

### 4.3 Die 87 Hz Kennlinie mit D-Schaltung

Eine Möglichkeit der erhöhten Motorausnutzung ist die Dreieckschaltung mit feck = 87 Hz. Hierbei ist folgendes zu beachten. Nur bei nachfolgender Konstellation (oder entsprechend vergleichbaren) ist dies zu realisieren:

Netzspannung	Motorspannung $\Delta / \blacktriangle$	Umrichter Ausgangsspannung
230 V	127 V / 230 V	3 * 230 V
400 V	230 V / 400 V	3 * 400 V
500 V	290 V / 500 V	3 * 500 V

Anhand eines Beispiels soll die Wirkungsweise erklärt werden.

Der Umrichter hat eine Nenneingangsspannung von 400 V. Hierbei ist es nicht von Bedeutung ob es sich um ein einphasiges oder dreiphasiges Netz handelt. Der Motor ist gewickelt für eine Spannung von 230 V / 400 V  $\Delta / \blacktriangle$ , 50 Hz. Aufgrund dieser Daten wird am Umrichter folgende Einstellung vorgenommen:

- Motorspannung = 230 V, Motornennfrequenz = 50 Hz; → der Motor wird in Dreieck geschaltet.

(Bei maximaler Ausgangsspannung wird eine Frequenz von 50 Hz  $\times \sqrt{3} = 87$  Hz ausgegeben. Durch Umschalten des Motors von Stern- auf Dreieckschaltung und Änderung der Motorspannung von 400 V nach 230 V bei der Inbetriebnahme, wird der Motor bei der Frequenz von 87 Hz die  $\sqrt{3}$ -fache Leistung entwickeln. Wegen erhöhten Verlusten (Eisen-, Lüfter-, mechanische Verluste) und der daraus resultierenden höheren thermischen Belastung empfiehlt SEW jedoch nur die Ausnutzung mit der Leistung des nächst größeren listenmäßigen Motors.

Beispiel: Motor DT 100 L4 mit Listenleistung PN = 3 kW  
Spannung = 230 V / 400 V  $\Delta / \blacktriangle$ , Strom = 11,4 A / 6,6 A  $\Delta / \blacktriangle$ , bei 50 Hz

erhöhte Leistung bei  $\Delta$ -Schaltung und feck = 87 Hz:  $3 \text{ kW} \cdot \sqrt{3} = 5,2 \text{ kW}$  (kurzzeitig)  
nutzbare Dauerleistung im S1-Betrieb und Stellbereich 1:10,  
4 kW bei Wärmeklasse F (150°C).

4 kW deshalb, weil der nächstgrößere Motor 4 kW hat.  
Damit hat der Motor immer noch eine  $4/3 = 1,33$ -fache Leistung gegenüber der Nennleistung.

#### Auswahl des Umrichters für Dreieck-Betrieb

Bedingt durch den größeren Strom beim Umschalten von Stern- auf Dreieckschaltung muß auch der Umrichter in der Leistung erhöht werden.

→ Der Umrichter muss diejenige Leistung abgeben können, mit der der Motor belastet wird.

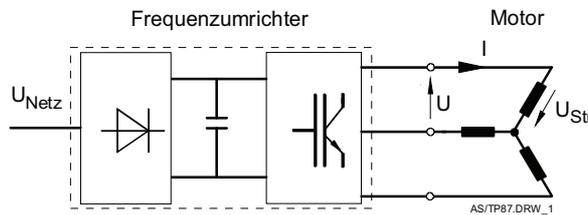
Beispiel:

Der vorherige Motor wird mit einem MOVIDRIVE® betrieben in:

