

Grundlagen für den Einsatz von Frequenzumrichtern zur Bedarfsregelung

Prof. Dr. Adrian Omlin

Hochschule Luzern

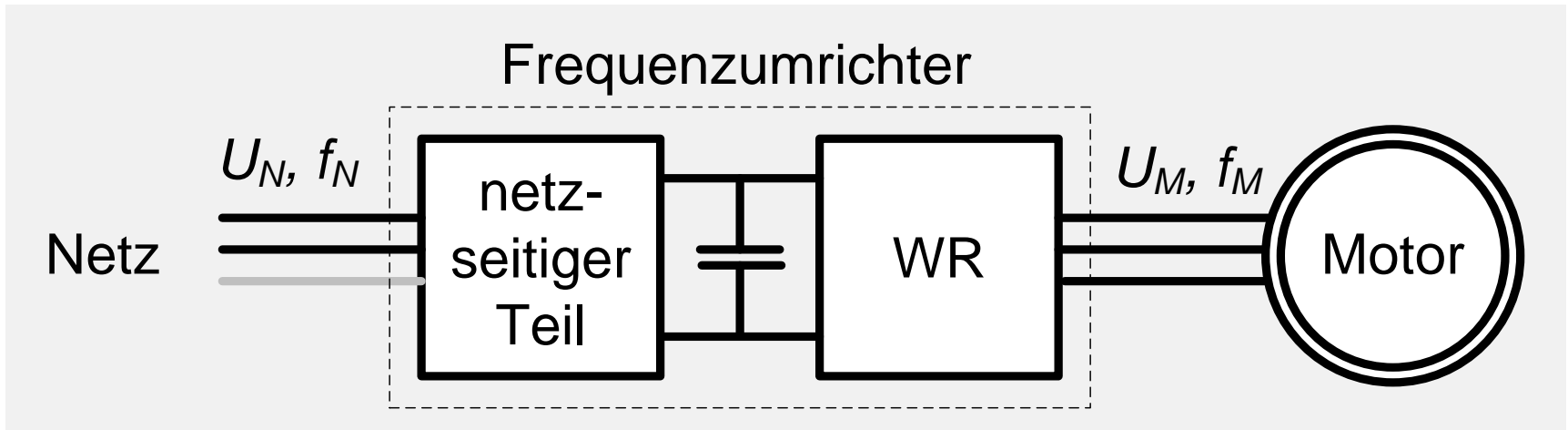
Tel. 041 349 33 63

E-Mail: adrian.omlin@hslu.ch

Inhalt

- Der Frequenzumrichter (FU)
- Nutzen eines FU (Anwendungsbeispiel)
- Vorteile, Nachteile
- Bauarten
- Alternativen zum FU
- Fazit

FU mit Spannungszwischenkreis



Wechselspannung

Gleichspannung

Wechselspannung

Netz:

