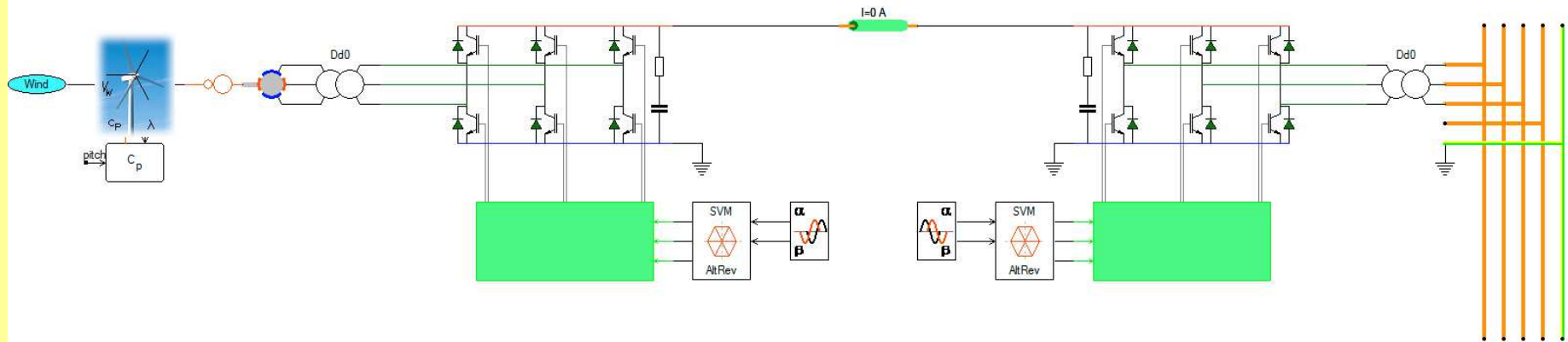


# Welke Netten zijn er?

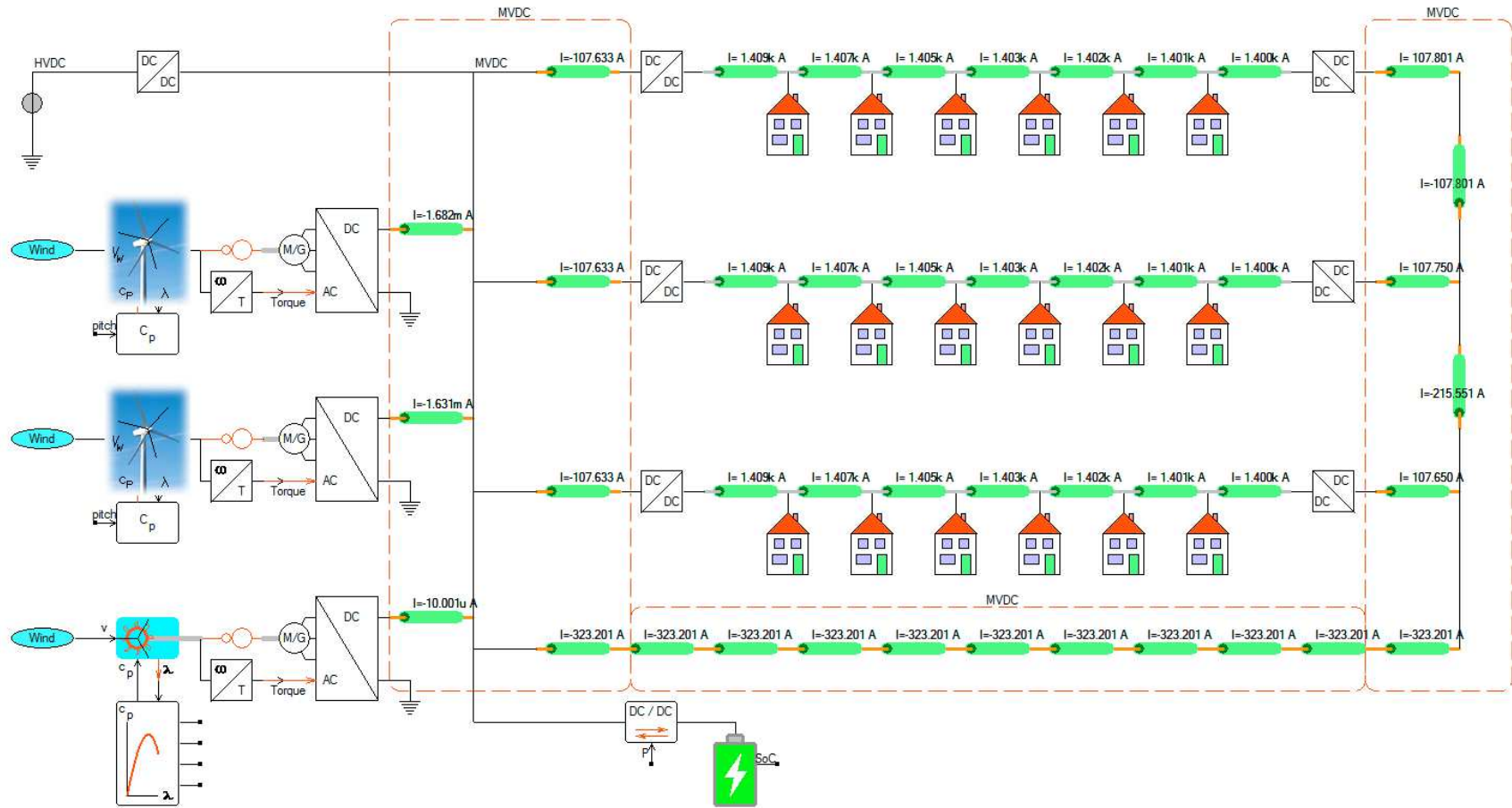
- HVDC > 100kV
- MVDC 10 - 20kV
- LVDC 300 - 800 volt
- Telecom 48V
- Maritiem 3.3kV - 6.6kV
- Industrieel > 500V
- Straatverlichting 300 - 800 volt
- Spoorwegen, Metro & Tram 600V - 3kV
- USB-C 20V



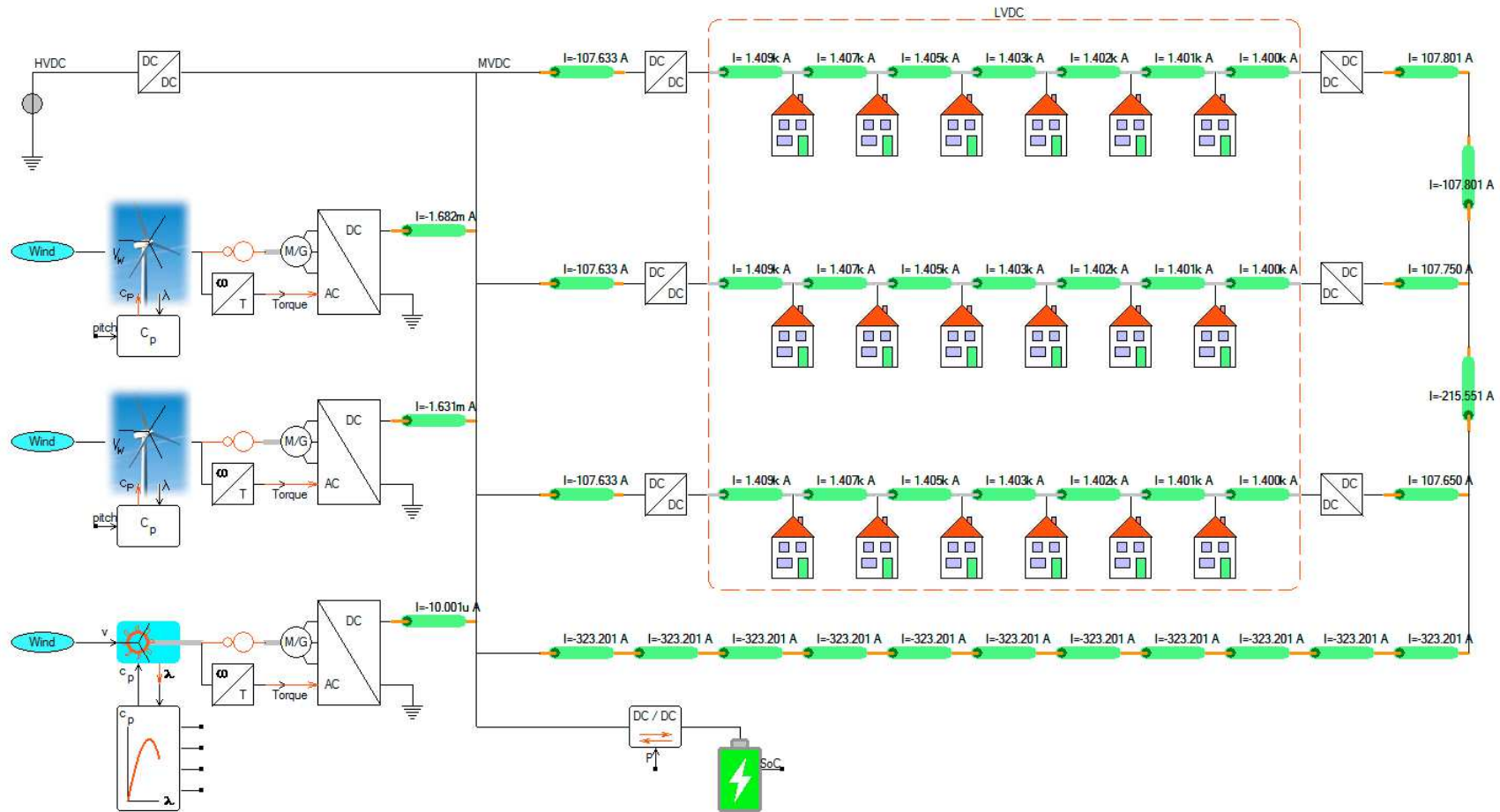
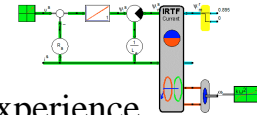
# Welke Netten: HVDC

