

OBERWELLENFÜHRER

Zur Erinnerung

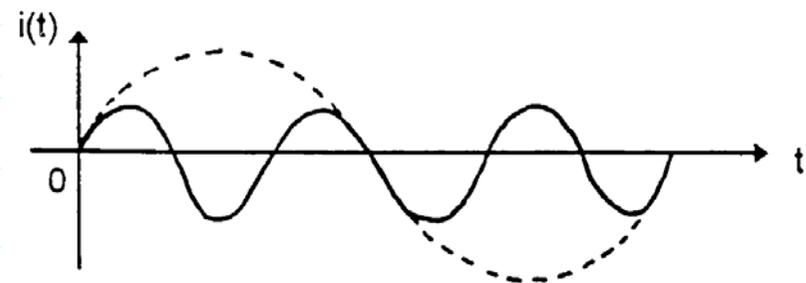
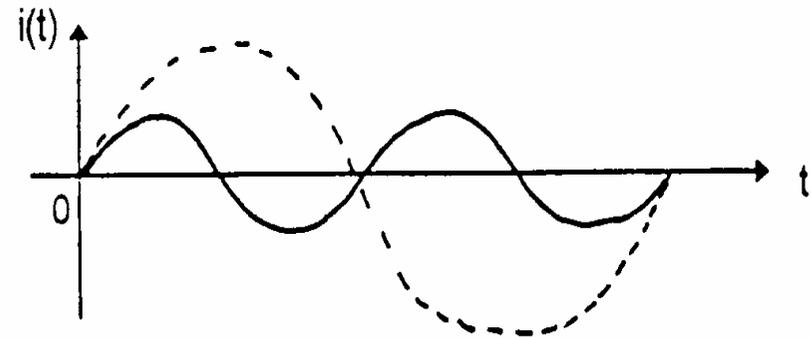
- *Der Strom, der von den Kraftwerken erzeugt wird, ist ein sinusförmiger Wechselstrom mit einer Frequenz von 50Hz.*

Grundlage 1

- *Die Frequenz der Ströme, auch einfach Oberwellen genannt, sind Vielfache der Grundfrequenz von 50Hz.*
- *Man definiert den Oberwellengrad als das Verhältnis zwischen der Frequenz der Oberwelle und der Grundwellenfrequenz.*

Grundlage 2

- Die 2. Oberwelle hat eine Frequenz von $50\text{Hz} \times 2 = 100\text{Hz}$
- Die 3. Oberwelle hat eine Frequenz von $50\text{Hz} \times 3 = 150\text{Hz}$

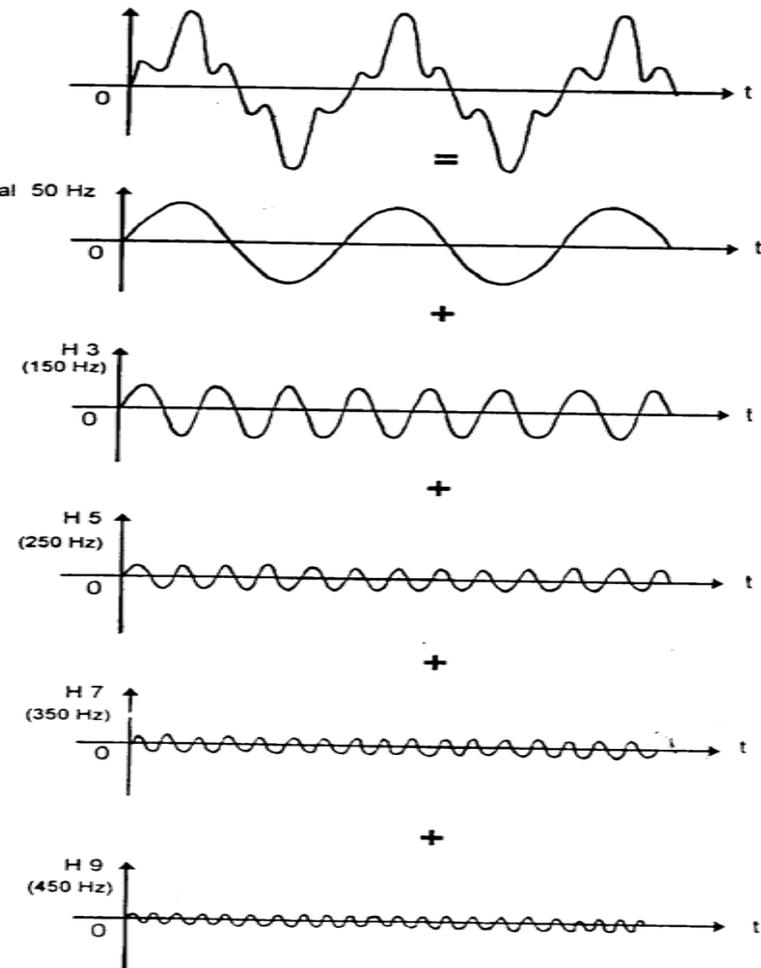


Definition

- *Als generelle Regel, wir unterscheiden Oberwellen mit geraden Grad (2., 4., 6., 8.,) und Oberwellen mit ungeraden Grad (3., 5., 7., 9.,).*
- *Die Letzteren sind der Grund für die meisten Verzerrungen speziell in industriellen Netzen, da sie die Signalsymmetrie verzerren.*

Definition 2

- Eine periodische Welle jeder Form, ist nach Fourie's Theorie, eine Summe einzelner, sinusförmiger Wellen mit der vielfachen Frequenz der Grundfrequenz.