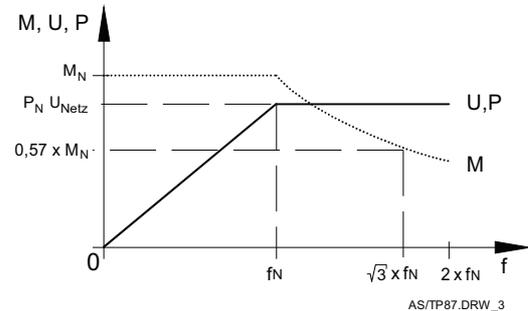
- $\blacktriangle$ -Schaltung, S1-Betrieb mit MDF/MDV 60A 0030 (3 kW, Ausgangsstrom 7 A)
- $\Delta$ -Schaltung, S1-Betrieb mit MDF/MDV 60A 0040 (4 kW, Ausgangsstrom 9,5 A)
- $\Delta$ -Schaltung, S3-Betrieb mit MDF/MDV 60A 0055 (5,5 kW, Ausgangsstrom 12,5 A)

Der S3-Betrieb (oder andere zulässige Betriebsarten) muss jedoch sorgfältig projektiert werden, um die Maschine thermisch nicht zu überlasten, insbesondere bei kleinen Drehzahlen (Stellbereich beachten).

Sternschaltung und  $f_{Nenn} = 50 \text{ Hz}$ , Motorspannung = 400 V



Umrichter mit Motor in Sternschaltung



Betriebskennlinien bei Typenpunkt 50 Hz

Bei den oben stehenden Abbildungen sind die Zusammenhänge zwischen Frequenz, Drehmoment, Spannung und Leistung sichtbar. Im Bereich von "0 Hz" bis  $f_N$  ist das Drehmoment konstant, oberhalb  $f_N$  ist die Leistung konstant und das Drehmoment nimmt reziprok mit steigender Frequenz ab.

### Dreieckschaltung und Motorspannung = 230V (feck = 87 Hz)

Bei Dreieckschaltung gelten zunächst die Forderungen:

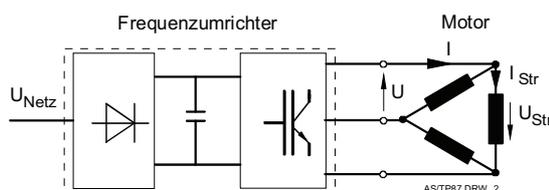
- das  $U/f$ -Verhältnis muss gleich bleiben
- die Nennleistung muss verfügbar sein

Am einfachsten ist es, wir betrachten das System wieder bei 50 Hz. Wenn das  $U/f$ -Verhältnis gleichbleiben soll, muß bei der  $\Delta$ -Schaltung bei gleicher Frequenz auch gleiche Strangspannung (230V) anliegen wie bei  $\star$ -Schaltung.

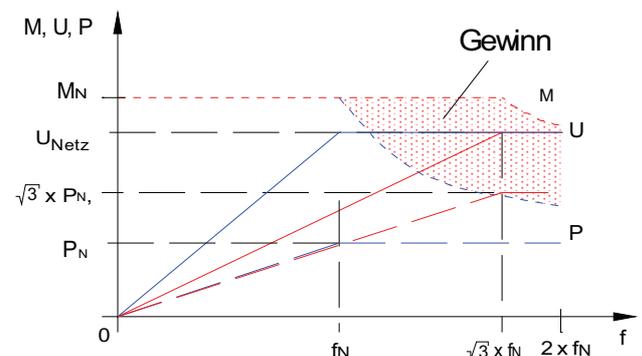
Da bei  $\Delta$ -Schaltung  $U = U_{Str}$ , ist das auch gleichzeitig die Spannung, die der Umrichter ausgeben muß. Deshalb wird der Typenpunkt von 50 Hz auf 87 Hz intern und automatisch geändert. Damit wird erreicht, daß bei

50 Hz 230 V bzw. bei 87 Hz 400 V ausgegeben werden.

Diese Festlegung wird beim Umrichter MOVIDRIVE® über die Inbetriebnahme vorbereitet. Hierbei wird die Spannung angegeben, die der Umrichter bei 50 Hz ausgeben soll (also 230 V). Der Umrichter errechnet sich die 87 Hz-Kennlinie selbständig.