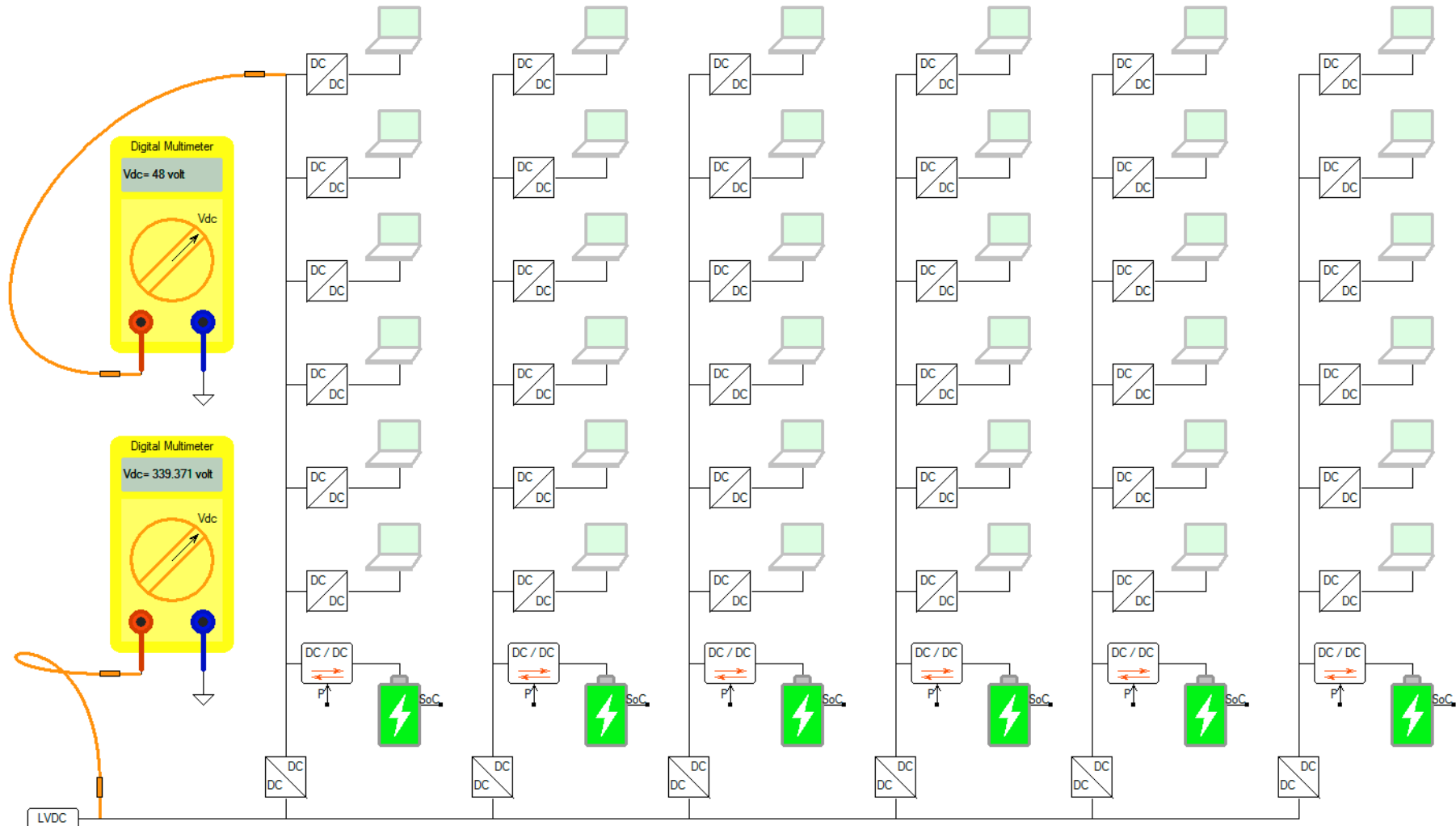


# Welke Netten: MVDC

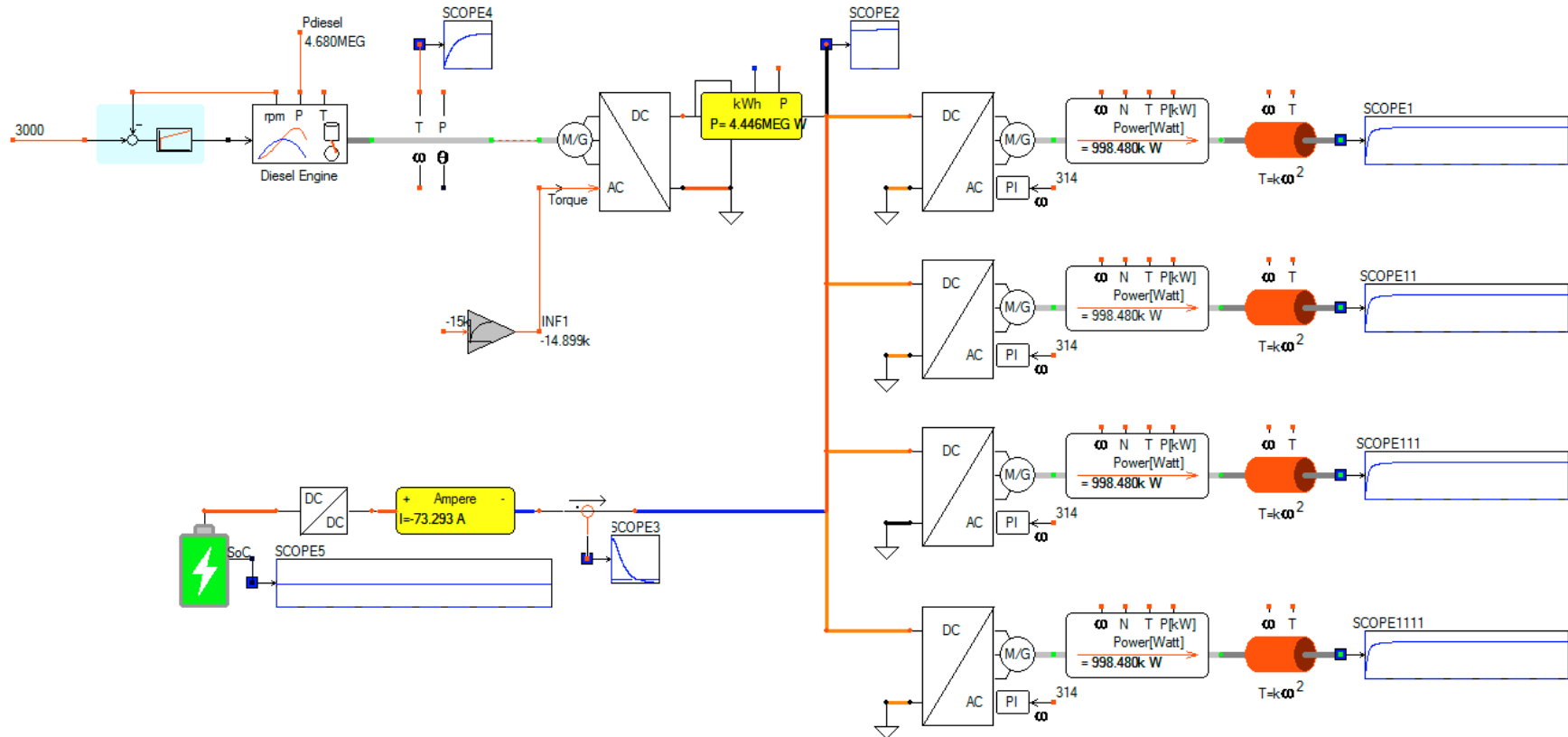


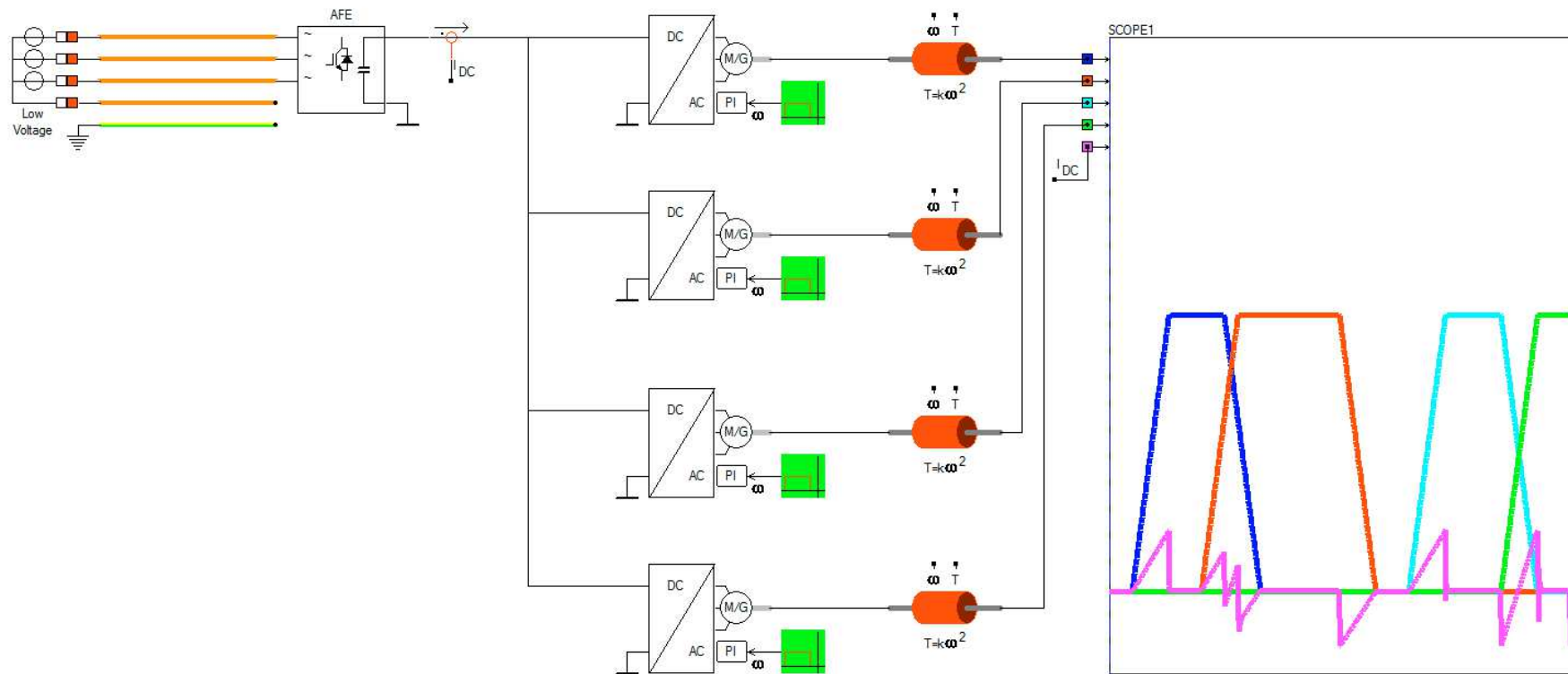