Stromeffektivwert

- *Der Effektivwert des Stromes bekommen wir aus der Beziehung:*

| Oberwellen-grad | Strom | Oberwellen-faktor |
|-------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 (Grundwelle) | $I_{h_1} = 104A$ | 100% |
| 3 | $I_{h_3} = 84A$ | 81% |
| 5 | $I_{h_5} = 64A$ | 61% |
| 7 | $I_{h_7} = 40A$ | 38% |
| 9 | $I_{h_9} = 16A$ | 15% |
| | ($I_{peak} = 392A$) | |

$$I_{eff} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_n^2(t)} = \sqrt{104^2 + 84^2 + 64^2 + 40^2 + 16^2} = 154$$

THD (Total Harmonic Distortion - Oberwellenfaktor)

- *Gibt den Anteil der Oberwellen in Bezug zur Grundwelle an.*

$$THD = \frac{\sqrt{Ih_2^2 + Ih_3^2 + \dots + Ih_n^2}}{Ih_1} = \frac{\sqrt{84^2 + 64^2 + 40^2 + 16^2}}{104} = \frac{114}{104} = 1,096$$

$$THD = 109,6\%$$

K (Klirrfaktor)

- *Gibt den Anteil der Oberwellen in Bezug zum Effektivwert des Gesamtsignals an.*

$$K = \frac{\sqrt{I_{h_2}^2 + I_{h_3}^2 + \dots + I_n^2}}{I_{eff}} = \frac{\sqrt{84^2 + 64^2 + 40^2 + 16^2}}{154} = \frac{114}{154} = 0,74$$

$$K = 74\%$$

σ - Crestfaktor

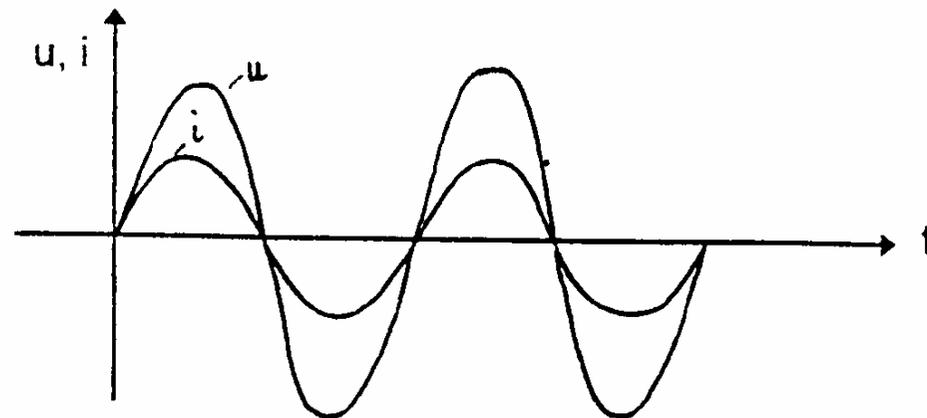
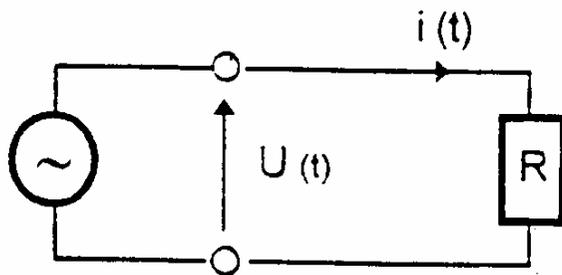
- *Gibt das Verhältnis des Spitzenwertes zum Effektivwert an. Im optimalen Fall muss er den Wert $\sqrt{2}$ oder 1.414214 annehmen.*

$$\sigma = \frac{I_{\text{spitze}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{392}{154} = 2,55$$

