

# Leistungsfaktorkorrektur

Mescheltana 

Entwicklungsunterstützung für  
analoge Elektronikschaltungen

## Definition Leistungsfaktor:

Am Verbraucher umgesetzte Wirkleistung  
geteilt durch die transportierte Gesamtleistung

- Motivation und Abgrenzung
- Norm
- Messung
- Kontinuierlicher- und Grenzstrommodus
- Weitere PFC Lösungen
- Literatur und Links

# Leistungsfaktorkorrektur

## Motivation und Abgrenzung:

- Gründe für geringen Leistungsfaktor:
  - Induktive oder kapazitive Last (hier kein Thema)
  - Oberwellen (da helfen spezielle Schaltregler)
- Geringer Leistungsfaktor erhöht die Verluste auf dem Transportweg
  - Im privaten Umfeld wird nur die Wirkleistung berechnet
- Oberwellen sind durch die Norm begrenzt

# Leistungsfaktorkorrektur

## Norm zum Leistungsfaktor

DIN EN 61000-3-2 Stand 2014 (VDE 0838-2) für Leiterstrom < 16A

DIN EN 61000 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –  
Teil 3-2: Grenzwerte für **Oberschwingungsströme**

**Klasse A:** alles was nicht Klasse B – D ist

**Klasse B:** tragbare Elektrowerkzeuge, Lichtbogenschweißgeräte

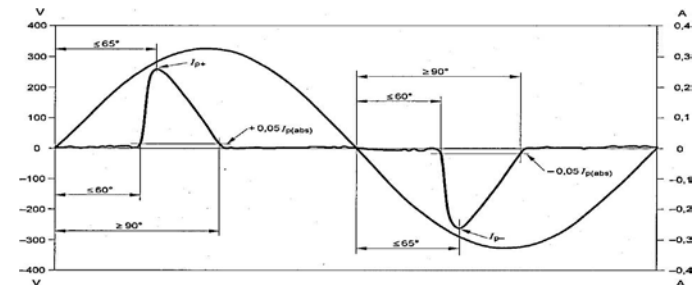
**Klasse C:** Beleuchtungseinrichtungen

**Klasse D:** Computer und braune und weiße Ware

Keine Grenzwerte für **Geräte < 75 W** außer Klasse C

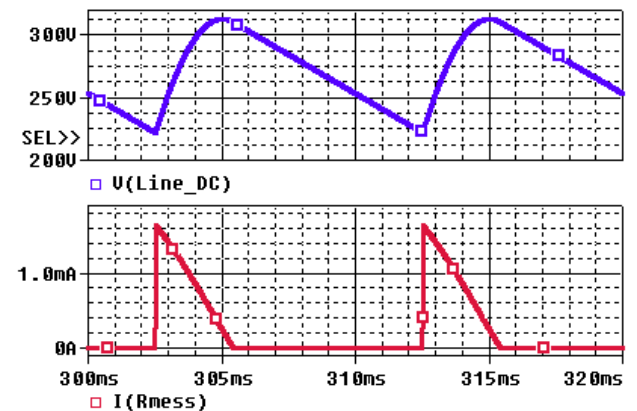
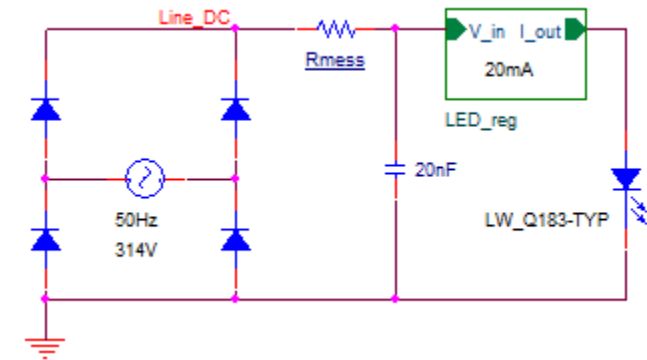
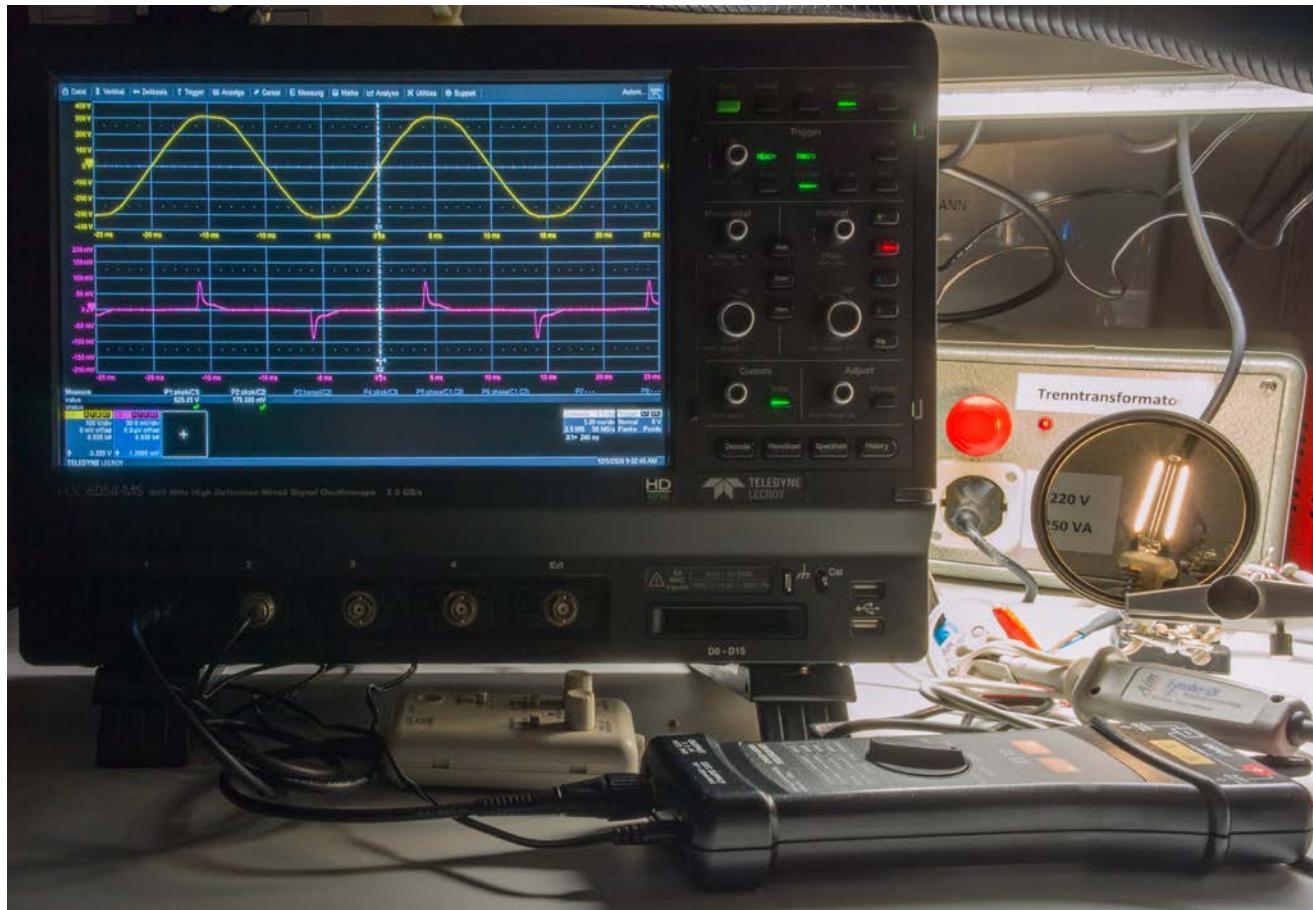
Grenzwerte für den **Effektivwert** der Ströme

