

Netzurückwirkungen durch Stromrichter

- ⌘ nicht sinusförmige Stromentnahme (Oberschwingungen)
- ⌘ Spannungseinbrüche durch Kommutierungsvorgänge
- ⌘ HF-Funkstörungen durch Schaltflanken

Einteilung der Stromrichter

⌘ netzgeführt

- Brückenschaltung B2(c)
2-pulsig,
B6(c) 6-pulsig,
B6(c)B6(a) 6-pulsig, 2x B6
antiparallel
- B6.2S 12-pulsig, 2x B6
in Reihe (Folgeschaltung)
- B6.2C 12-pulsig, 2x B6
parallel (Saugdrosselschaltung)

⌘ selbstgeführt

- Wechselrichter
- Pulssteller
- Transistorchopper
- Power factor correction (PFC)
- Direkt Umrichter

idealisierte Stromrichtertheorie induktive Last (Gleichstrommaschine)

⚡ sehr gute Glättung

$L \uparrow \infty$; $I_d = \text{konst}$

➤ Rechteckstrom

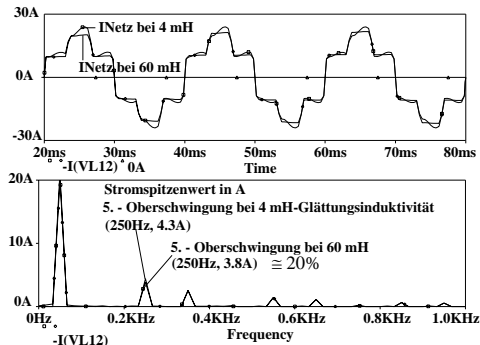
Fourier Analyse liefert:

Grundschiwingung $h = 1$ +
Oberschwingungen

$$h = k \cdot p \pm 1$$

$$I_h = I_1 / h \text{ (Effektivwerte)}$$

$$f_h = h \cdot f_1 \text{ (OS-Frequenz)}$$



oben: Netzleiterstrom I_L

unten: Oberschwingungsspektrum I_L

Berechnung der Fourier Koeffizienten

$$i(\omega t) = A_0 + \sum_{h=1}^{\infty} A_h \cdot \cos(h \cdot \omega t) + \sum_{h=1}^{\infty} B_h \cdot \sin(h \cdot \omega t)$$

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) \cdot d\omega t \quad A_h = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) \cdot \cos(h \cdot \omega t) d\omega t$$

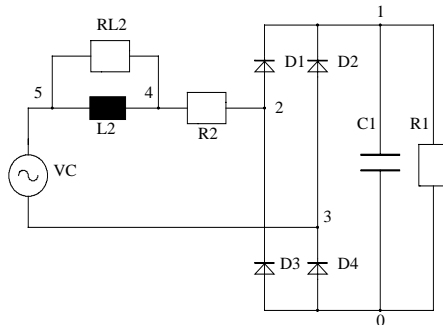
$$B_h = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) \cdot \sin(h \cdot \omega t) d\omega t$$

nach Betrag und Phase:

$$C_h = \sqrt{A_h^2 + B_h^2} \quad \varphi_h = \arctan\left(\frac{A_h}{B_h}\right)$$

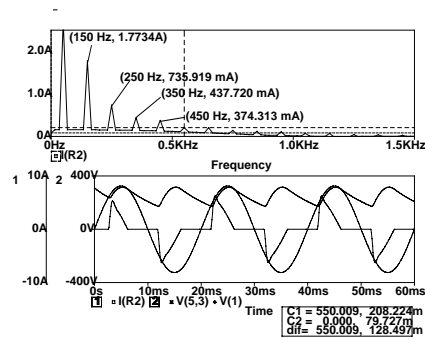
mit Beachtung von
Symmetriebedingungen
kann die Berechnung
der Koeffizienten
wesentlich vereinfacht
werden.