Ursprung von Oberwellen

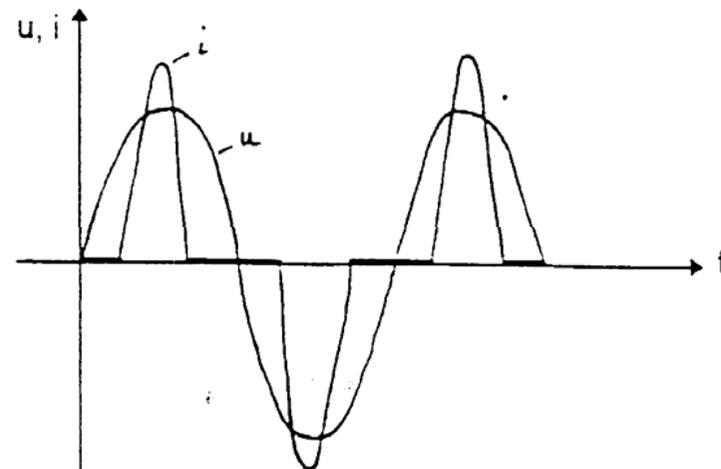
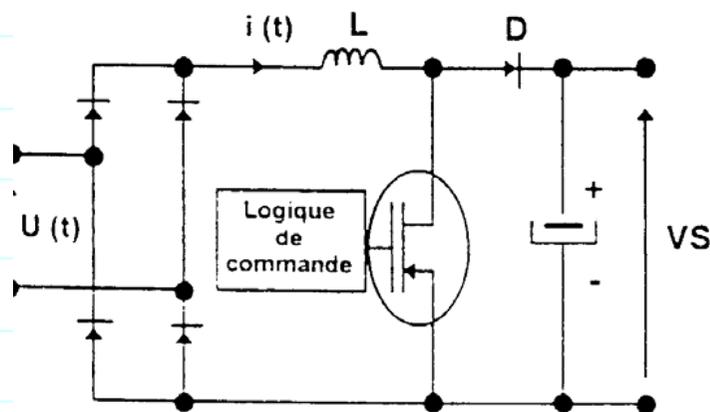
Lineare Last

- *Das Signal ist ein reiner Sinus; der Strom hat die selbe Kurvenform wie die Spannung.*



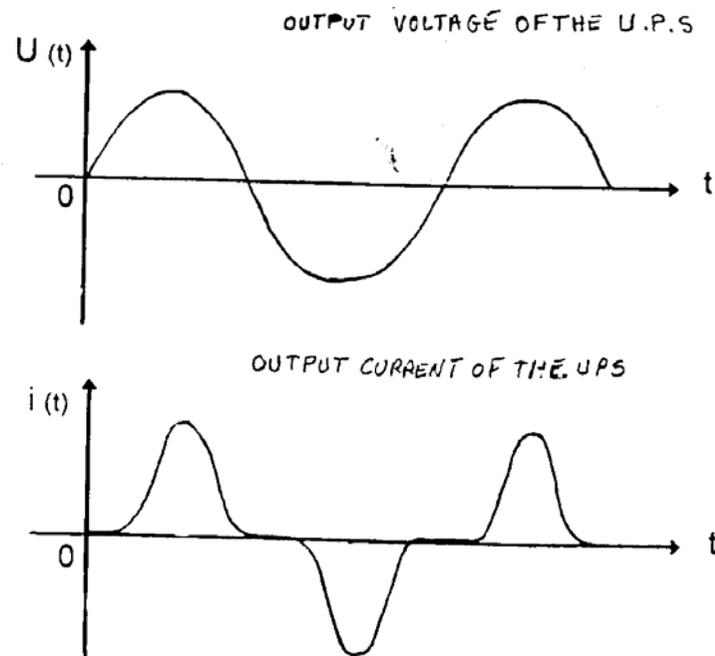
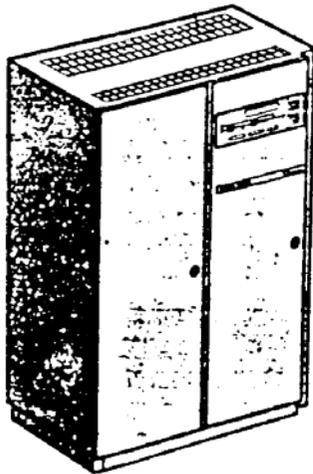
Nicht lineare Last Schaltnetzteil

- Das Schaltnetz erlaubt dem Strom nur den Durchgang während eines veränderbaren Teils einer Halbwelle. Der Impulsstrom ist reich an ungeraden Oberwellen ($I_5, I_7, I_9 \dots$).



Nicht lineare Last USV-Anlagen

- *USV's versorgen vor allem „nicht lineare“ Lasten (Computer, sensible Elektronik,.....).*

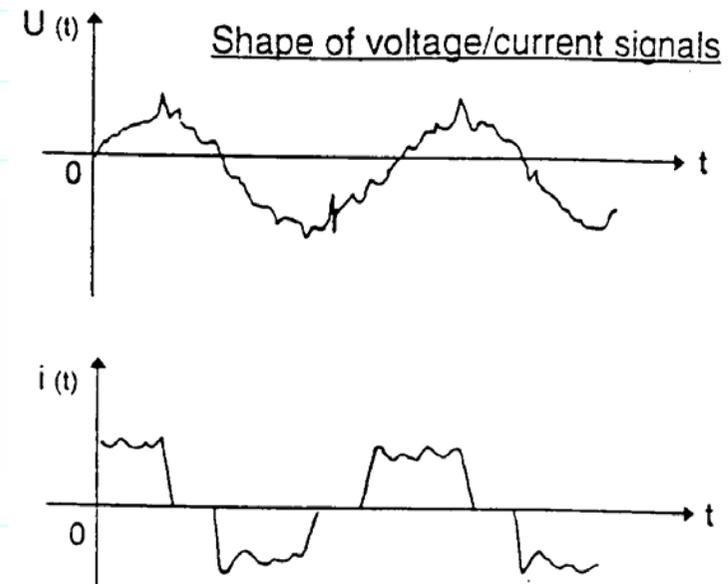
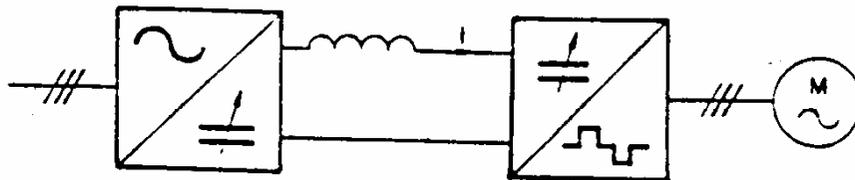