- Klasse A: 3. Ordnung 2,3 A 5. Ordnung 1,14 A ...
- Klasse B: Klasse A x 1,5
- Klasse C: > 25 W ähnlich A, < 25 W zusätzlich:  
3. Ordnung max. 86 % und 5. max 61% der Grundschwingung
- Klasse D: zusätzlich zu A: 3. Ordnung 3,4 mA/W 5. Ordnung 1,9 mA/W ...



# Leistungsfaktorkorrektur

## Messung und Simulation einer LED Lampe



YouTube Video

Reinhard Meschenmoser Mescheltana e.K.



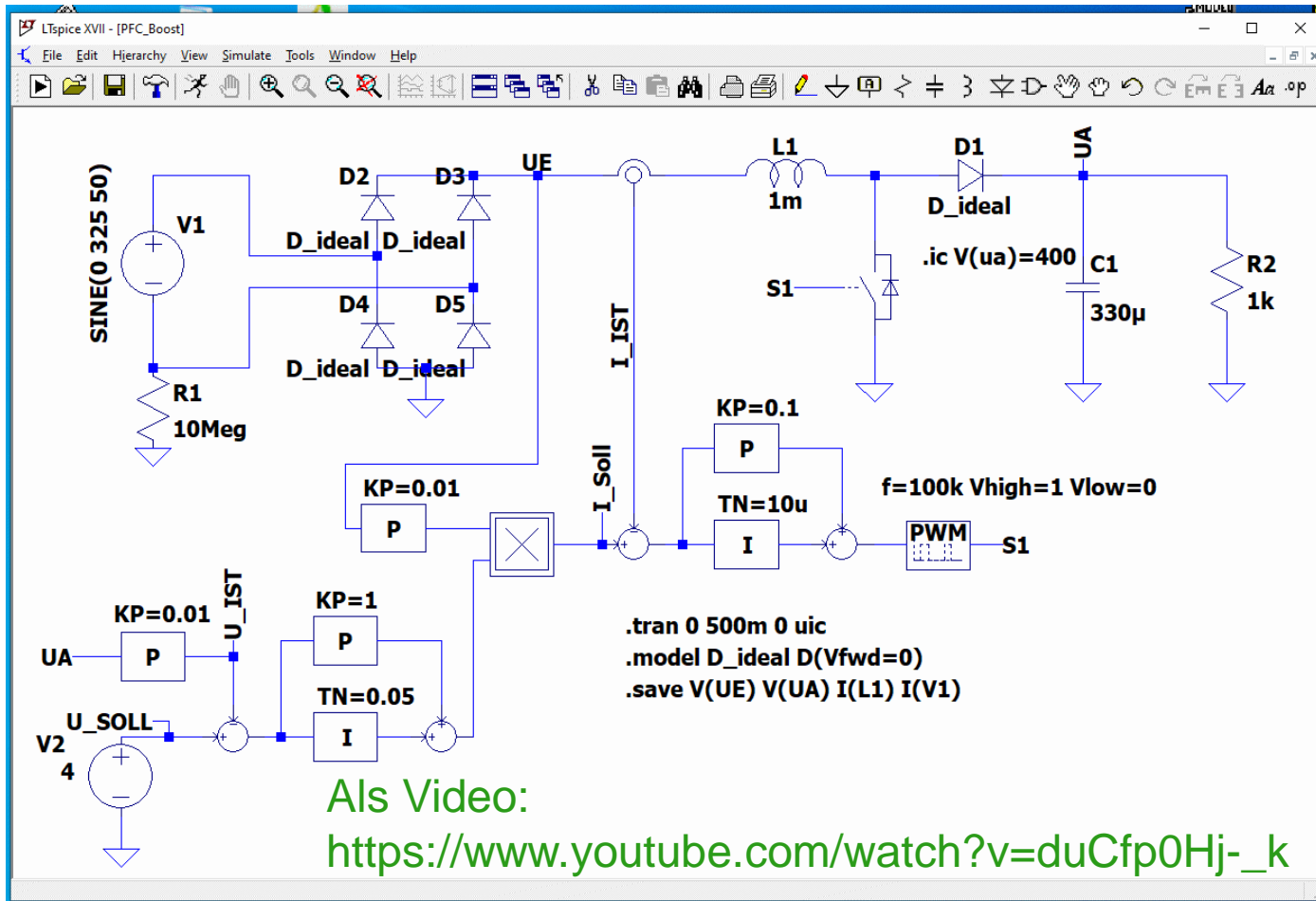
02.02.2021

[www.mescheltana.de](http://www.mescheltana.de)

4

# Leistungsfaktorkorrektur

Simulation Schaltregler mit PFC, Stromsteuerung und kontinuierlichem Strommodus  $\triangleq$  CCM



**Prof. Dr.-Ing.  
Burkhard Ulrich**  
Florianstraße 15  
Raum: 109  
72160 Horb am  
Neckar  
Tel.: 07451/521-162  
Fax: 07451/521-111  
[b.ulrich@hb.dhbw-stuttgart.de](mailto:b.ulrich@hb.dhbw-stuttgart.de)

YouTube Video

Reinhard Meschenmoser Mescheltana e.K.