B2 mit kapazitiver Last



Schaltbild Standard-Gleichrichter (B2) am Netz mit CENELEC - Normimpedanz

$R2 = 0,4 \Omega$, $L2 = 796 \mu\text{H}$ für $XL2 = 0,25 \Omega$



oben: Oberschwingungsspektrum I_L
 unten: Netzleiterstrom I_L

Leistung, Leistungsfaktor

⌘ Scheinleistung $S = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$

⌘ Wirkleistung $P = \int s(t) dt = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos\varphi_1$

⌘ Leistungsfaktor $\lambda = P/S$

⌘ Blindleistung $Q = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \sin\varphi_1$

⌘ Verzerrungsblindleistung

$$D = U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_{\text{heff}}^2}$$

nicht sinusförmige Stromaufnahme bedeutet schlechter Leistungsfaktor

Rechtslage und Normensituation

- **Gesetz zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMVG)**
November 1992, novelliert am 30.08.95 und am 18.09.98

- **EG-Konformitätszeichen CE** ab 01.01.96 für alle Geräte

- **Europannormen EN 61000-x-x; EN 61800-3 (PDS) EN 550xx-x; u.a.**
veröffentlicht im *Amtsblatt der Regulierungsbehörde Bundesnetzagentur (BNetzA)*¹ oder im *europäischen Amtsblatt*

keine Aussagen zur EMV-Wirkung auf biologische Systeme (Elektrosmog); siehe dazu BImSchV 26

¹ vor dem 13.07.2005 *Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP)*

Anwendungsbereich des EMVG

CE-Kennzeichnung erforderlich

- ⌘ Bauteile, Geräte mit eigenständigen Funktionen (Steckkarten, SPSn, Motoren, Regler, Netzgeräte usw.)
- ⌘ Systeme, z.B. Computer-Systeme mit Zentraleinheit, Tastatur, Monitor usw.

CE-Kennzeichnung nicht erforderlich

ANLAGEN, z.B. HiFi-Anlagen oder Windenergieanlagen, *die vor Ort zusammengebaut werden; diese Anlagen müssen die einschlägigen Schutzanforderungen erfüllen:*

- *alle Geräte sind CE-gekennzeichnet oder*
- *Nachweis durch eine zuständige Stelle*

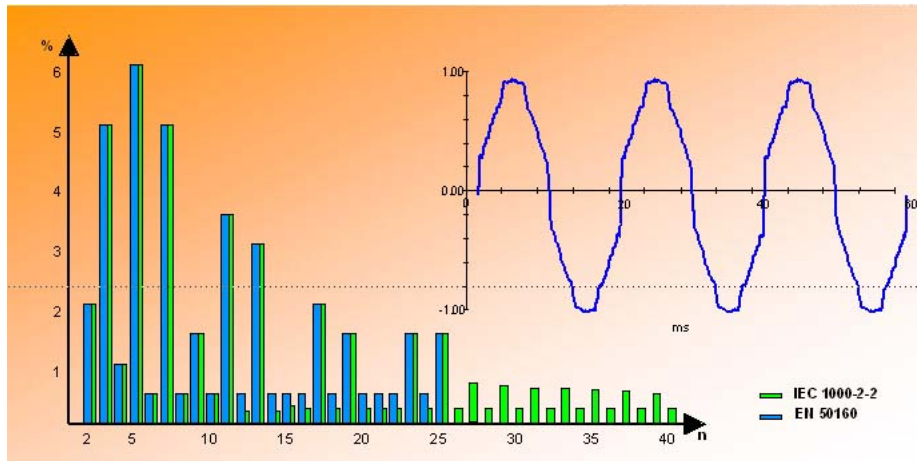
Stromüberschwingungen Beschreibungsgrößen für die Emission

- ⌘ Grundschiwingung, Oberschiwingung
Harmonische (harmonic) h , v oder n
als ganzzahlige Vielfache der Netzfrequenz
- ⌘ Zwischenharmonische (interharmonic) μ
als nicht ganzzahlige Vielfache der Netzfrequenz
- ⌘ Verzerrungsfaktor THD (total harmonic distortion)
- ⌘ gewichteter Verzerrungsfaktor PHD
(partial weighted harmonic distortion)