Nicht lineare Last

Asynchronmotore 1

➤ Strom-Frequenzumrichter

- Der Motor wird durch eine Stromwelle versorgt, die in ihrer Frequenz und Amplitude variiert.

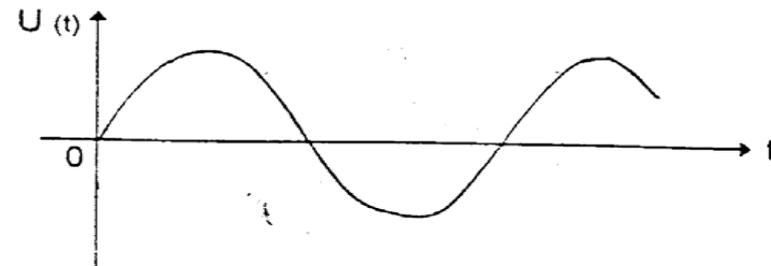
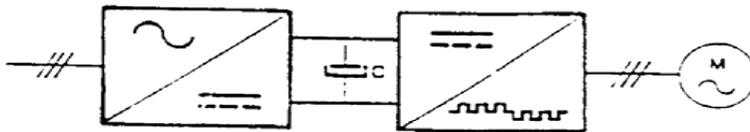


Nicht lineare Last

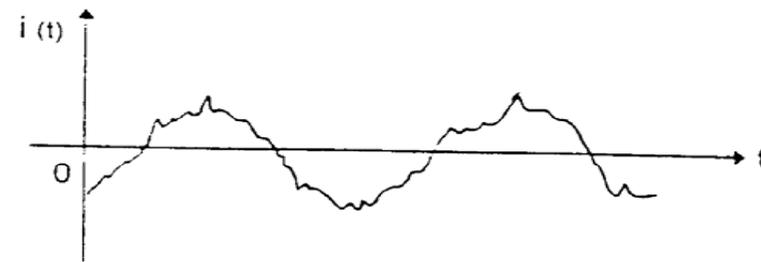
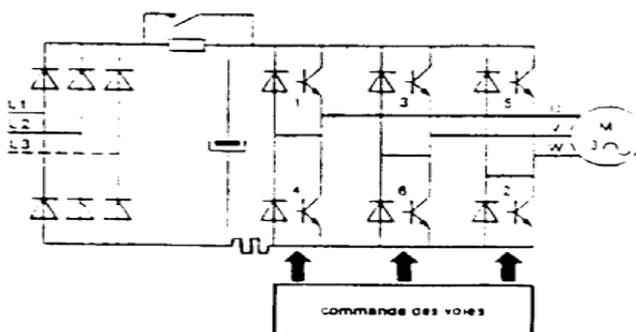
Asynchronmotore 2

➤ PWM Frequenzumrichter

- Der Motor wird durch eine Spannungswelle versorgt, die in ihrer Frequenz und Amplitude variiert.

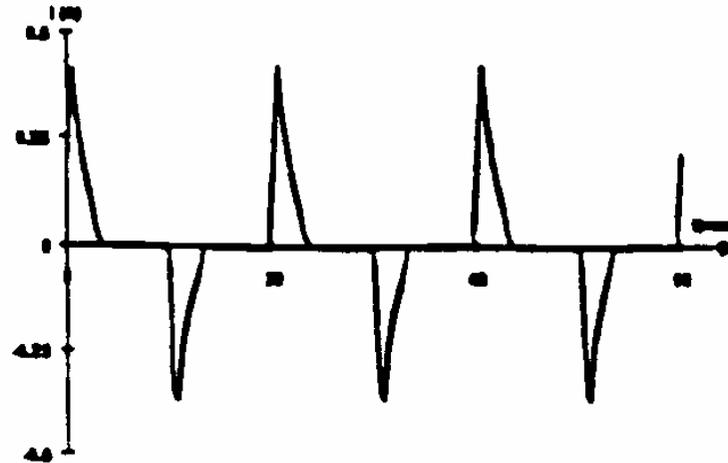
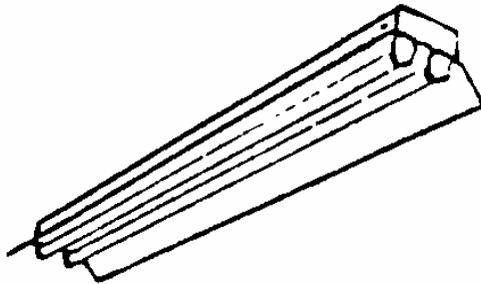