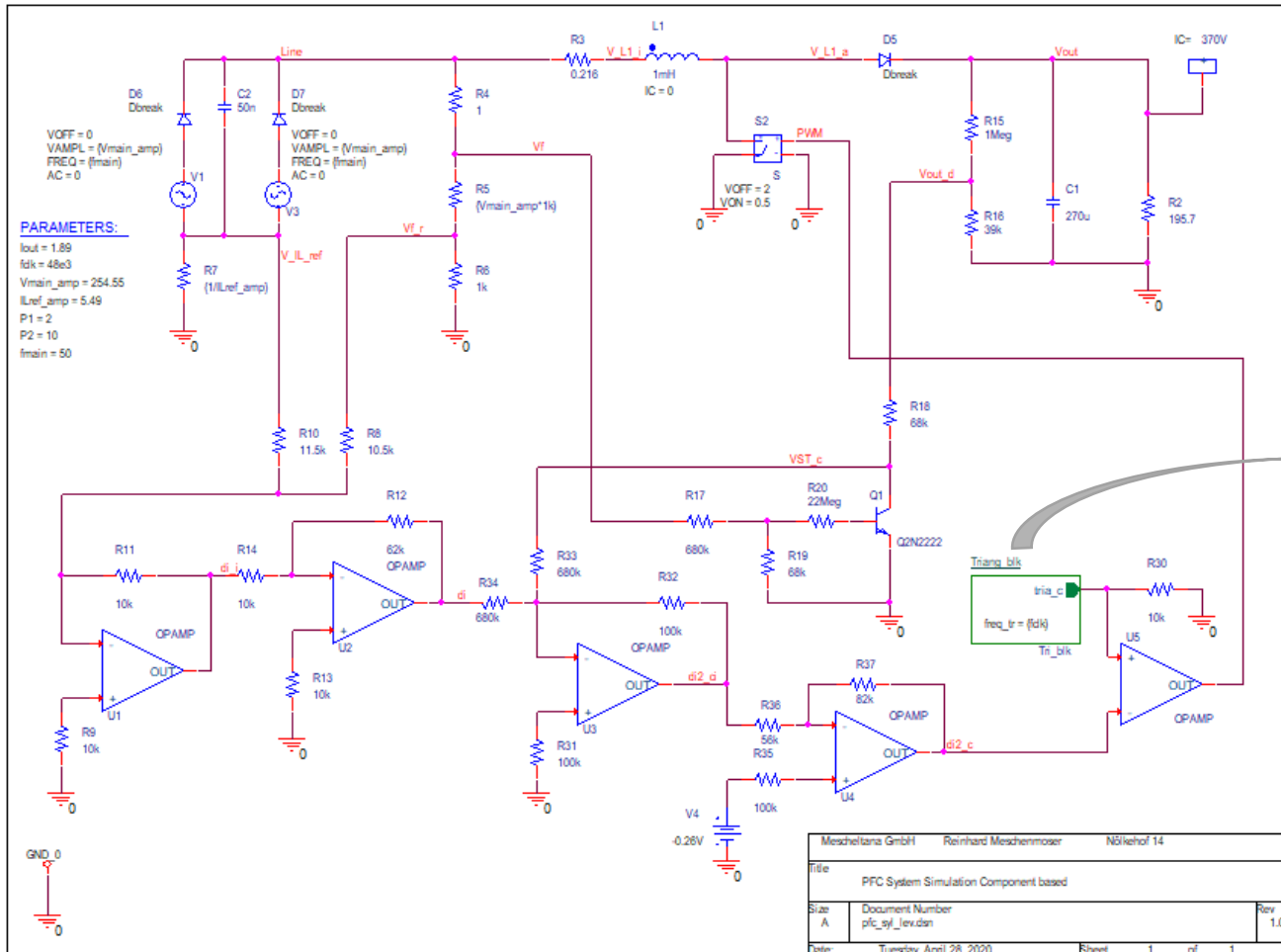
02.02.2021

[www.mescheltana.de](http://www.mescheltana.de)

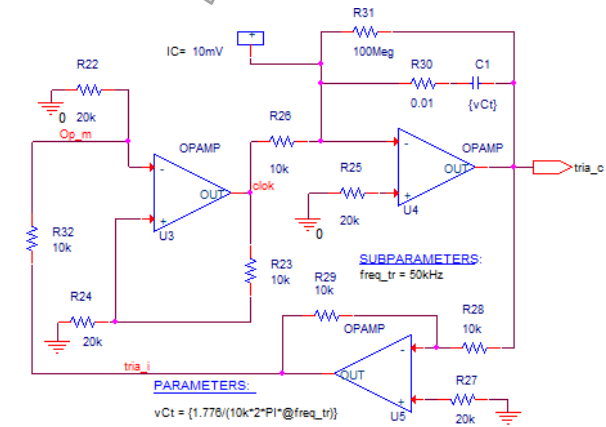
5

# Leistungsfaktorkorrektur

Simulation Schaltregler mit PFC, Stromregelung und kontinuierlichem Strommodus  $\triangleq$  CCM