Umrichter mit Motor in Dreieckschaltung



Betriebskennlinien bei Typenpunkt 87 Hz

Durch das gleiche U/f-Verhältnis und der Schaltungsart wird sichergestellt, dass der Motor bei 50 Hz weiterhin seine Nennleistung abgeben kann. Dies ist aber nur erreichbar durch einen  $\sqrt{3}$ -fach höheren Strom.

Beweis: Bei Dreieckschaltung des Motors und  $f_{\text{eck}} = 87$  Hz herrschen folgende Verhältnisse (Betrachtung bei Ausgangsfrequenz 50 Hz):

Die angelegte Spannung am Motor beträgt  $U = 230$  V, = Strangspannung. Da die Strangspannung bei 50 Hz bei Sternschaltung und Dreieckschaltung die gleiche ist, fließt bei Nennlast auch der gleiche Strom ( $I_{\text{Str}} = 6,6$  A) durch diese Wicklung.

Es gilt  $U = U_{\text{Str}} = 230$  V,  $I = \sqrt{3} I_{\text{Str}}$

Die Leistung errechnet sich aus:  $P_{50} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta$ ,

$P_{50} = \sqrt{3} \cdot 230$  V  $\cdot \sqrt{3} \cdot 6,6$  A  $\cdot \cos \varphi \cdot \eta = 3$  kW bzw

bei 87 Hz:  $P_{87} = \sqrt{3} \cdot 400$  V  $\cdot \sqrt{3} \cdot 6,6$  A  $\cdot \cos \varphi \cdot \eta = 5,2$  kW

Hieraus ergibt sich ein erhöhter Bedarf an Strom, den der Umrichter liefern muss - auch bei 50 Hz.

Wird die Ausgangsfrequenz erhöht, so erhöht sich jetzt auch die Leistung bis auf den  $\sqrt{3}$ -fachen Wert bei 87 Hz. Grund ist das gleichbleibende Drehmoment, da ja das U/f-Verhältnis in der Maschine gleichbleibt. Erst darüber hinaus geht die Maschine in den Feldschwächbereich und das Drehmoment wird kleiner.

Zwar erhöht sich die Strangspannung auf 400 V bei 87 Hz, bauartbedingt besitzen SEW-Motoren aber eine erhöhte Spannungsfestigkeit, so dass hierbei keine Nachteile entstehen.

**Vorteile** Die **Vorteile** der erhöhten Motorausnutzung lassen sich dreifach aufzeigen.

1. Ein vorhandener Antrieb kann mit höherem Stellbereich und größerer Geschwindigkeit betrieben werden. Da das Getriebe die höhere Leistung übertragen muß, ist dies neu zu überprüfen.
2. In Verbindung mit einer Erhöhung der Getriebeübersetzung  $i$  wird ein höheres Drehmoment und eine Erhöhung des Stellbereiches erzielt als bei  $f_{\text{eck}} = 50$  Hz.
3. Anstatt eines 4 kW Motors mit Sternschaltung und  $f_{\text{eck}} = 50$  Hz wird ein Getriebemotor mit 3 kW Nennleistung und geändertem  $i$  in Dreieckschaltung mit  $f_{\text{eck}} = 87$  Hz verwendet.  
Vorteil: kleinerer Motor.

**Nachteil** Nachteil ist der erforderliche Wechsel des Umrichters, da dieser die geforderte Leistung aufbringen muss. Bei unserem Beispiel mit dem DT 100 L4 reicht ein 4 kW Umrichter, wenn gemäß SEW Projektierungsrichtlinien die Anlage mit einer Leistung von 4 kW und dem dazugehörigen Drehmoment betrieben wird.