Schéma



Nicht lineare Last Leuchtstoffröhren

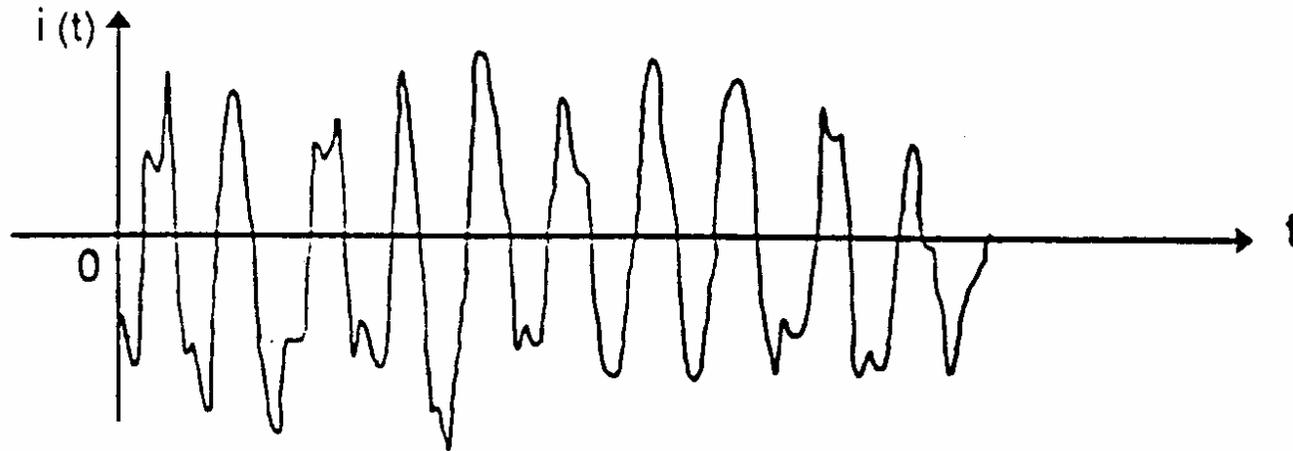
- *Die Stromaufnahme von Leuchtstoffröhren mit Vorschaltgeräten ist nicht sinusförmig und generiert ungerade Oberwellen.*



Nicht lineare Last

Lichtbögenöfen

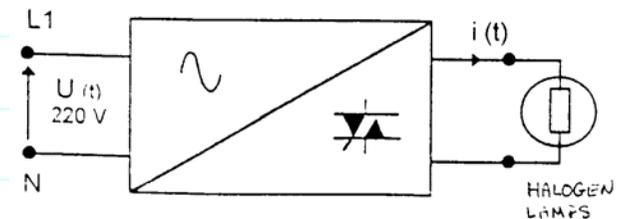
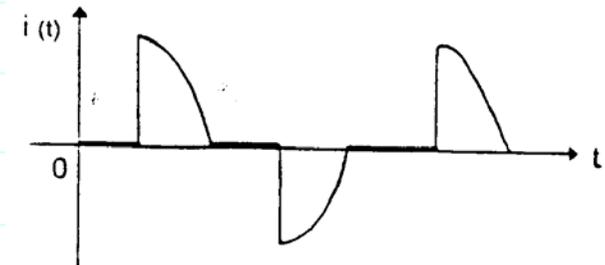
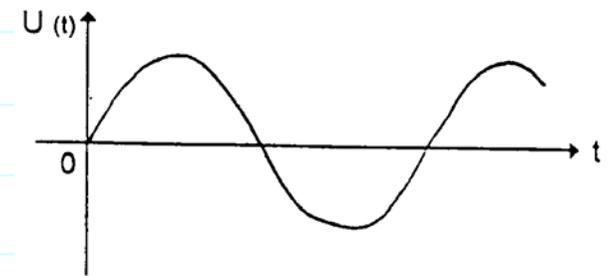
- *Lichtbogenöfen sind Großverbraucher (3 bis 4MVA) deren Stromaufnahme nicht periodisch ist.*



Nicht lineare Last

Lichtdimmer

- Halogenlampen werden Tyristoren gesteuert. Die Stromaufnahme ergibt einen Anstieg der ungeraden Oberwellen die nicht zu vernachlässigen ist und die Stromversorgungen stören können.



Oberwellenfolgen

- *Kurzzeitige Folge*
 - *Störungen von Schutzgeräten (Relais, Automaten, FI, Sicherungen, ...)*
- *Mittel- und Langzeitfolgen*
 - *Überhitzung von elektrischen Geräten und deren frühzeitige Alterung.*

(1) Folgen der Oberwellenverunreinigung

- *Rotierende Maschinen, 3-phasen Motoren*
 - *Zusätzliche Erwärmung (Jouleeffekt) in den Statorwicklungen. Oszillation führt zum Verlust der mechanischen Stabilität. Erhöhung des Geräuschpegels.*
- *Transformatoren*
 - *Zusätzliche Verluste im Eisen und in den Windungen (Jouleeffekt). Risiko von Sättigung wenn geradzahlige Oberwellen vorhanden sind.*