Einschlägige Normen für die Anwendung des EMVG zur Begrenzung der Störwirkungen

- ⌘ DIN EN 61000-3-2
Stromüberschwingungsnorm für alle Geräte mit
 $P > 75 \text{ W}$ und $I_L < 16 \text{ A}$
- ⌘ DIN EN 61000-3-3 Flickernorm
- ⌘ DIN EN 50160 Netzqualitätsnorm
- ⌘ VDEW/VDN-Richtlinien
- ⌘ FGW-Richtlinie
- ⌘ eon-Richtlinie

Norm - Verträglichkeitswerte für Spannungs-Oberschwingungen

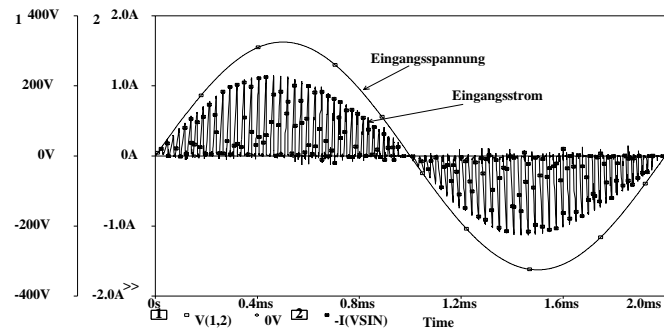


Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung bzw. Reduktion der Störwirkungen

- ⌘ Heizgeräte mit Sinushalbwellensteuerung
- ⌘ Netzteil mit PFC-Eingang
- ⌘ Umrichter mit Sinusausgangsfiler
- ⌘ Einbau von Funkstör Schutzfiltern

Power-Factor-Correction (PFC)

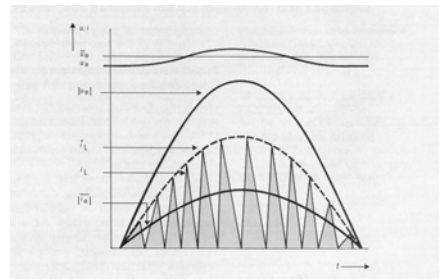
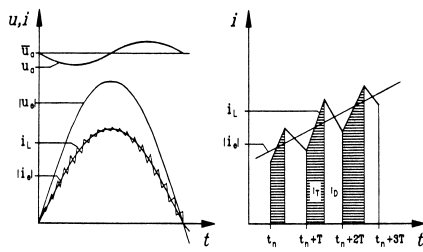
⌘ sinusmodulierter Netzstrom durch Pulsweitenmodulation (PWM)



Alternative PFC-Steuerverfahren

⌘ average current mode control

● peak controlled



Vorteile: Sinusförmiger Strom
Weitbereichsspannungseingang

Vorteile des aktiven PFC-Verfahrens

- hoher Leistungsfaktor $\lambda \approx 0,97 - 0,99$
- geringer Oberschwingungsgehalt im niederfrequenten Bereich
- variabler Spannungs- und Frequenzeingang
 $U \approx 90 - 250 \text{ V}$
- kleines Aufbauvolumen durch reduzierte Magnetik-Volumina
- erhöhter Energiespeicherinhalt im Zwischenkreis durch höhere Spannung
- Normen konform, d.h. CE - Zeichen

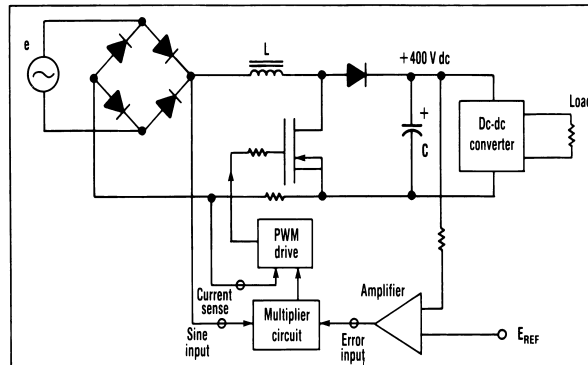
Nachteile des aktiven PFC-Verfahrens

- komplexer Aufbau
- höherer Bauteileaufwand
- reduzierter MTBF
- höhere Kosten
- erhöhter EMV Aufwand
- geringerer Wirkungsgrad