# Welke Netten: LVDC



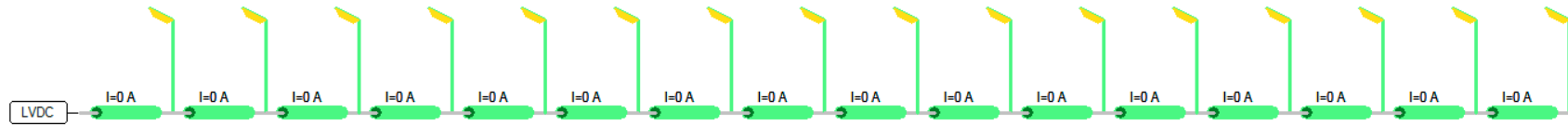


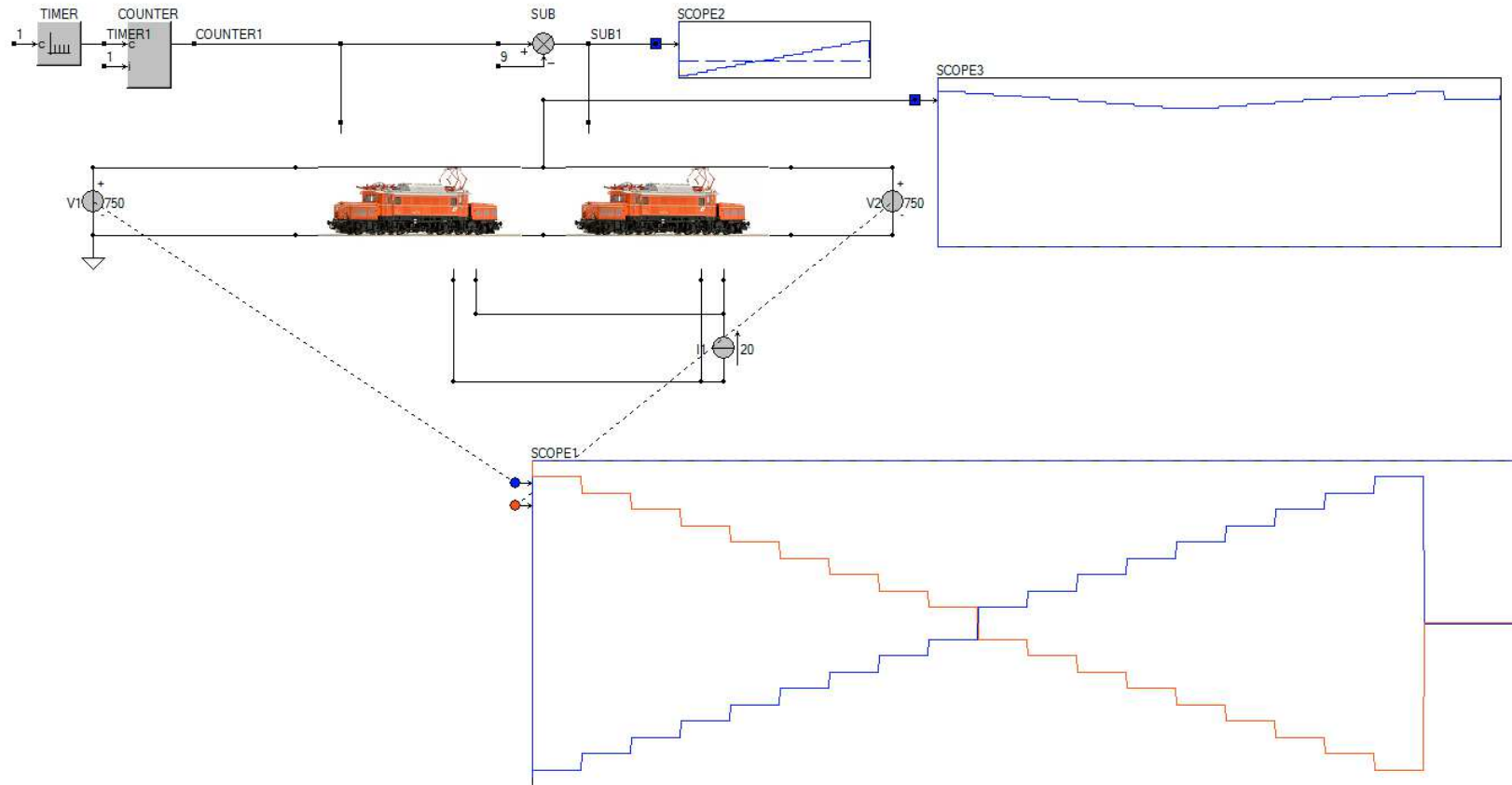
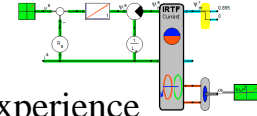