(2) Folgen der Oberwellenverunreinigung

➤ *Kabel*

- *Erhöhung der ohmschen Verluste, speziell im Neutralleiter durch den Oberwellen 3. Grades fließen. Zusätzliche dielektrische Verluste. Korrosion von Aluminium Kabel durch den Effekt von Gleichstromanteile.*

➤ *Computer*

- *Störungen von Festplatten durch magnetisches Übersprechen.*

(3) Folgen der Oberwellenverunreinigung

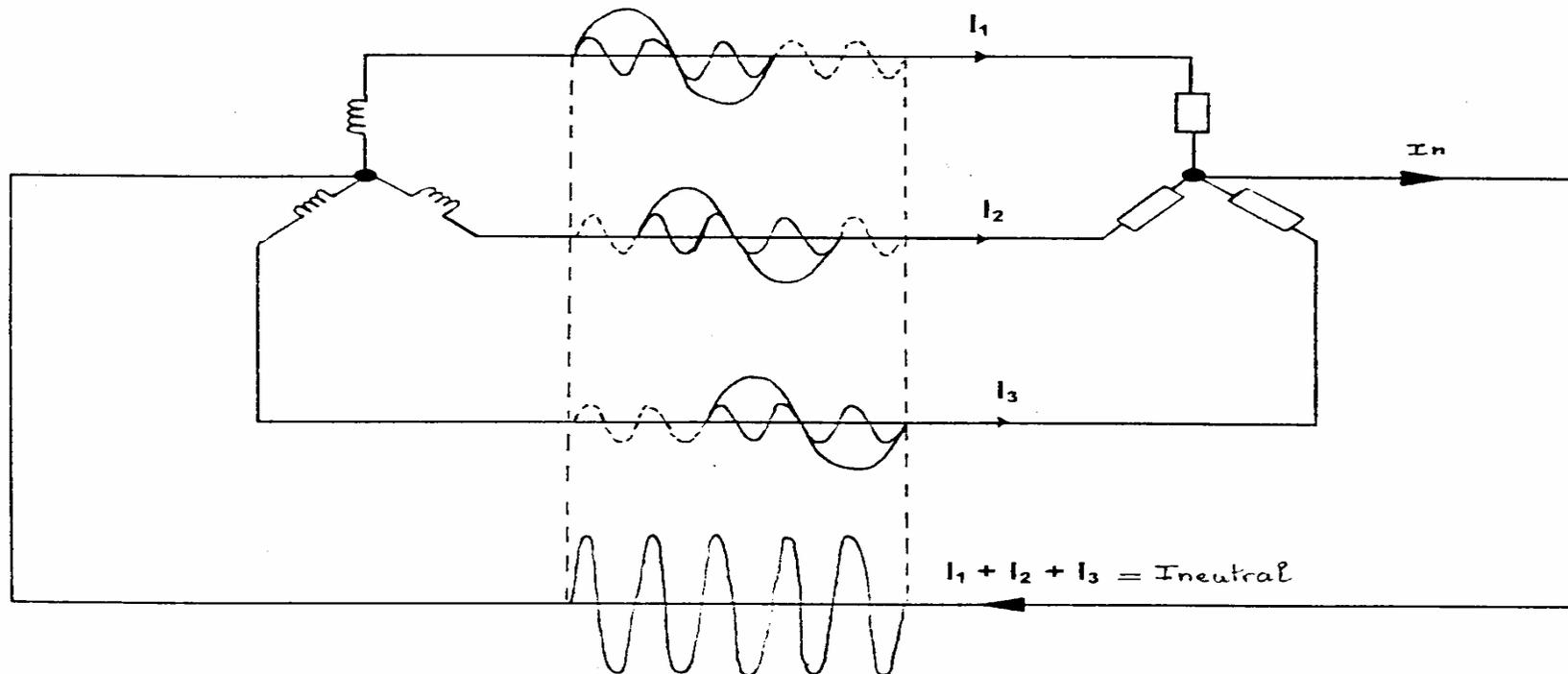
- *Leistungselektronik (Gleichrichterbrücken mit Thyristoren)*
 - *Funktionsprobleme gebunden mit der Signalform (schalten, synchronisieren). Leistungsabfall. Zusätzliche dielektrische Verluste führen zur vorzeitigen Alterung von Kondensatoren.*