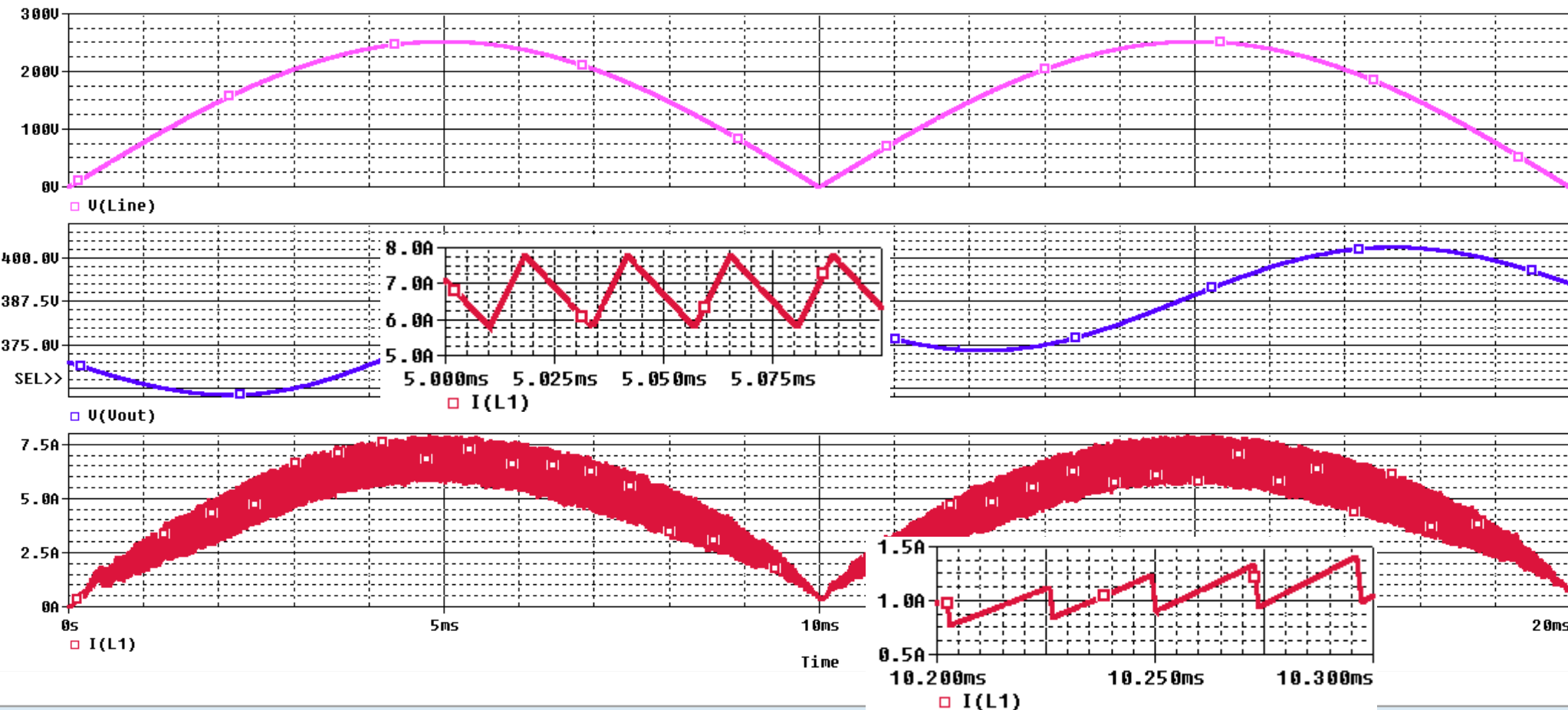


Besser: Average Current Mode Control ACM zur Abgrenzung zum konventionellen Schaltregler



# Leistungsfaktorkorrektur

Simulation Schaltregler mit PFC, Stromregelung und kontinuierlichem Strommodus  $\triangleq$  CCM



YouTube Video

Reinhard Meschenmoser Mescheltana e.K.



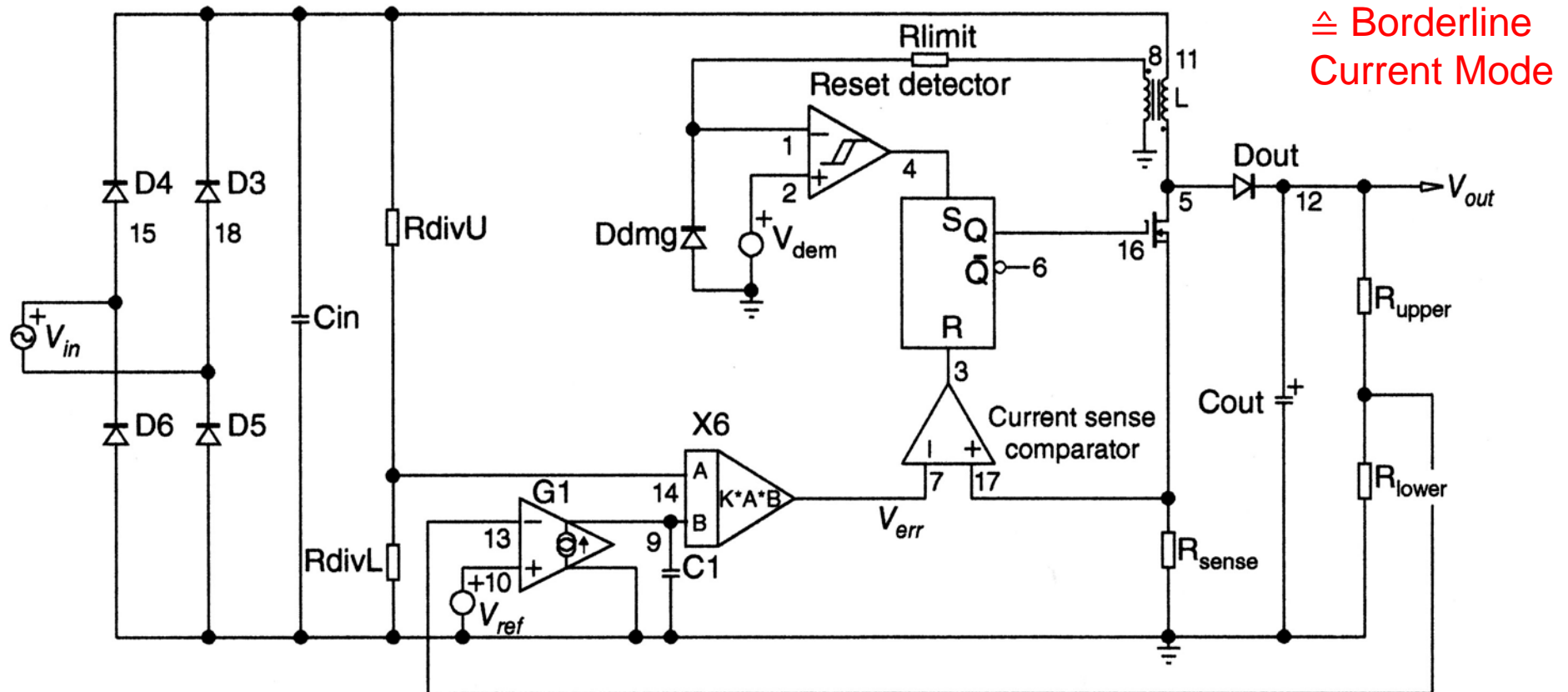
02.02.2021

[www.mescheltana.de](http://www.mescheltana.de)

7

# Leistungsfaktorkorrektur

Simulation Schaltregler mit PFC, Stromregelung und Grenzstrommodus  $\triangleq$  BCM

