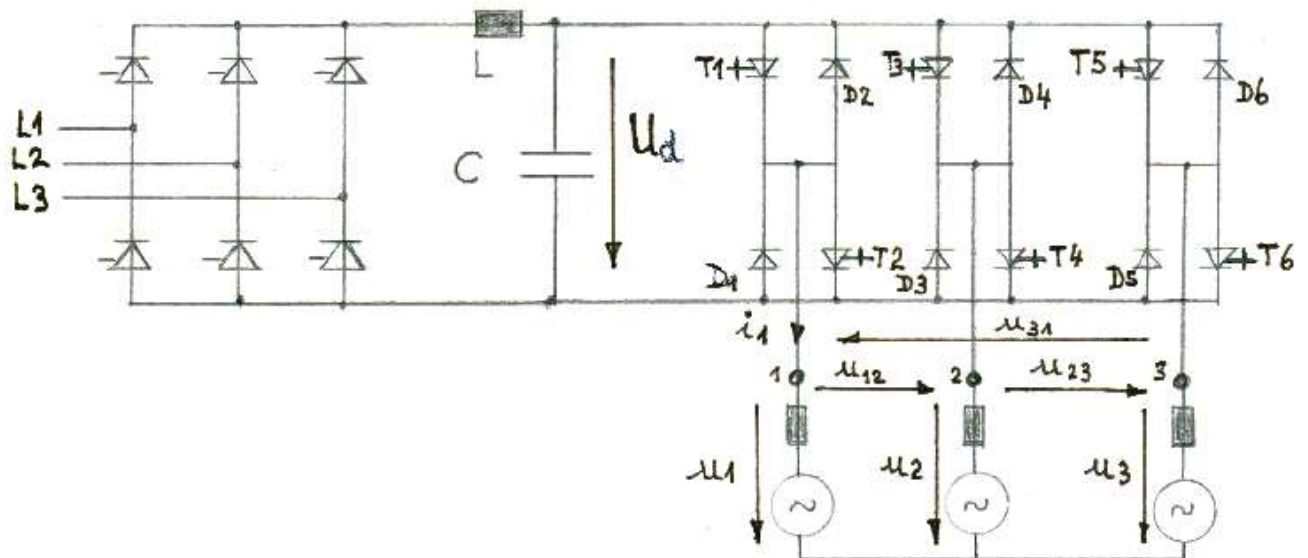
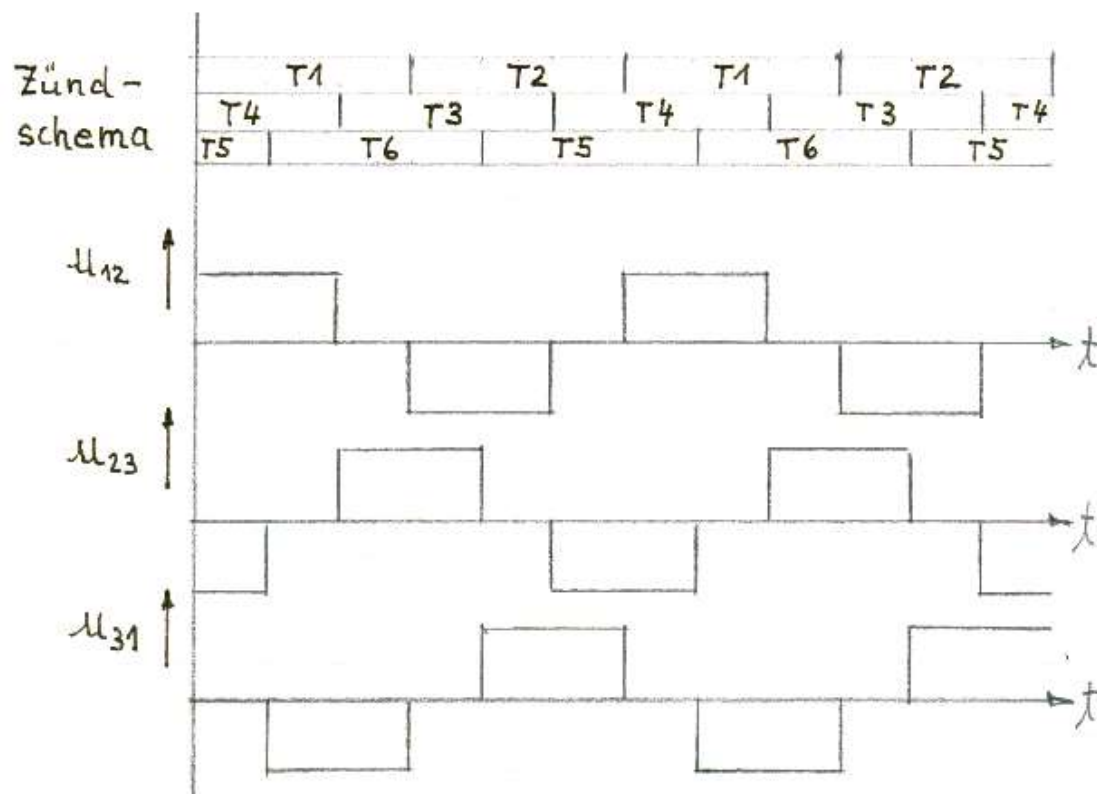