$f_N = \text{konstant}$

$U_N = \text{konstant}$

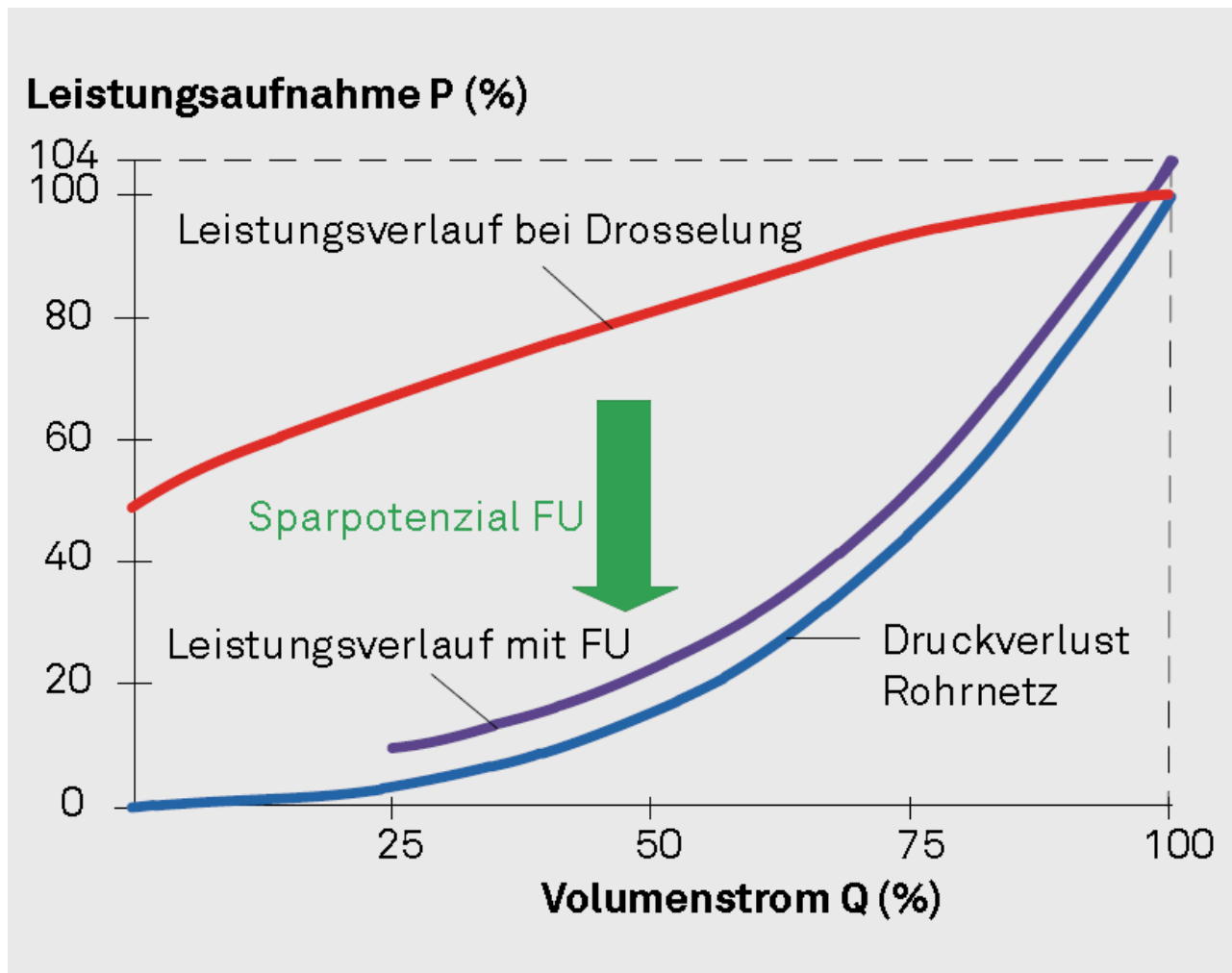
Maschinenseite:

$f_M = \text{einstellbar}$

$n = \text{einstellbar}$

$U_M = \text{einstellbar}$

Nutzen eines FU



Volumenstrom:

$$Q \sim n$$

Drehmoment:

$$M \sim n^2$$

Leistung:

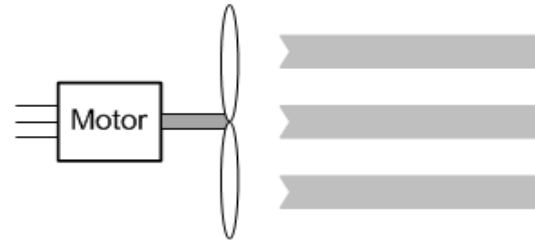
$$P \sim n^3$$

Pumpe mit geschlossenem Kreislauf, Quelle: Topmotors, Merkblatt Pumpen, 2012

Nutzen eines FU

Nennbetrieb

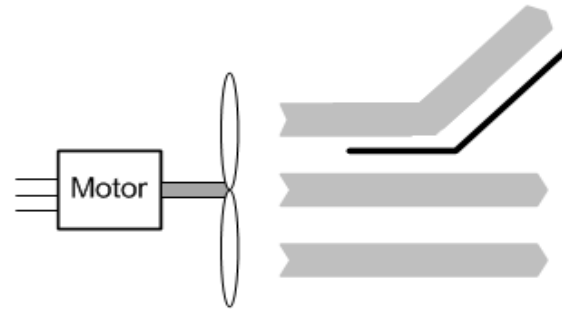
volle
elektrische Leistung



volle
Kühlung

Reduzierte Kühlung durch Umlenken der Kühlluft

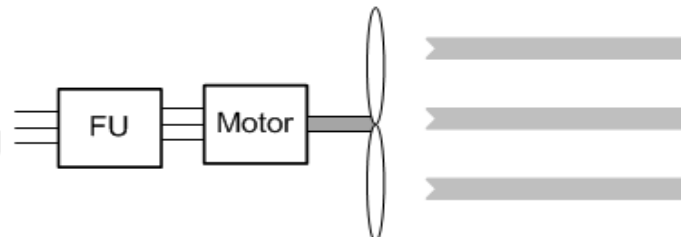
volle
elektrische Leistung



reduzierte
Kühlung

Reduzierte Kühlung durch reduzierte Drehzahl

reduzierte
elektrische Leistung



reduzierte
Kühlung

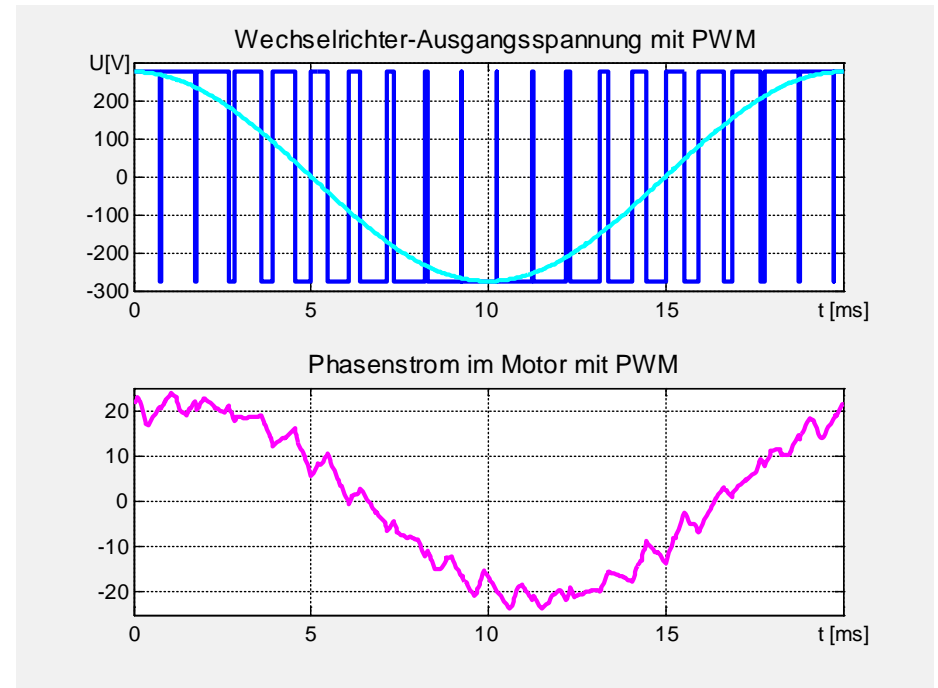
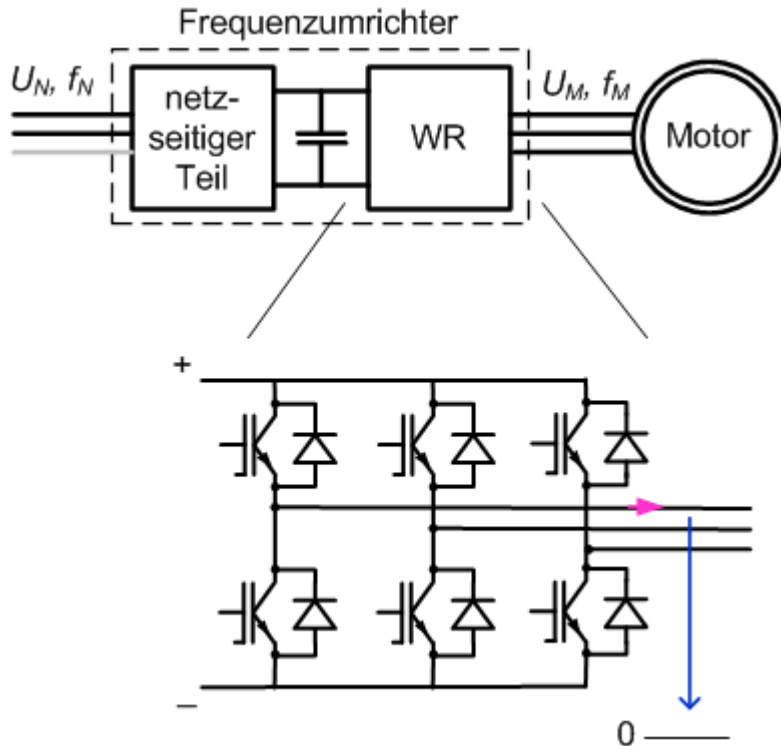
FU Vorteile