Prinzip der Regelung

zweistufiger Regelkreis

- ☒ überlagert:
Spannungsregler für Ausgangsspannung
- ☒ unterlagert:
Stromregler für Netzstrom
- ☒ Multiplizierer zwischen Spannungs- und Stromregler zur Sollwertvorgabe für die Stromkurve als Funktion der Eingangsspannung



Regler Dimensionierung

⌘ Stromregler:

modifiziertes integral Verhalten zur Unterdrückung des hochfrequenten Rippelstromes durch PWM

☒ Führungsgröße $\hat{i} = f(P_{\text{aus}})$

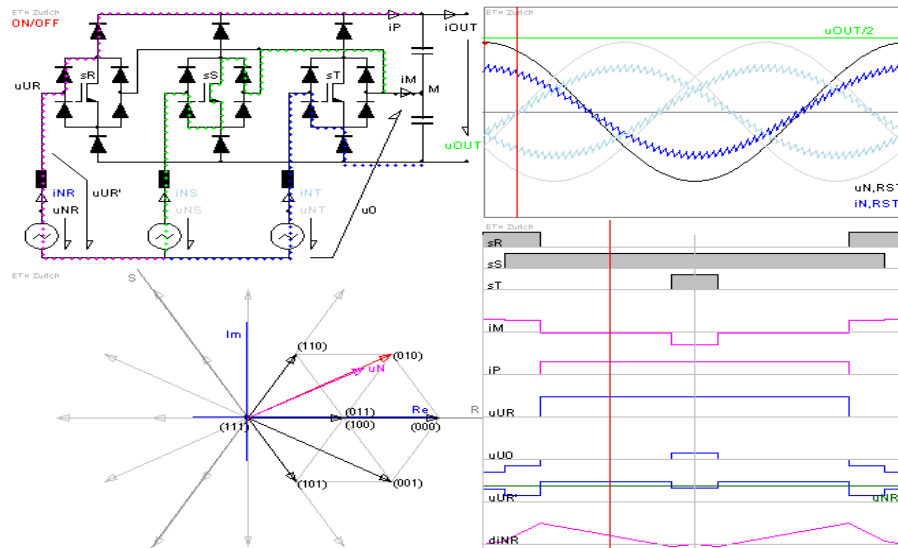
⌘ Spannungsregler

integral Verhalten

☒ konstante oder variable Sollwertvorgabe

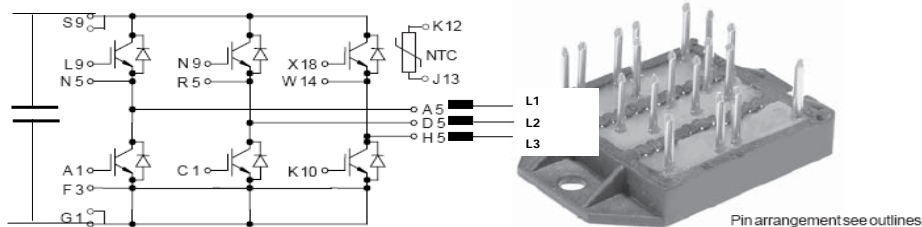
PFC am Drehstromnetz, das Vienna-Modul

The Vienna Rectifier 1 is a unidirectional three-phase three-switch three-level PWM rectifier (AC/DC).



6-pulsiges IGBT-Modul

VWI 6-12P1 $I_{C25} = 6 \text{ A}$
 $V_{CES} = 1200 \text{ V}$
 $V_{CE(sat)typ.} = 3.9 \text{ V}$



Betrieb in ersten und zweiten Quadranten möglich
 Hochsetzstellerbetrieb durch Phasenkurzschluss realisiert
 drei Boost-Drosseln erforderlich