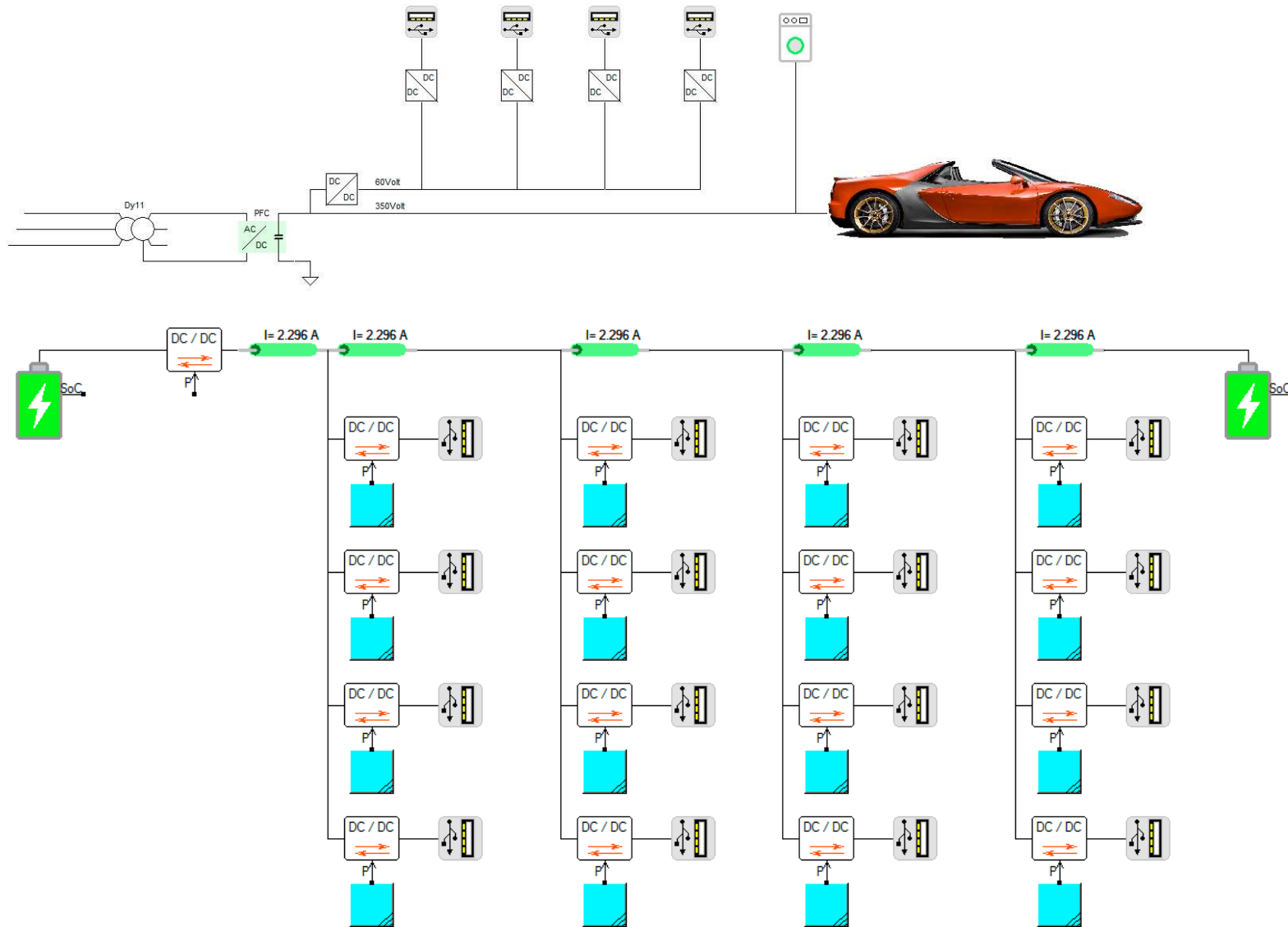
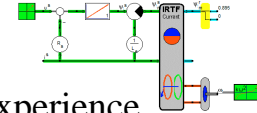


# Welke Netten: Straatverlichting





# Welke Netten: USB-C

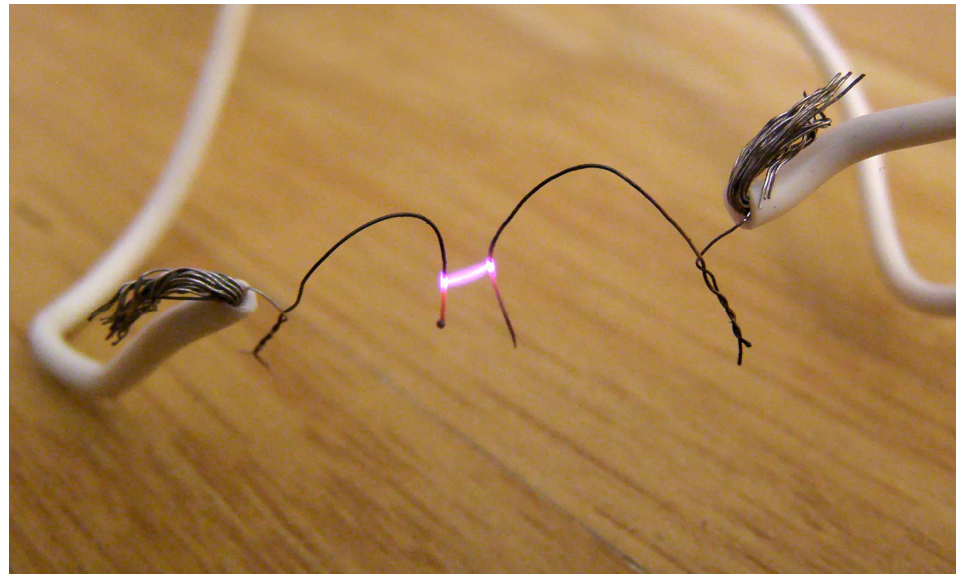


# Zoveel verschillende DC netten?

- Helaas
- Maar.....
- Overall moet je schakelen en regelen met vermogenselektronica

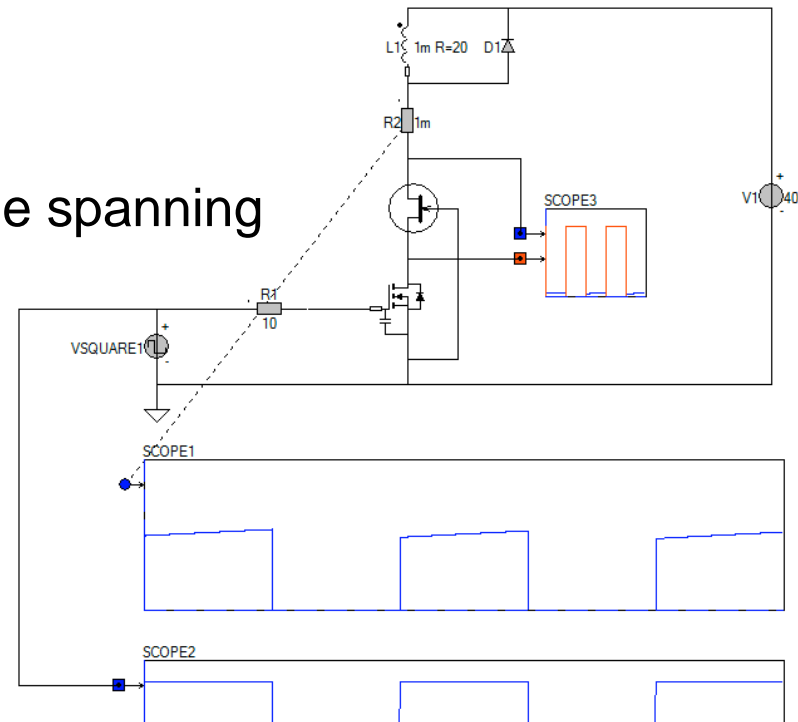
# Waarom is het afschakelen zo lastig?

- Mechanisch afschakelen van grote stromen
  - Vonk
  - Plasma
  - Vlamboog
- Er is dus een bluskamer voor de vlamboog nodig.



# Vermogenselektronica?

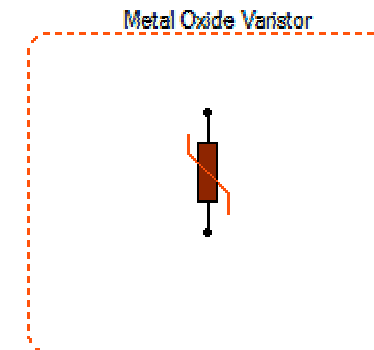
- Thyristor/GTO/BJT (dat was vroeger...)
- Mosfet laag vermogen
- IGBT hoog vermogen
- SiC / GaN Cascode voor hoge spanning





# Halfgeleider geen last van vlamboog?

- Uitschakelen halfgeleider is geen probleem
- Grote  $di/dt$
- $UL=Ldi/dt$  is het probleem
- Halfgeleider langzaam uit laten gaan
  - $di/dt$  is dan beheersbaar!
- Geen bluskamer, wel Metal Oxide Varistor MOV



# Waar wil / moet je schakelen?

- On/Off
  - Verlichting, stofzuiger
- Breaker
  - Kortsluitbeveiliging
- Stekker
  - Eerst afschakelen, dan pas de stekker eruit