- Ein FU ist da sinnvoll, wo durch einstellbare Drehzahl der Leistungsbezug verringert und die Bedürfnisse des Prozesses dennoch abgedeckt werden.
- Einstellen der Drehzahl nach einem eindeutigen Bedarfskriterium
- Einstellbare Drehzahl oft notwendig / vorteilhaft

FU Nachteile

- Kosten
- Verluste
- Harmonische
 - > Netzurückwirkungen
 - > Zusatzverluste im Motor

Funktionsprinzipi WR (Wechselrichter)



Die Halbleiter arbeiten als Schalter. Die Ausgangsspannung und damit der Motorstrom sind nicht sinusförmig.

FU Taktfrequenz, Harmonische

Harmonische im Strom: Zusatzverluste im Motor

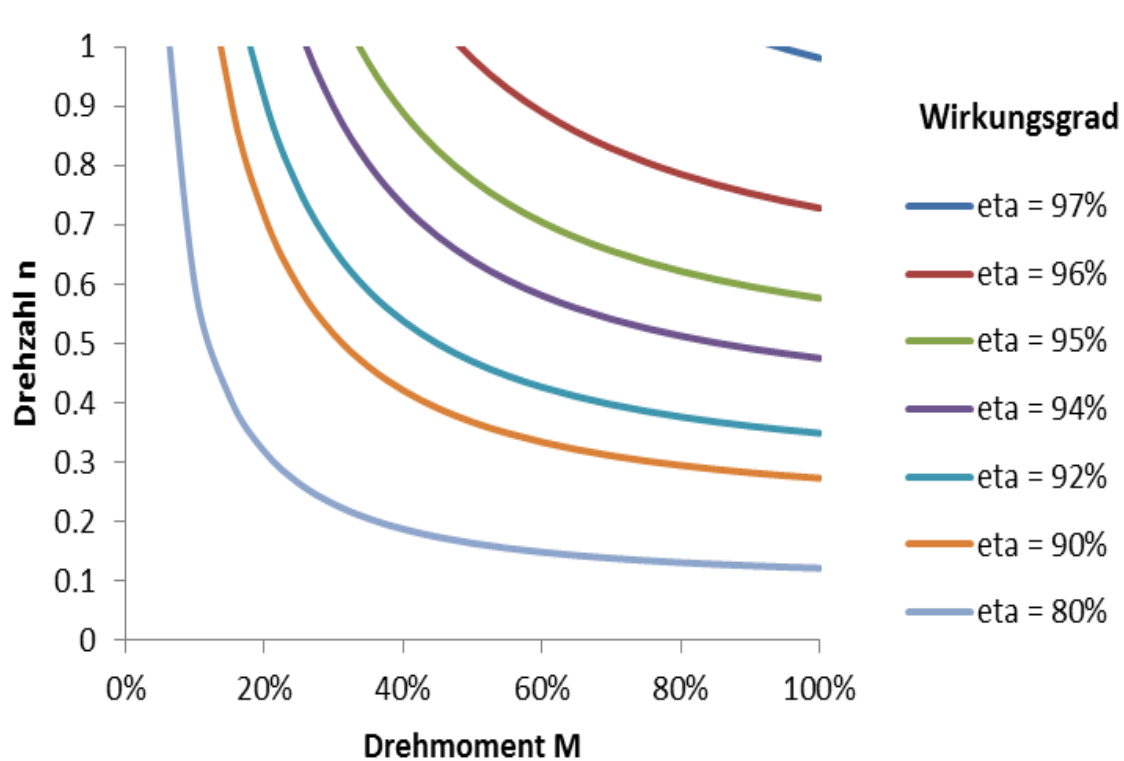
Eine höhere Taktfrequenz bewirkt:

- kleinere Harmonische im Strom
- und damit geringere Verluste im Motor
- dafür grössere Schaltverluste im WR

Weiterverwendung von Motoren, die nicht für Umrichterbetrieb gebaut wurden:

- Gefahr von Isolationsdefekten
- Einsatz von Sinusfiltern: auch diese machen Verluste
- Einsatz von einem neuen, energieeffizienten Motor macht sich oft bezahlt

Wirkungsgrad FU



Der Wirkungsgrad eines FU ist sehr gut, nimmt aber bei sehr geringer Auslastung stark ab.

-> Richtiges Dimensionieren

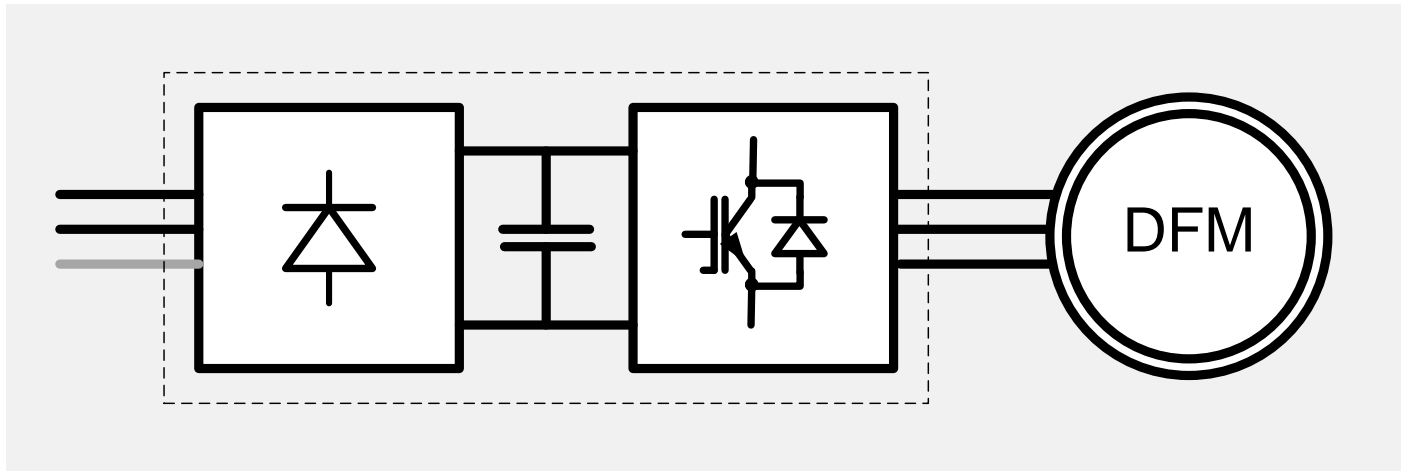
Rückspeisefähigkeit

Sinnvoll, wenn häufig grosse kinetische Energien gebremst werden. Z.B. bei:

- Aufzügen (Senken der Last)
- Zentrifugen, die schnell abgebremst werden
- Prüfständen
- Fahrzeugen
- Seilbahnen