(4) Folgen der Oberwellenverunreinigung

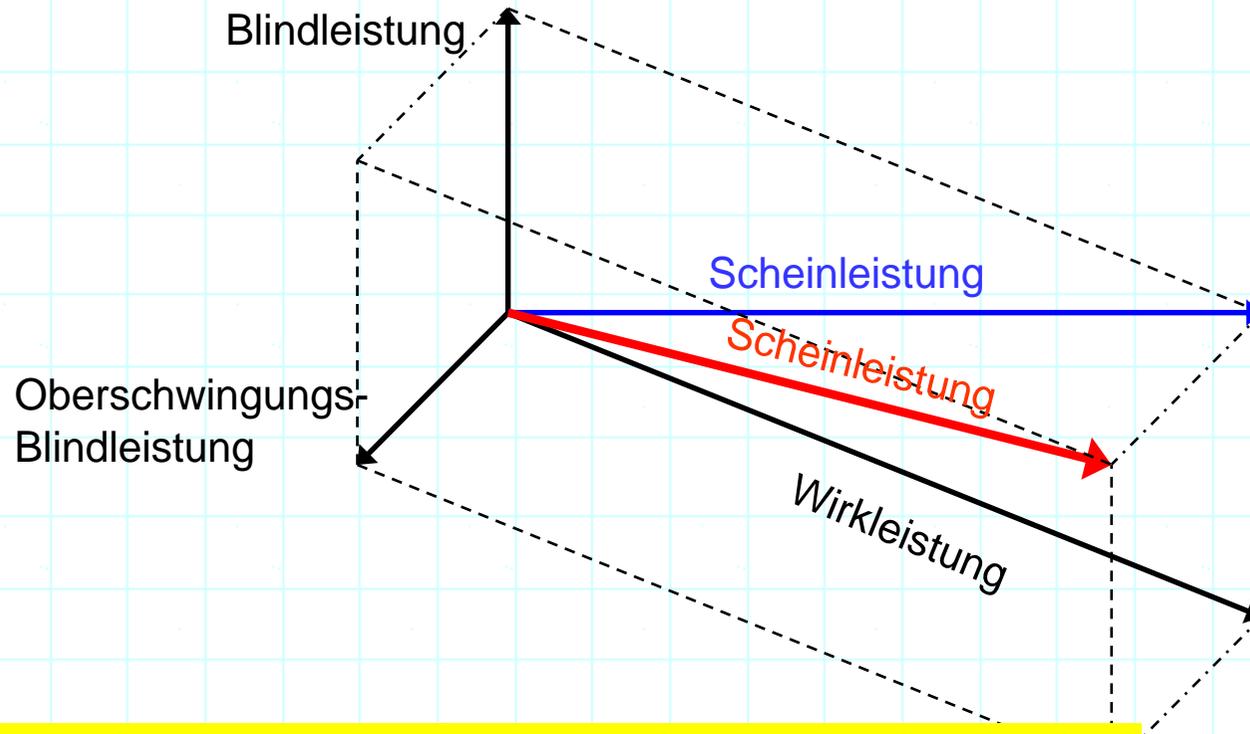
- *Schutzgeräte (FI, Automaten,..)*
 - *Vorzeitige Auslösung*
- *Energiezähler*
 - *Messfehler*
- *Fernseher*
 - *Bilderverzerrungen*
- *Entladelampen*
 - *Flickerrisiko durch 2. Oberwelle*

Folgen im N-Leiter durch Oberwellenverunreinigung

- Der Fluss im Neutraleiter ist wesentlich höher als der Oberwellenfluss in den Außenleitern.



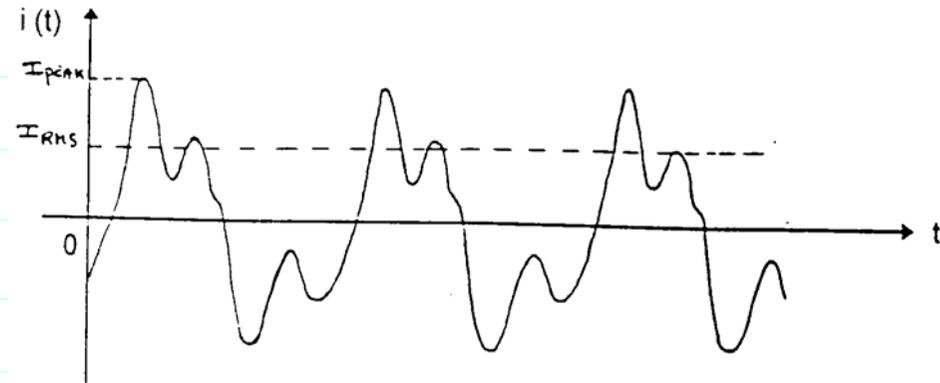
Auswirkung auf die Scheinleistung



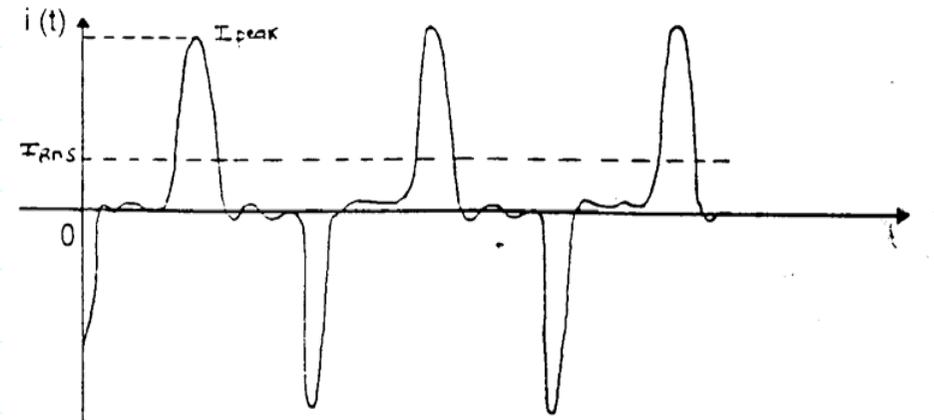
Oberschwingungen erhöhen die Verluste
und reduzieren den Leistungsfaktor (λ)!