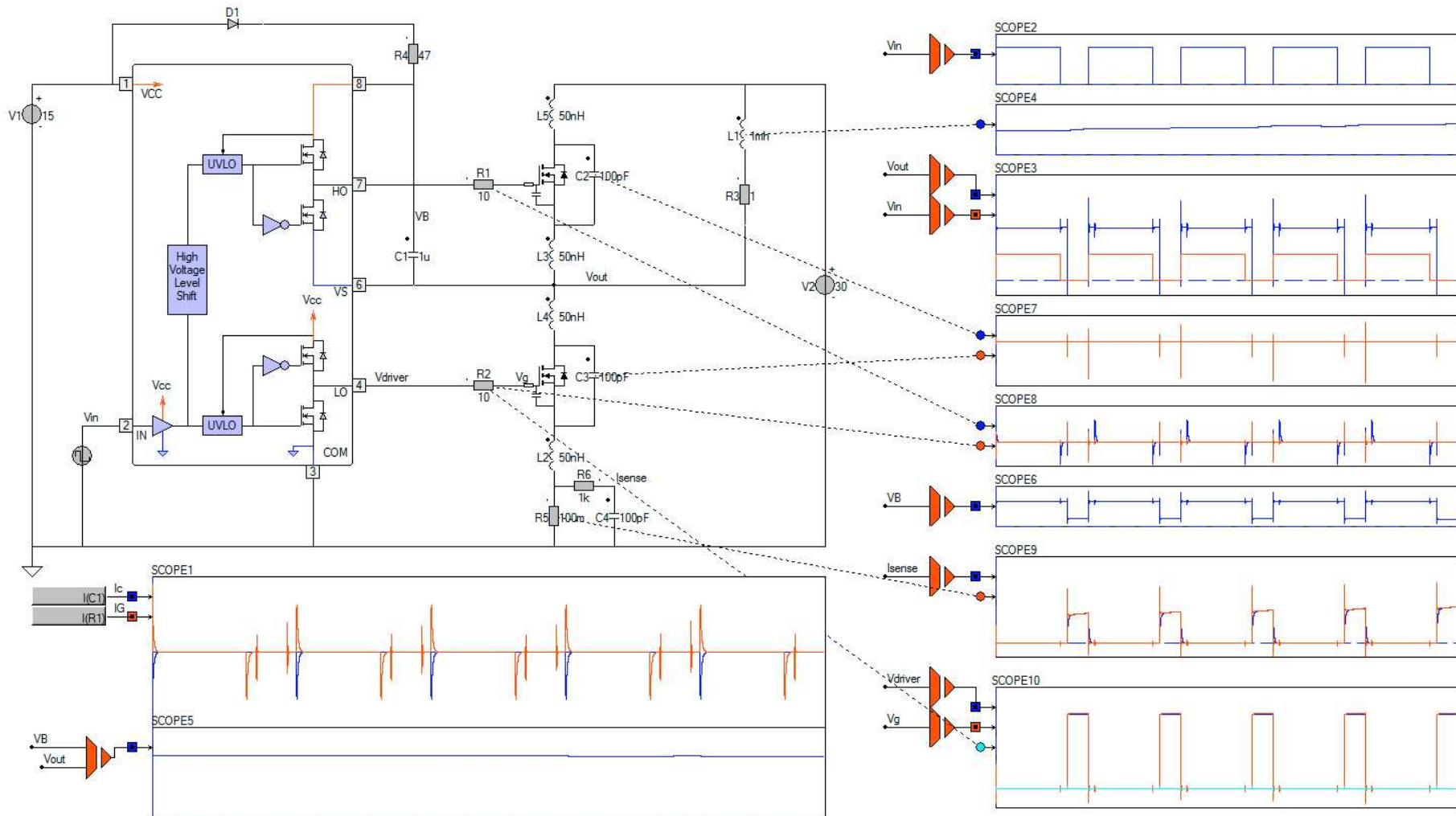
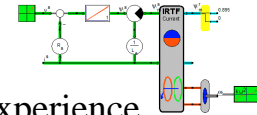
# Is er altijd een schakelaar nodig?

- < 48volt
  - Minder kans op vlamboog
- On/Off / Powerflow regelen
- Mechanische knop / Elektronisch

# On/Off of Powerflow regelen?

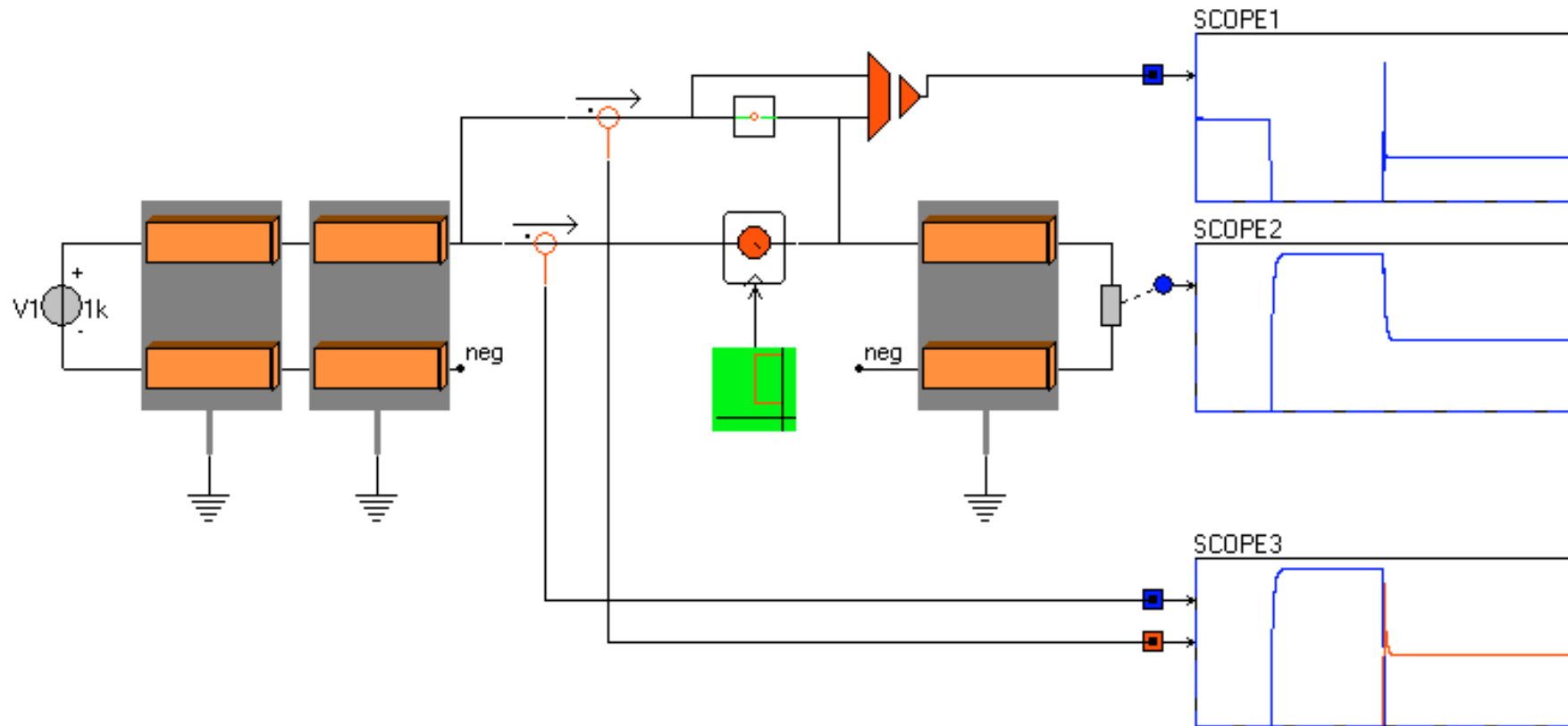
- Eenvoudig voorbeeld
  - Dimmer voor verlichting
- Powerflow regelen
  - Bijladen van veel laptops
- Bidirectionele powerlfow
  - Solar, storage en openbaar Net