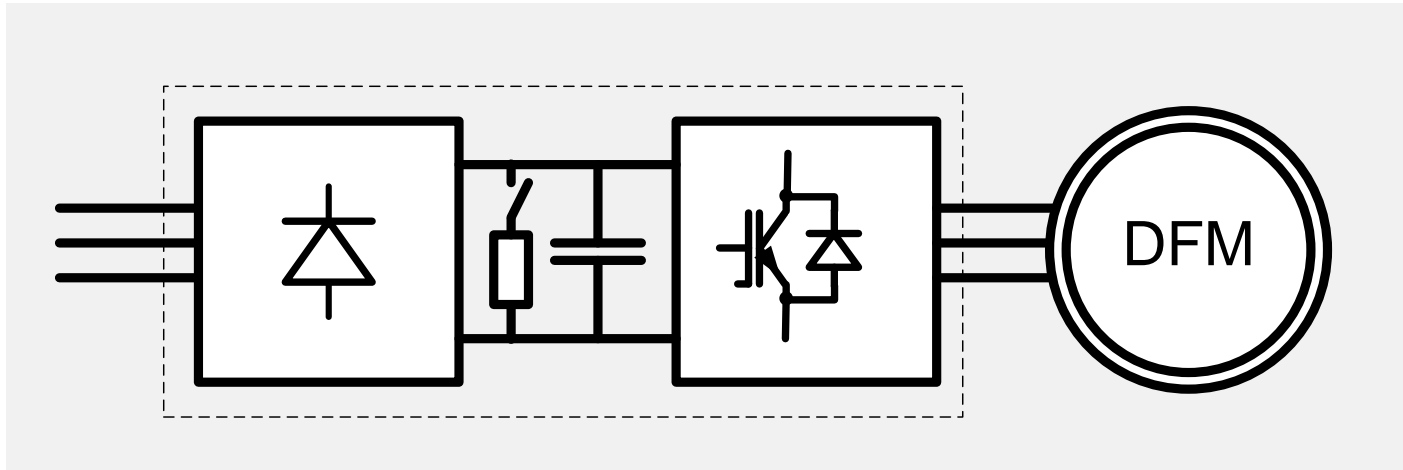
Wird die Bremsenergie ins Netz zurückgespeist, muss keine Wärme abgeführt werden.

Diodengleichrichter am Eingang



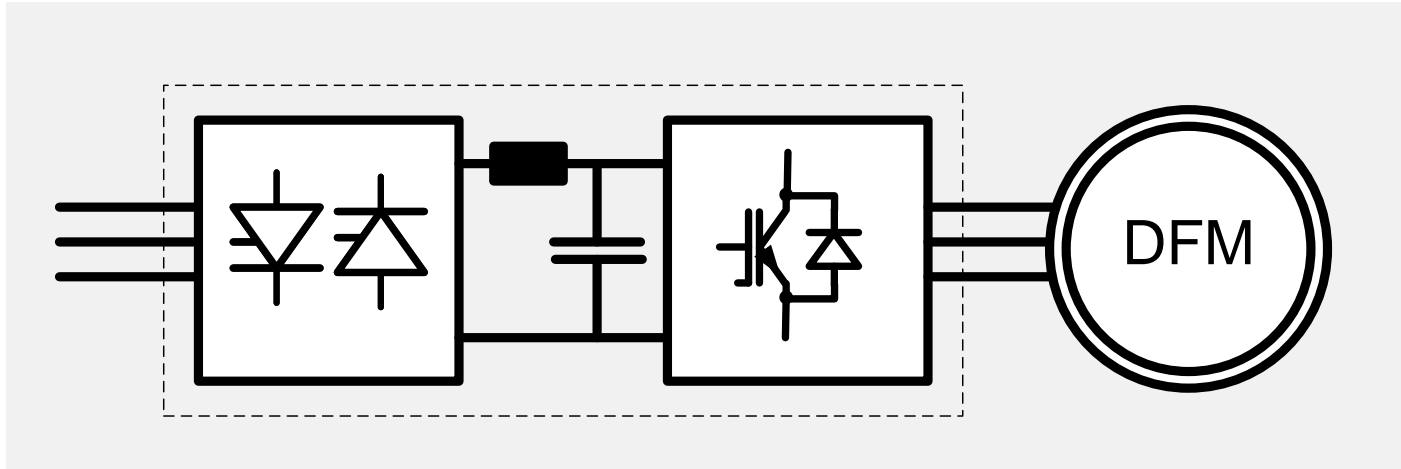
- preisgünstig
- robust
- kein elektrisches Bremsen, kein Rückspeisen
- Oberschwingungen 3ph: 5., 7., 11., 13,.....
- $\cos\varphi$ nahe bei 1
- guter Wirkungsgrad