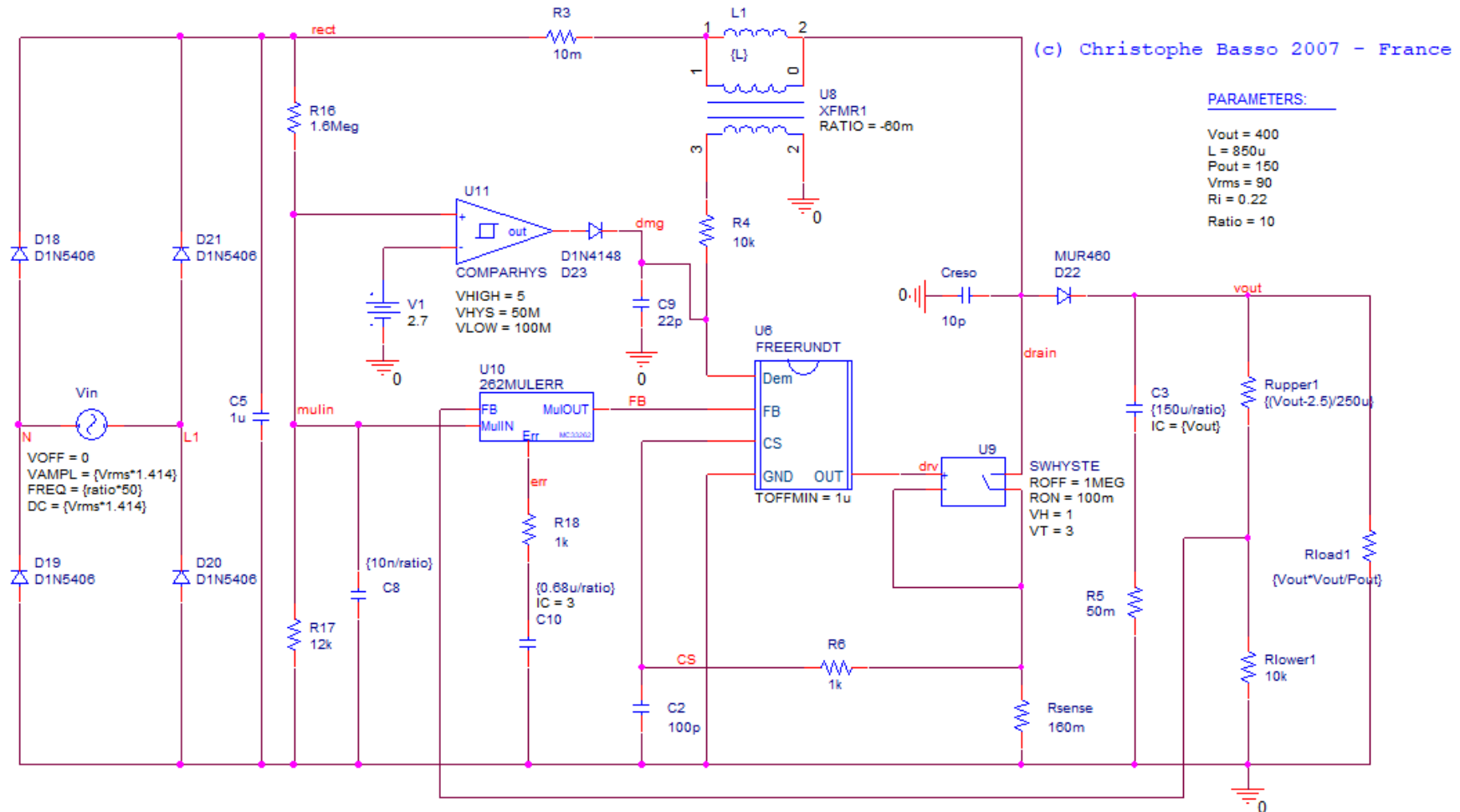


<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TND349-D.PDF>



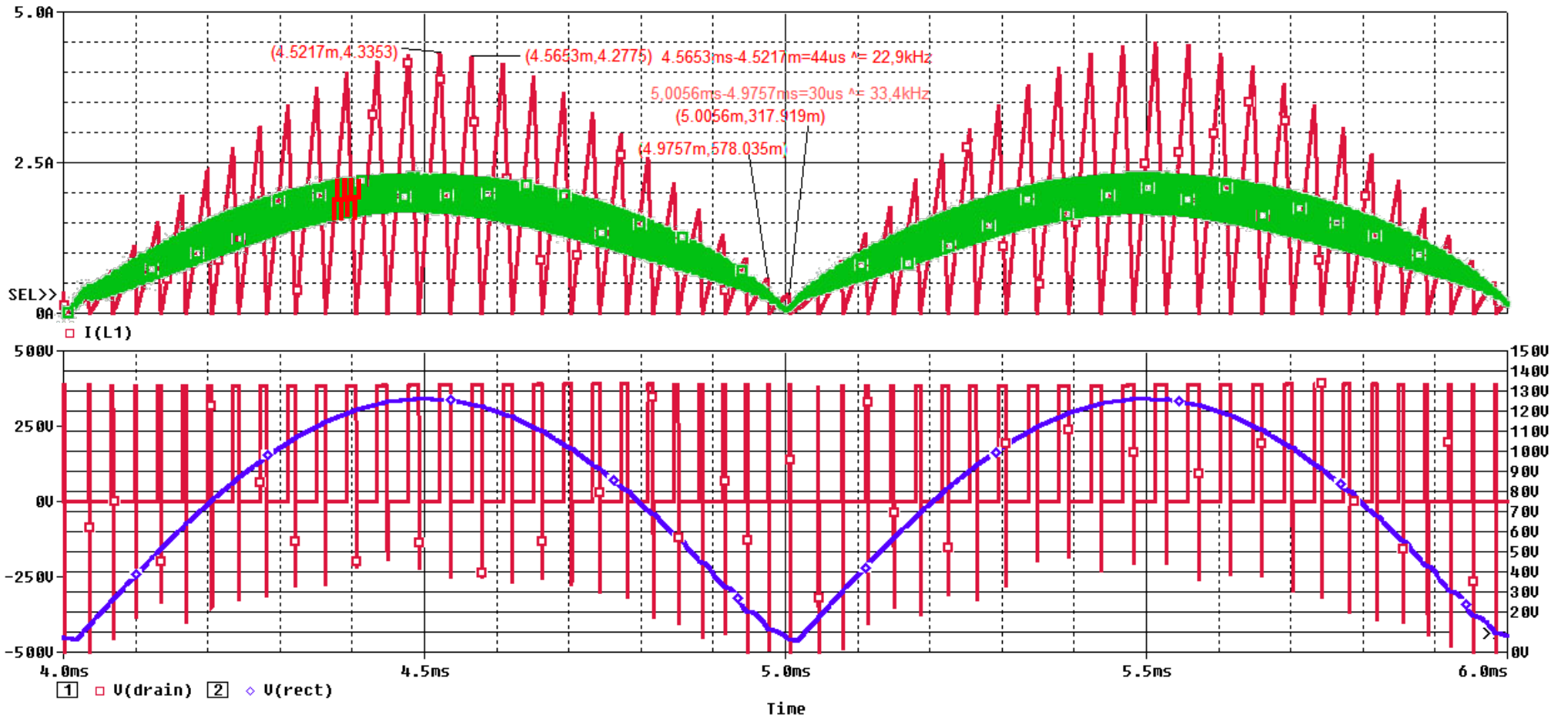
# Leistungsfaktorkorrektur

## Simulation Schaltregler mit PFC, Stromregelung und Grenzstrommodus $\triangleq$ BCM



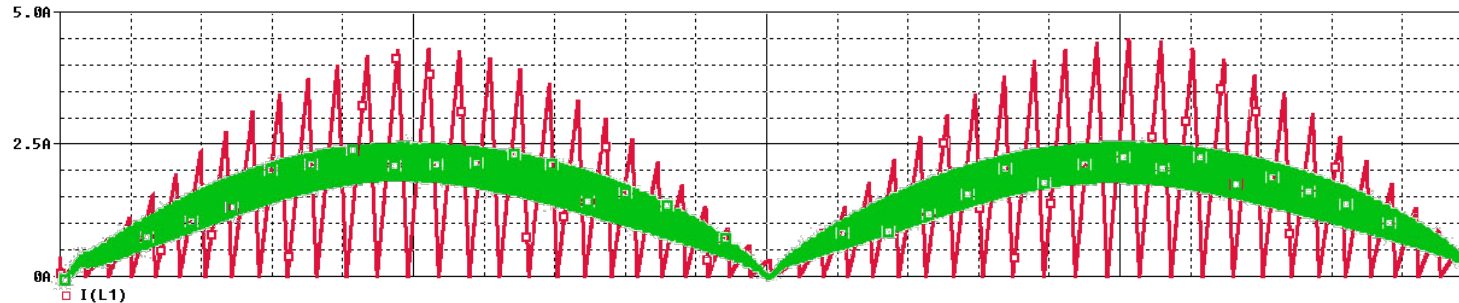
# Leistungsfaktorkorrektur

Simulation Schaltregler mit PFC, Stromregelung und Grenzstrommodus  $\triangleq$  BCM



# Leistungsfaktorkorrektur

## Vergleich zwischen kontinuierlichem und Grenzstrommodus



### Kontinuierlich

- Kleinere Stromamplitude
- Kleinerer Effektivwert des Stroms
- Kleinerer EMI Filter
- Konstante Schaltfrequenz
- Geeignet für hohe Leistungen

### Grenzstrom

- Geringere Umschaltverluste
- Weniger Umschaltungen
- Geringerer Schaltungsaufwand
- Geeignet für kleine Leistungen

# Leistungsfaktorkorrektur

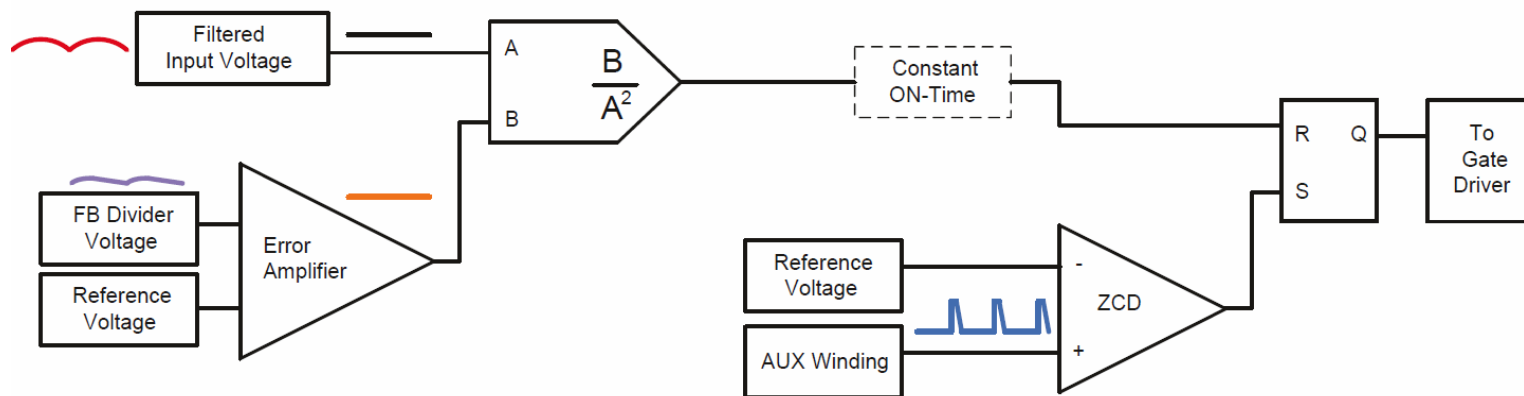
## Zwischenbilanz

- Die PFC (Power Factor Correction) ist ein Boost Schaltregler mit einem zusätzlichen Regelkreis
- Alles was zu Boost Regler gesagt wurde, ist auch auf PFC anwendbar: Strom-Spannungsmodus als Kriterium für den einzelnen Umschaltvorgang, Dimensionierung Regelfilter, Zeitinvariante Simulation
- Bei der PFC wird durch ACM (kontinuierlicher Strommodus) BCM (Grenzstrommodus) zusätzlich der Verlauf der Stromhüllkurve während einer Netzhalbwellen definiert.
- Beim klassischen Schaltregler gibt es den Modus mit konstanter und variabler Frequenz. Bei PFC ist die Frequenz bei BCM variabel und bei ACM konstant. Bei PFC ist der Modus normalerweise durch das IC vorgegeben.
- Die Schaltfrequenz ist bei ACM höher und es wird nie im Nulldurchgang geschaltet. Dafür ist der Maximalstrom beim ACM niedriger.

# Leistungsfaktorkorrektur

## Konstante Einschaltzeit

- Dies ist die einfachste Form der Leistungsfaktorkorrektur
- Wenn der Strom durch die Induktivität Null ist, wird die aktuelle Spannung für eine konstante Zeit auf die Induktivität geschaltet.
- Wenn diese Zeit kurz gegen die Periodendauer der Netzspannung ist, ist der Strom am Ende des Impulses proportional zur aktuellen Spannung.
- Die Schaltfrequenz variiert bei dieser Methode sehr stark.
- Sofortiges erneutes Einschalten beim Kurzschluss muss verhindert werden.