# EMI erger bij DC dan bij AC?



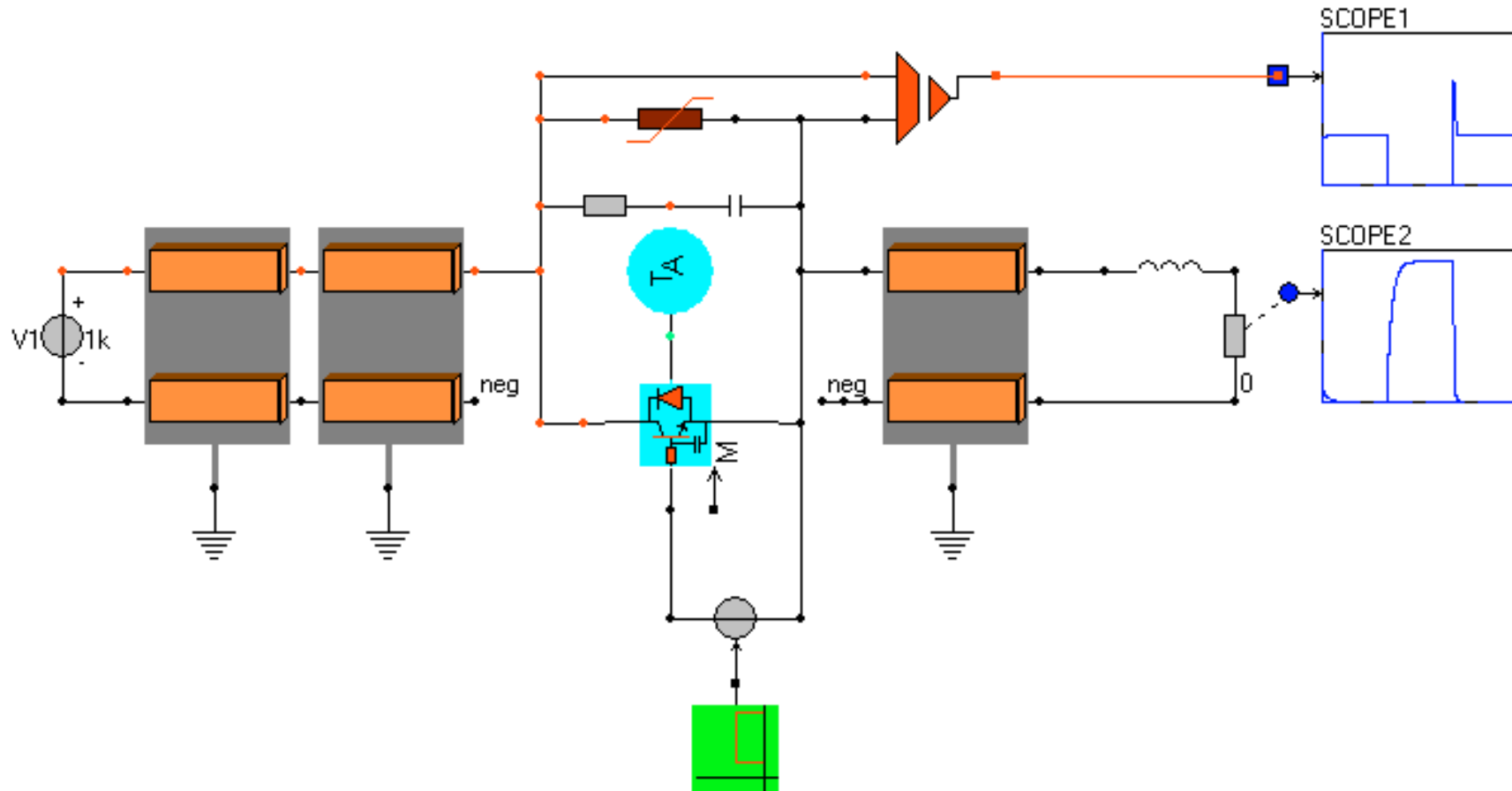
# Applicatie voorbeeld: Maritiem

- Afgeschakelen lage spanning is geen probleem, want er is geen spanning voor de vlamboog
- Afgeschakelen hoge spanning -> Vlamboog
- Vlamboog met magneetveld wegblazen.

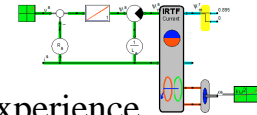


# Afschakelen scheepsinstallatie

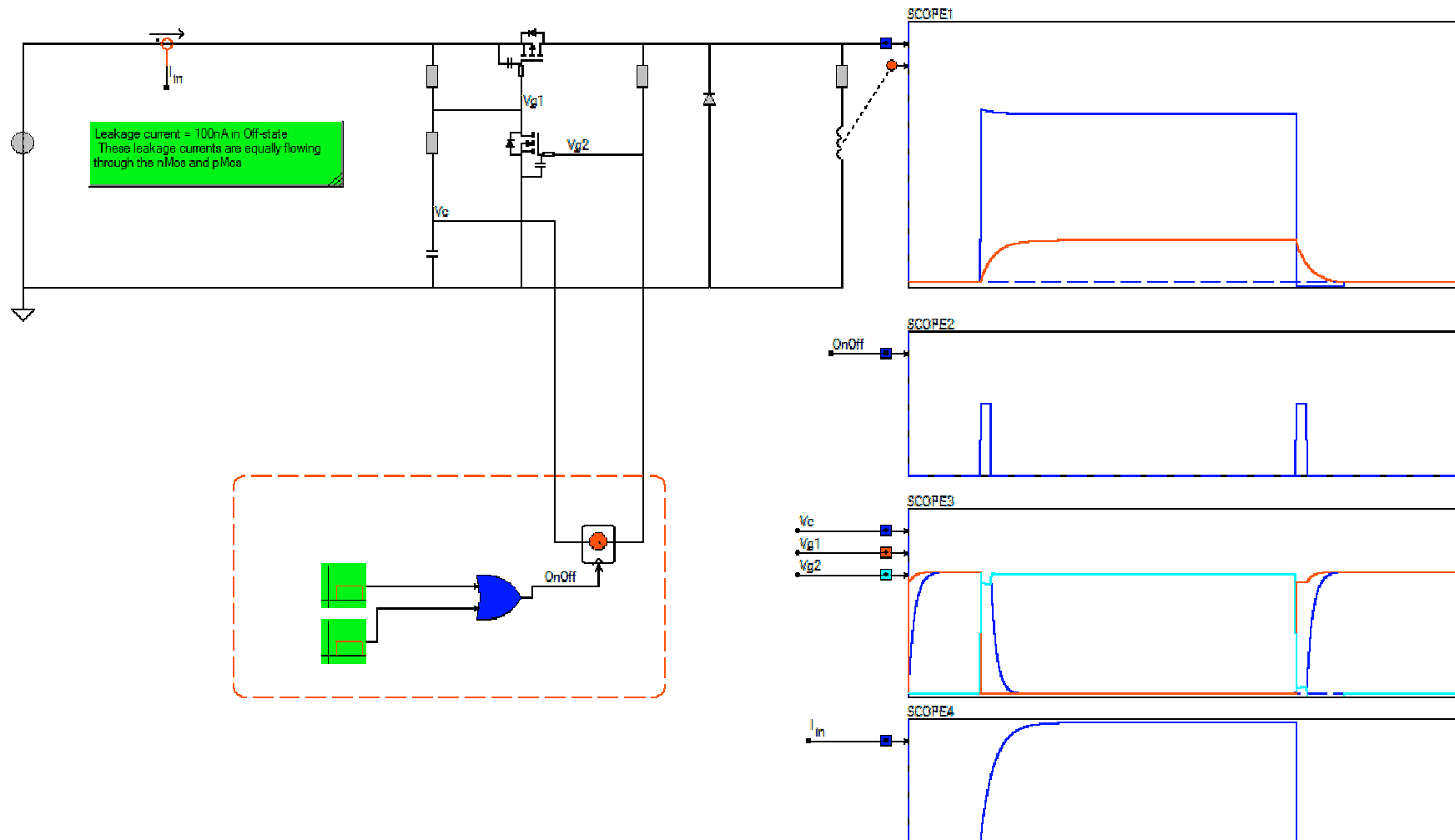
- Instabiliteit in het DC net na het afschakelen



# Applicatie voorbeeld: Laag vermogen



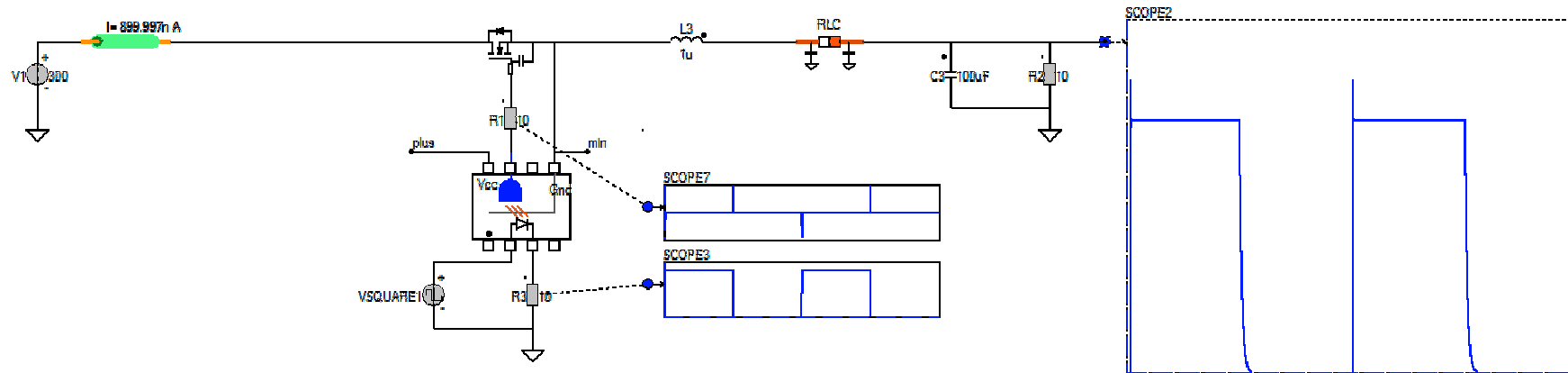
- Wordt al heel lang toegepast, maar is niet erg efficient!