Zusätzlicher Brems-Chopper



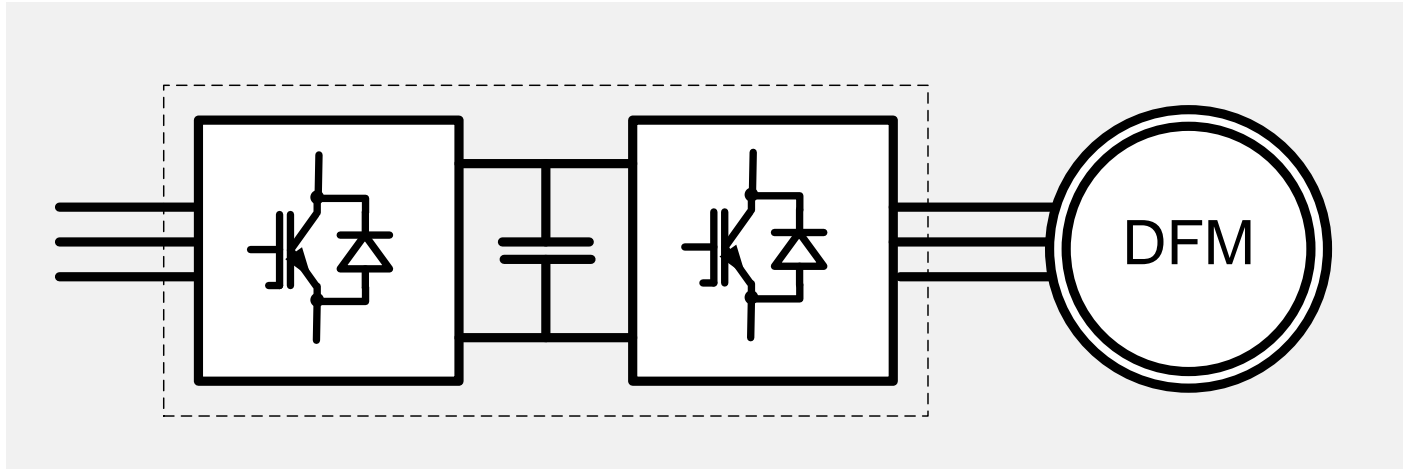
- wie Diodenbrücke
- elektrisches Bremsen möglich
- kein Rückspeisen, die Bremsenergie wird im Widerstand verheizt

Umkehrgleichrichter



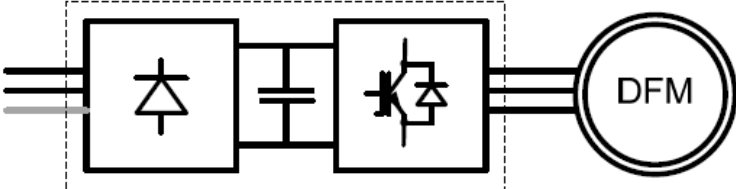
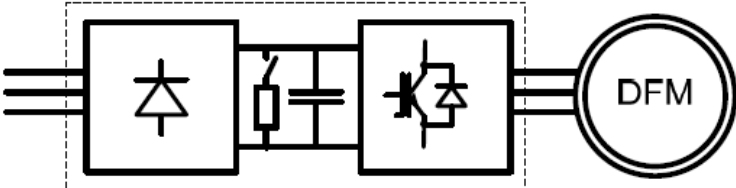
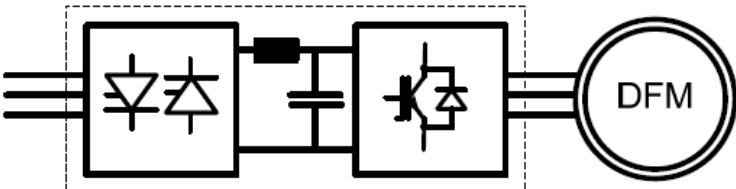
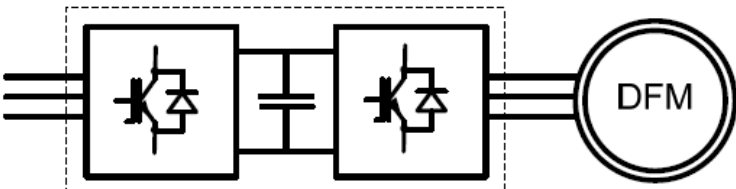
- robust, Kommutierungsfehler bei Netzspannungseinbrüchen möglich
- elektrisches Bremsen mit Rückspeisen
- Oberschwingungen 3ph: 5., 7., 11., 13,.....
durch L auf der DC-Seite etwas tiefer als bei DB
- $\cos\varphi$ etwas tiefer als bei Diodenbrücke
- Verluste ähnlich wie Diodenbrücke