Allerdings ist zu beachten, dass bei anderen zulässigen Betriebsarten, z.B. S3-Betrieb, die volle Leistung/Strom abverlangt werden kann, wodurch der Umrichter an die Stromgrenze getrieben wird, und eventuell mit Fehler Dauerüberlast oder n-Überwachung abgeschaltet wird. Abhilfe bringt hier der Einsatz eines 5,5 kW Umrichters.

**Anmerkung** Es könnte der Eindruck entstehen, dass die beschriebene erhöhte Motorausnutzung das non-plus-ultra ist. Tatsache ist, dass die Mehrzahl der Antriebe "normal" betrieben werden. Gründe sind unter anderem im Bereich der drehzahlabhängigen Verluste im Getriebe und Geräusche in Getriebe und Motor zu finden.

Weitere Einschränkungen sind bei Hubwerksbetrieb zu finden.

Notbetrieb d.h. Motor am Netz, ist nur mit verminderter, der Nennleistung, und Änderung der Schaltungsart, von  $\Delta$  in  $\Delta$ , möglich.

Eine weitere Grenze sind die Motoren selbst. Ab bestimmten Spannungs-/Leistungs-Verhältnissen ist aufgrund des Drahtdurchmessers und der Wicklungsanzahl der Bau der Motoren nicht mehr möglich.



Mehr Details zur Projektierung kann in der Praxis der Antriebstechnik Band 5, Projektierung von Frequenzumrichter gespeisten Drehstromantrieben entnommen werden.

#### 4.4 Eigenschaften des Drehstromasynchronmotors bei Umrichterbetrieb

Durch den Betrieb am Antriebsumrichter MOVIDRIVE® erhält der Drehstromasynchronmotor grundsätzlich und gegenüber dem Betrieb mit MOVITRAC® verbesserte und zum Teil erweiterte Eigenschaften. Folgende Ausführungen beziehen sich auf eine leistungsmäßig angepaßte Motor-Frequenzumrichter-Kombination und einen optimal in Betrieb genommenen und arbeitenden Antriebsumrichter:

- Strombegrenzung typisch bis 1,5 x IN einstellbar.
- Drehmoment einstellbar über Strombegrenzung des Umrichters.
- exakte Drehmomentenregelung bei Verwendung des stromgeführten Verfahrens (CFC).
- Einfache Inbetriebnahmefunktionen für alle Steuerverfahren stellen optimale Bedingungen für das Antriebssystem zur Verfügung.
- Steuerverfahren umschaltbar
- kontinuierliche Berechnung eines Motomodells bei VFC- und CFC-Betriebsart
- keine lastabhängige Abweichung der Drehzahl von nN, im angegebenen Stellbereich, durch hohe Qualität der Schlupfkompensation bei VFC.
- Kippgefahr des Motors wird durch Überwachungsfunktionen im Umrichter vermieden.
- Schalthäufigkeits-Betrachtungen sind bei Umrichterbetrieb nicht mehr relevant, da der Motor stets im stabilen Kennlinienbereich mit max. 1,5 x IN betrieben wird.
- Stellbereich der Drehzahl je nach Maximaldrehzahl und Motornennleistung typisch bis ca. 1...100 bei VFC ohne und 1...250 bei VFC mit Drehzahlregelung. Beim CFC-Steuerverfahren ist ein Stellbereich von 1:3000 möglich. (Lüftungsbedingungen bei kleineren Drehzahlen schränken den Dauerbetrieb ein → Eigenlüftung/Fremdlüftung)
- möglicher Nachteil: Motor kann erhöhte Geräusche entwickeln, wenn die Maximalfrequenz über 50 Hz liegt (verursacht durch das Lüfterrad) und wenn die PWM-Frequenz im Hörbereich liegt
- Positionierbetrieb wird möglich
- Winkel - Synchronlauf mehrerer Antriebe wird ermöglicht
- Umfangreiche Steuerungsmöglichkeiten stehen zur Verfügung