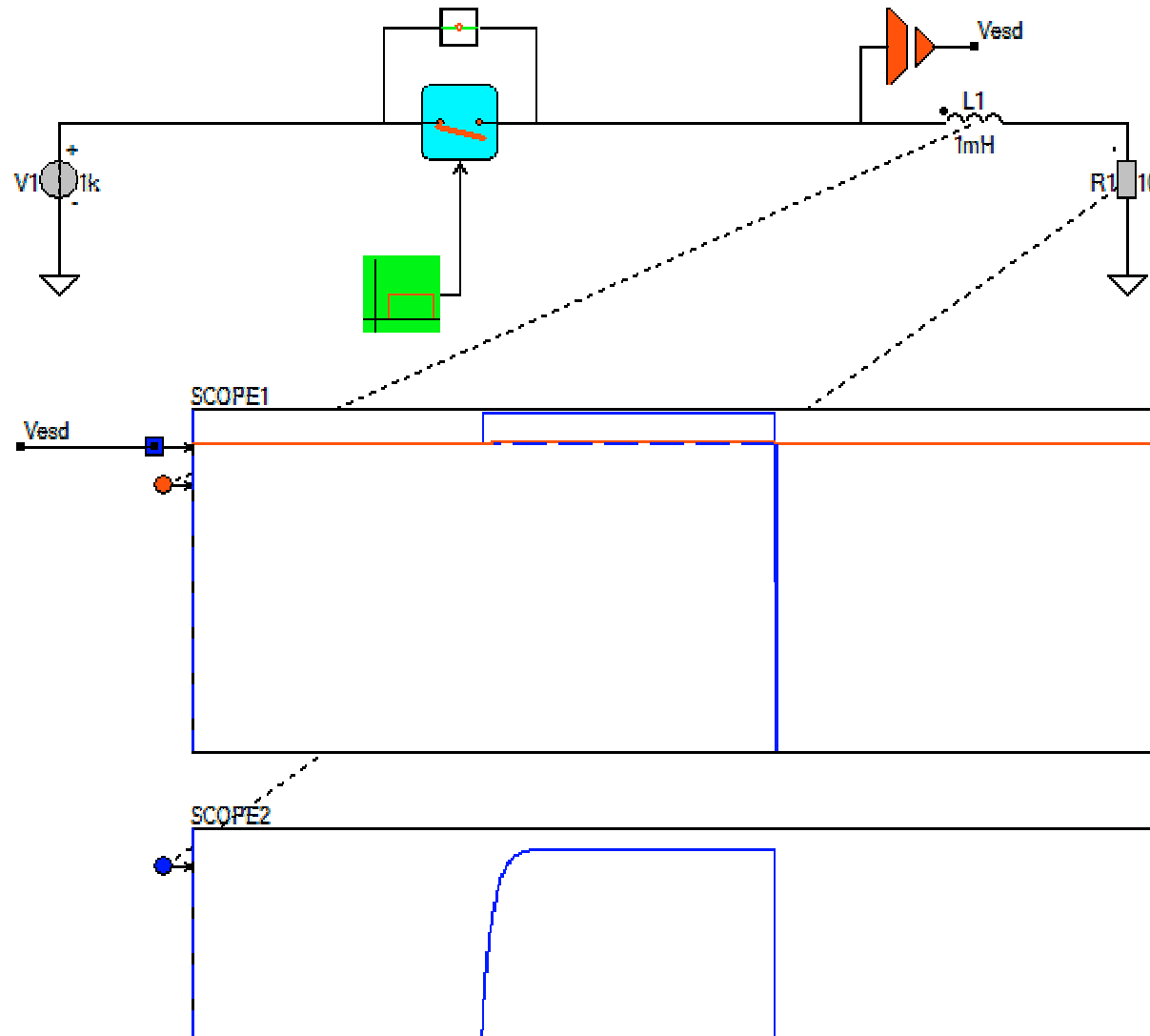
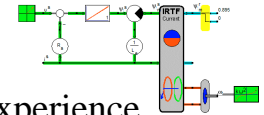


# Schakelen van laag vermogen

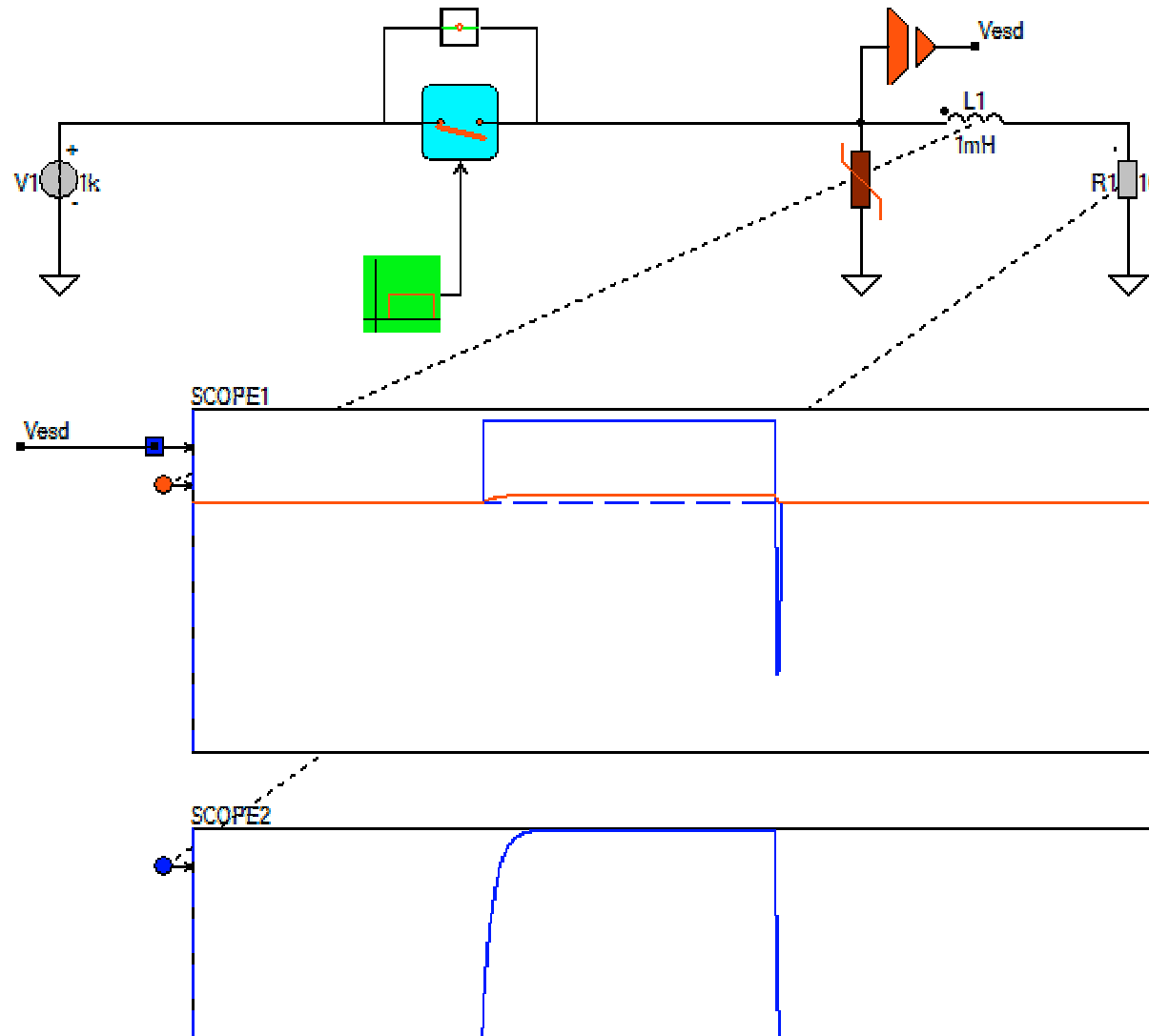
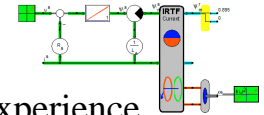
- Kan beter met Nmosfet
- Desondanks kan je niet zomaar afschakelen



# Afschakelen: Wat gebeurt er?



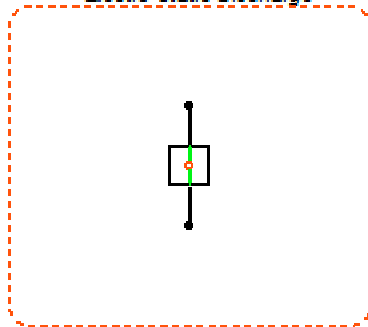
# Afschakelen: Blussen?