WR auch auf Netzseite



- elektrisches Bremsen mit Rückspeisen
- Oberschwingungen: im Bereich der Taktfrequenz F und der Vielfachen davon, Stromamplitude: je grösser F , desto kleiner die Strom Oberschwingungen
- $\cos\varphi$ einstellbar, meist 1
- Verluste etwas grösser als mit Diodengleichrichter

Bauarten

FU mit	Elektrisches Bremsen	$\cos\phi$	Harmonische im Netzstrom
<p>Diodengleichrichter</p> 	Nein	Sehr gut	Alle Ungeraden Dreiphasige fehlen die Vielfachen von drei
<p>Diodengleichrichter mit Brems-Chopper</p> 	Ja, Bremsenergie wird im Bremswiderstand des Brems-Choppers verheizt	Sehr gut	Wie oben
<p>Umkehrgleichrichter</p> 	Ja, mit Rückspeisen der Bremsenergie ins Netz	Gut	Ähnlich wie oben. Bedingt durch die Glättungsinduktivität im ZK etwas kleiner
<p>Aktiver Netzseite mit Wechselrichter</p> 	Ja, mit Rückspeisen der Bremsenergie ins Netz	Sehr gut, einstellbar, sogar Kompensation möglich	Je höher die Taktfrequenz, desto kleiner

Alternativen zum FU

Betrieb direkt am Netz

- eine feste Drehzahl
- brüskes Anlaufen
- sehr guter Wirkungsgrad im Nennarbeitspunkt

Sanftanlasser

- Anlauf effizient und schonend
- im Betrieb eine feste Drehzahl
- ev. mit Regler: Energieeinsparung bei kleinem Drehmoment möglich

Getriebe, Transmission

- eine feste, nicht der Netzfrequenz entsprechende Drehzahl

Entscheidungsweg

Ist ein FU sinnvoll?

- Alternativen? Regelkriterium?

Neuer oder bestehender **Motor**?

Welcher **FU** ist am besten geeignet?

- Elektrisches Bremsen, Rückspeisen, Regelung.....

Richtiges Dimensionieren

- Häufigster Betrieb bei gutem Wirkungsgrad
- Erfüllt die Bedingungen, hohe Lebensdauer

Umgebungsbedingungen. Wo steht der FU?

- Temperatur, Schutzklasse, Erschütterungen
- Unterhalt, Lebenserwartung

Fazit

- Der Einsatz eines FU ist da sinnvoll, wo durch einstellbare Drehzahl der Leistungsbezug verringert und die Bedürfnisse des Prozesses dennoch abgedeckt werden.
- Der verringerte Leistungsbezug muss die (kleinen) Verluste des FU (mehr als) kompensieren.
- Bei «alten» Motoren: Gefahr von Isolationsdefekten (ev. Filter, aber auch die machen Verluste). Oft macht sich ein neuer, energieeffizienter Motor bezahlt.
- Richtiges Dimensionieren
- Mehr dazu im Merkblatt Frequenzumrichter