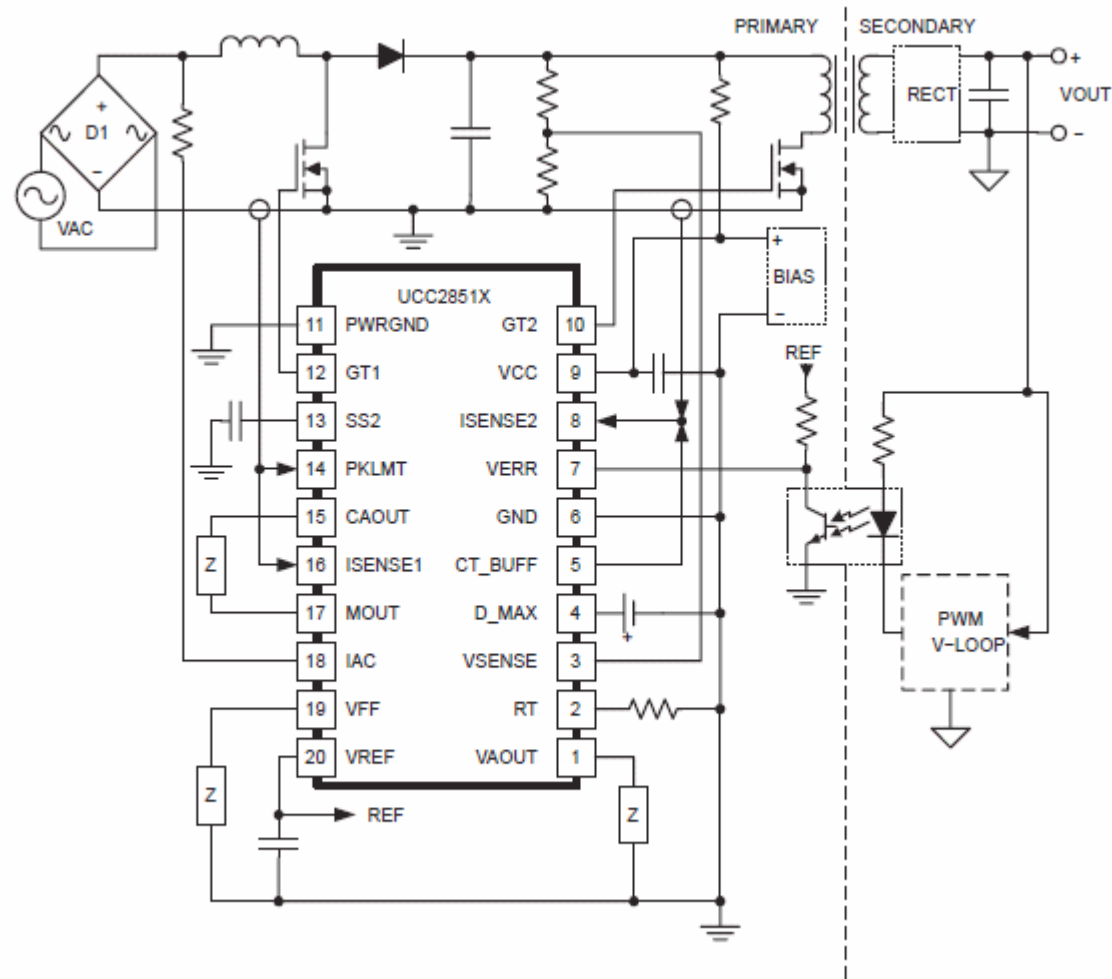


# Leistungsfaktorkorrektur

Leistungsfaktor-  
Korrektur und  
Sperrwandler in  
Einem

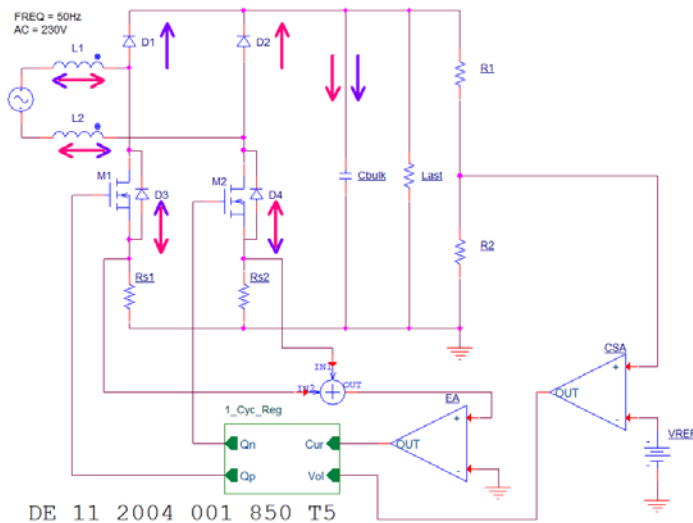
ON FAN6961  
Semiconductor  
früher Fairchild

Alternativ:  
Texas  
Instruments  
UCC28510-17  
PFC/PWM  
Combo  
Controller



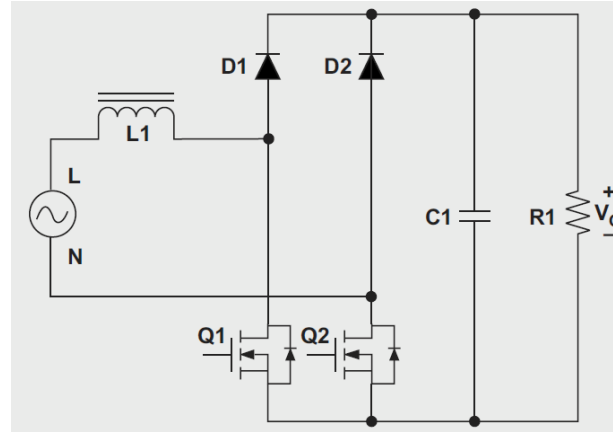
# Leistungsfaktorkorrektur

Varianten ohne vorgeschalteten Brückgleichrichter (bridgeless)