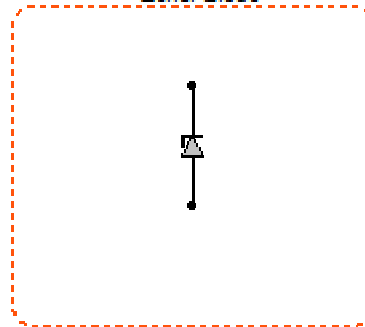
# Afschakelen: Blussen is zonde

- Blussen is in feite energie wegbranden

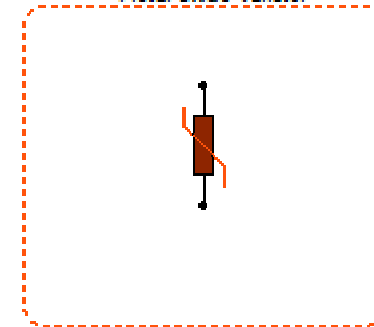
Electro Static Discharge



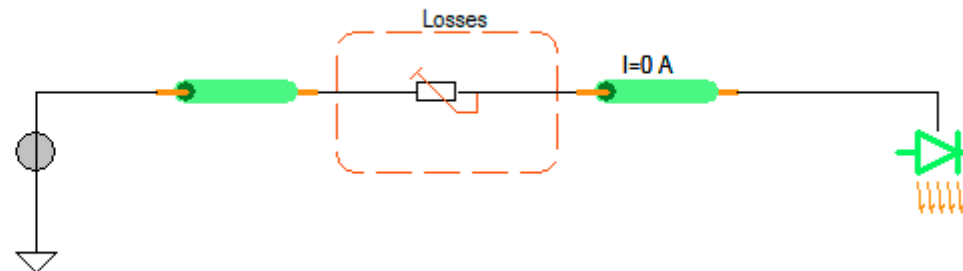
Zener Diode

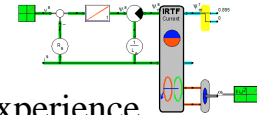


Metal Oxide Varistor

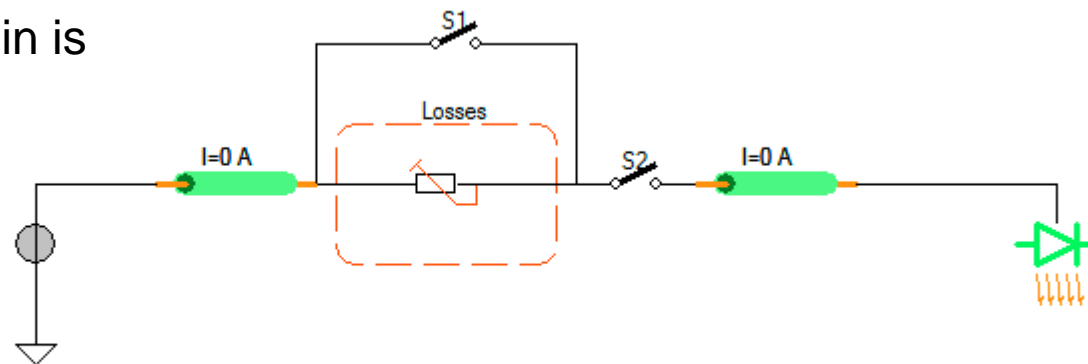


- Je kan alleen afschakelen, als je de stroom door verhogen van de weerstand kleiner maakt.
- Het vermogen in de weerstand is je verlies!
- Dus je moet die weerstand zo snel mogelijk verhogen

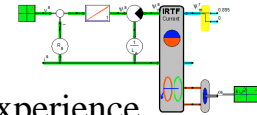




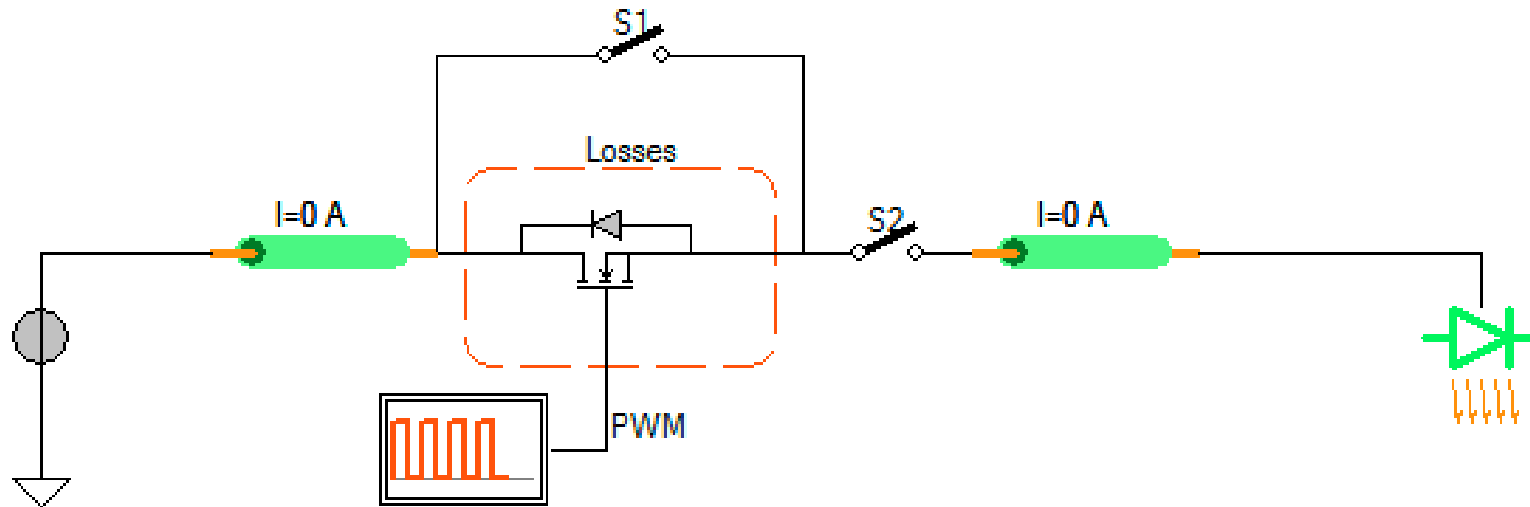
- De lamp brandt
  - Weerstand is heel klein
  - Schakelaar S1 is gesloten
  - Alle stroom door S1, geen verlies
  
- Hoe schakel je af?
  - Weerstand is heel klein
  - Zet S1 open
  - Maak de weerstand groter
  - ...totdat de stroom klein is
  - Zet S2 open



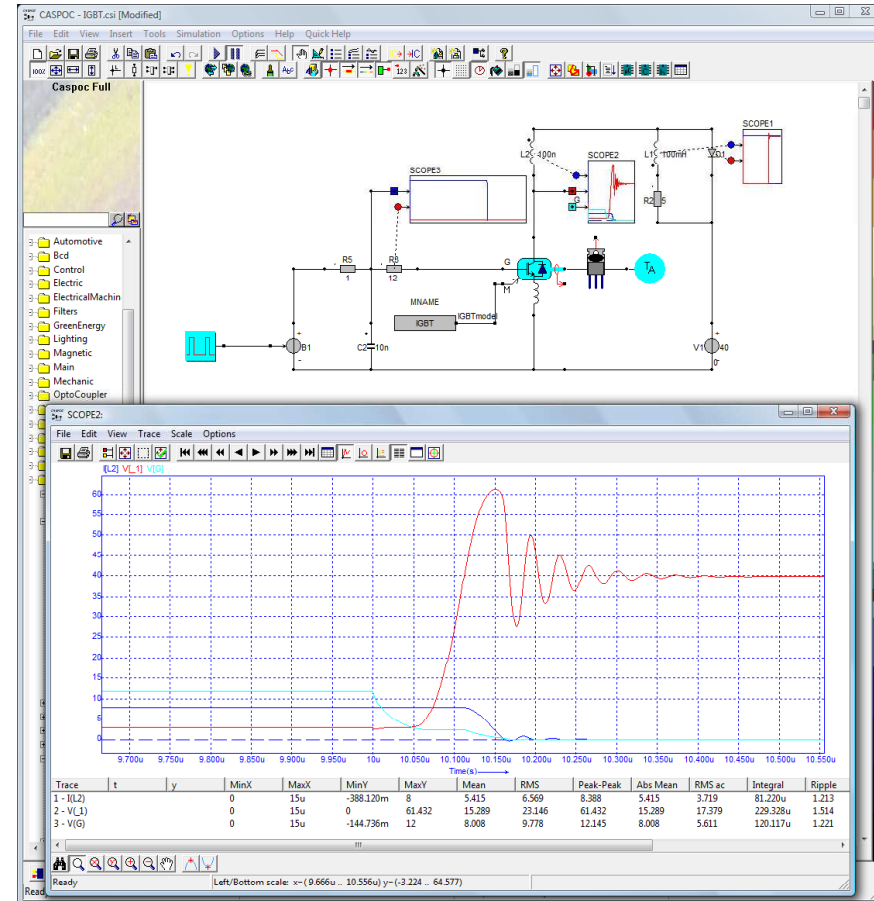
# Hybride schakelaar met Mosfet



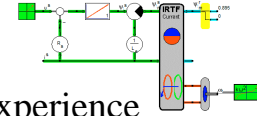
- In plaats van een regelbare weerstand neem je een Mosfet
  - Mosfet gaat langzaam uit (geen ns maar us)
  - $di/dt$  is dan beheersbaar



- Afschakelen DC?
- Hybride schakelaar







■ Vragen?