Oberwellenverunreinigung Crestfaktor

43% Oberwellenfaktor für die 3.
20% Oberwellenfaktor für die 5.
Crest=1,9



80% Oberwellenfaktor für die 3.
61% Oberwellenfaktor für die 5.
38% Oberwellenfaktor für die 7.
15,5% Oberwellenfaktor für die 9.
Crest=2,5



Oberwellenverunreinigung

Primäre Maßnahmen (1)

- *ein hinreichend großes Verhältnis zwischen der Netzleistung am Verknüpfungspunkt und der angeschlossenen nichtlinearen Verbraucherlast,*
- *Stromrichterbrücken mit höheren Pulszahlen,*
- *Schaltung der vorgeordneten Netztransformatoren*
- *Verdrosselte, gut abgestimmte Kompensation*

Oberwellenverunreinigung

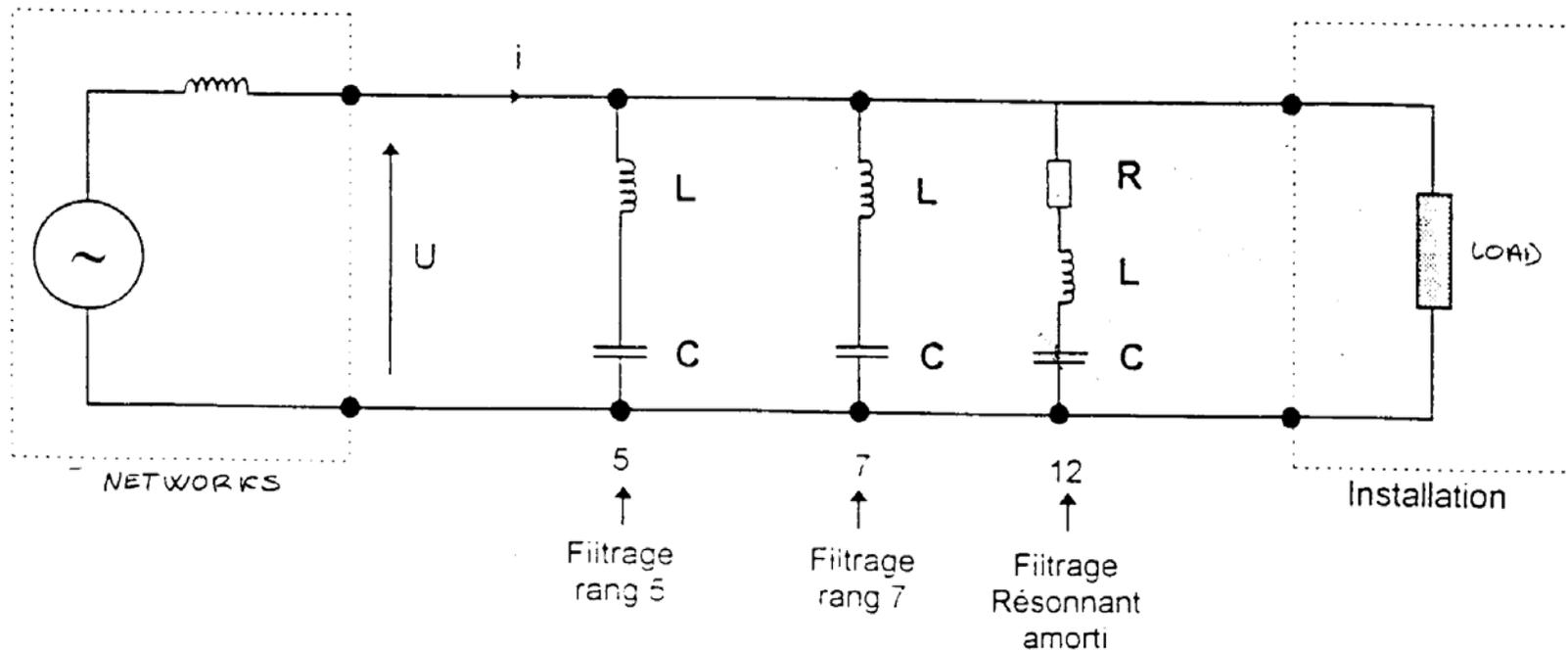
Primäre Maßnahmen (2)

- *Vermeidung von Resonanzen im Verbrauchernetz*
- *Stärkere Aufteilung der Netze in EMV-Umgebungsklassen,*
- *TN-S statt TN-C Leitungssysteme*
- *Netzersatzanlagen mit niedrigen Oberschwingungspegel.*

Oberwellenverunreinigung Sekundäre Maßnahmen (1)

- *Passive Netzfilter*
 - *RLC-Serienglieder*

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Oberwellenverunreinigung *Sekundäre Maßnahmen (2)*

➤ *Aktive Netzfilter*

- messen die Oberwellenströme und induzieren gegenphasige Ströme. Dadurch heben sich die Oberwellen auf. Das Ergebnis ist eine fast „saubere“ Sinusschwingung.*