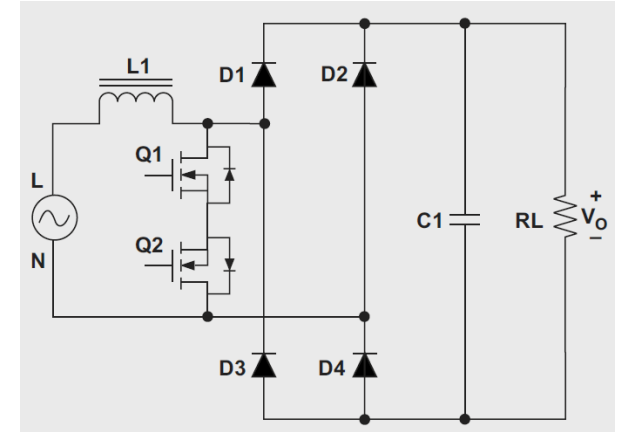


Patent

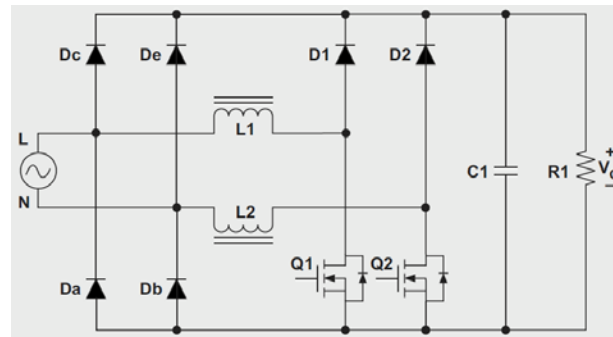
DE 11 2004 001 850 T5



klassisch

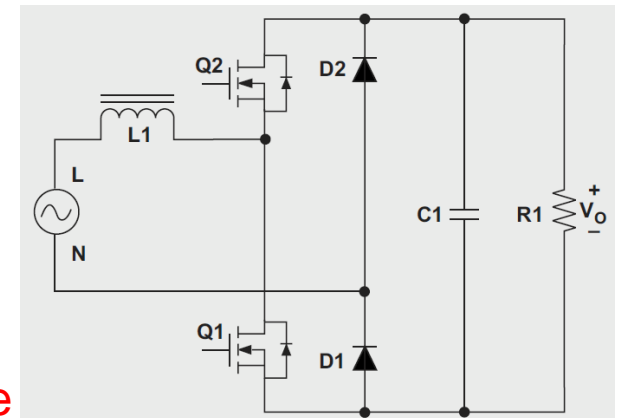


bidirektional



doppel-boost

totem-pole



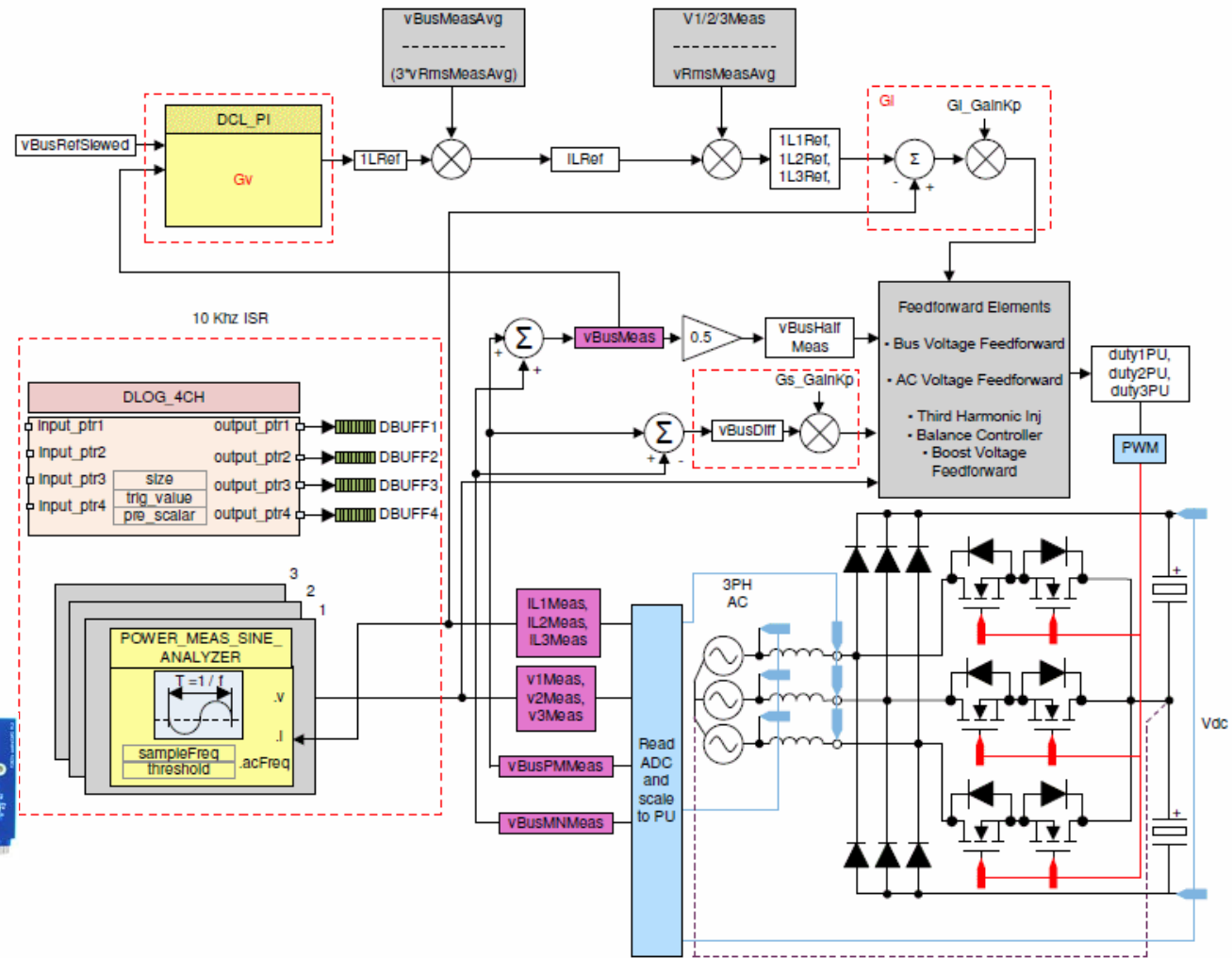
# Leistungsfaktorkorrektur

3-Phasige (Drehstrom)  
Leistungsfaktorkorrektur

Vienna Rectifier:  
Aufwendige Lösung für  
Leistungen > 1 kW



Texas Instruments  
T1DM-1000  
Referenz Design



YouTube Video

Reinhard Meschenmoser Mescheltana e.K.



02.02.2021

www.mescheltana.de

16



# Leistungsfaktorkorrektur

## Literatur

Christophe Basso

„Switch-Mode Power Supplies“,  
McGraw-Hill Education 2008  
weiteres online:

<https://cbasso.pagesperso-orange.fr/Spice.htm>

Keng C. Wu

“Switch-Mode Power Converters”,  
Elsevier Academic Press 2006

# Leistungsfaktorkorrektur

## Links

<https://de.wikipedia.org/wiki/Leistungsfaktor>

<http://www.vorperian.com/index.html>

<https://cbasso.pagesperso-orange.fr/index.htm>

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19780021408/downloads/19780021408.pdf> ( `Cuk)

[https://en.wikipedia.org/wiki/R. D. Middlebrook](https://en.wikipedia.org/wiki/R._D._Middlebrook)

[https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt\\_derivate\\_00019183/ilm1-2009000330.pdf](https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00019183/ilm1-2009000330.pdf)

<https://www.elektroniknet.de/power/power-management/pfc-und-dc-dc-wandler-in-einem.79026.html>

<https://www.onsemi.com/products/power-management/ac-dc-controllers-regulators/power-factor-controllers/fan6961>

<https://www.ti.com/lit/an/slyt750/slyt750.pdf>

<https://www.ti.com/lit/ml/zhcp224/zhcp224.pdf>

<https://training.ti.com/power-factor-correct-pfc-basics-and-design-considerations>

[https://www.ti.com/download/trng/docs/seminar/sem907001\\_04\\_SysPower\\_Design\\_WallPowered\\_App.pdf](https://www.ti.com/download/trng/docs/seminar/sem907001_04_SysPower_Design_WallPowered_App.pdf)

<https://www.ti.com/tool/TIDM-1000>

<https://www.analog.com/en/design-center.html>

<https://groups.io/g/LTspice/>

<https://www.dhbw-stuttgart.de/horb/home/>

<https://www.youtube.com/watch?v=duCfp0Hj-k>