## 9. Dreiphasiger Umrichter mit Spannungszwischenkreis

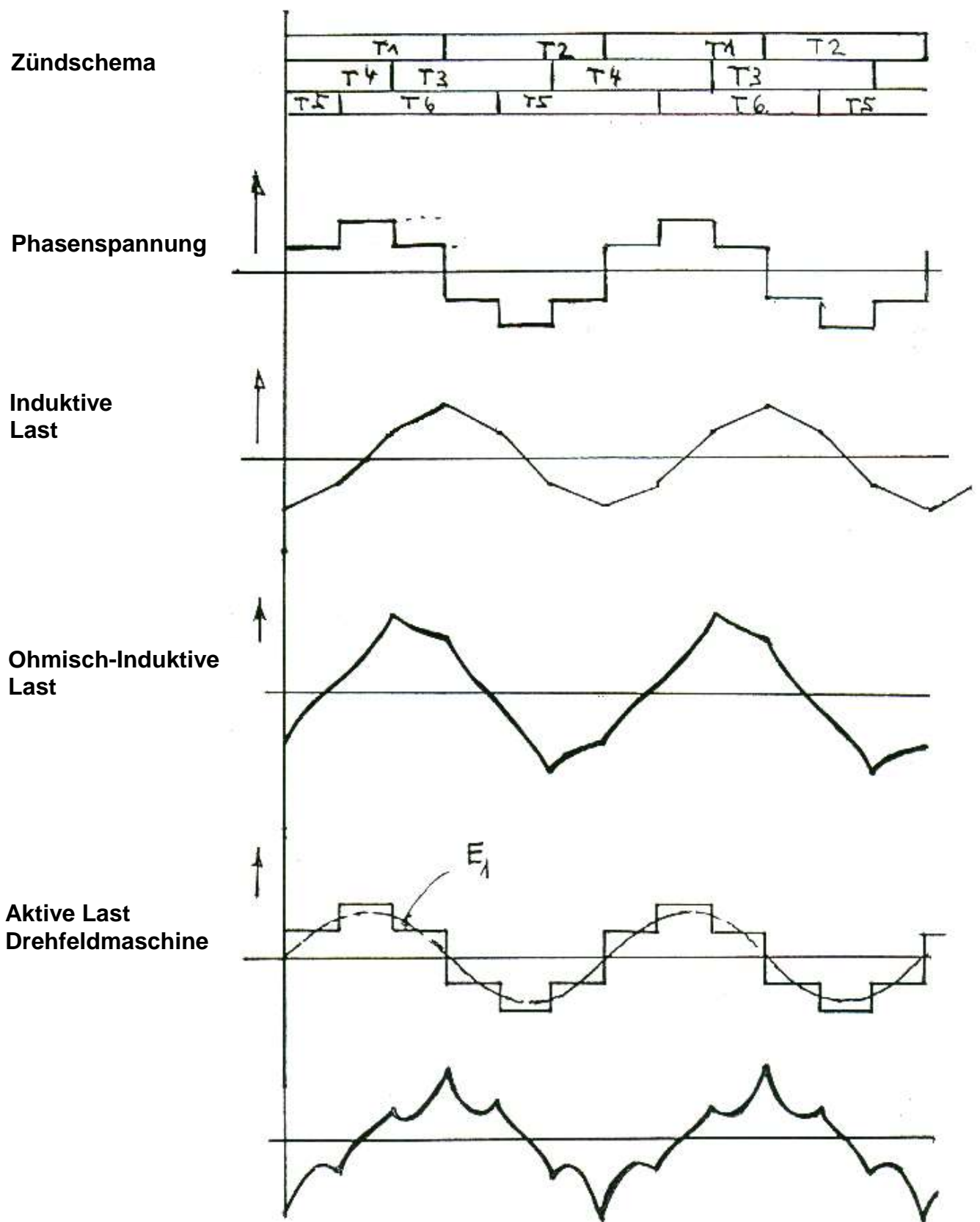
### 9.1 Prinzipielle Funktionsweise des Umrichters



### Herleitung der Leiterspannungen des Umrichters

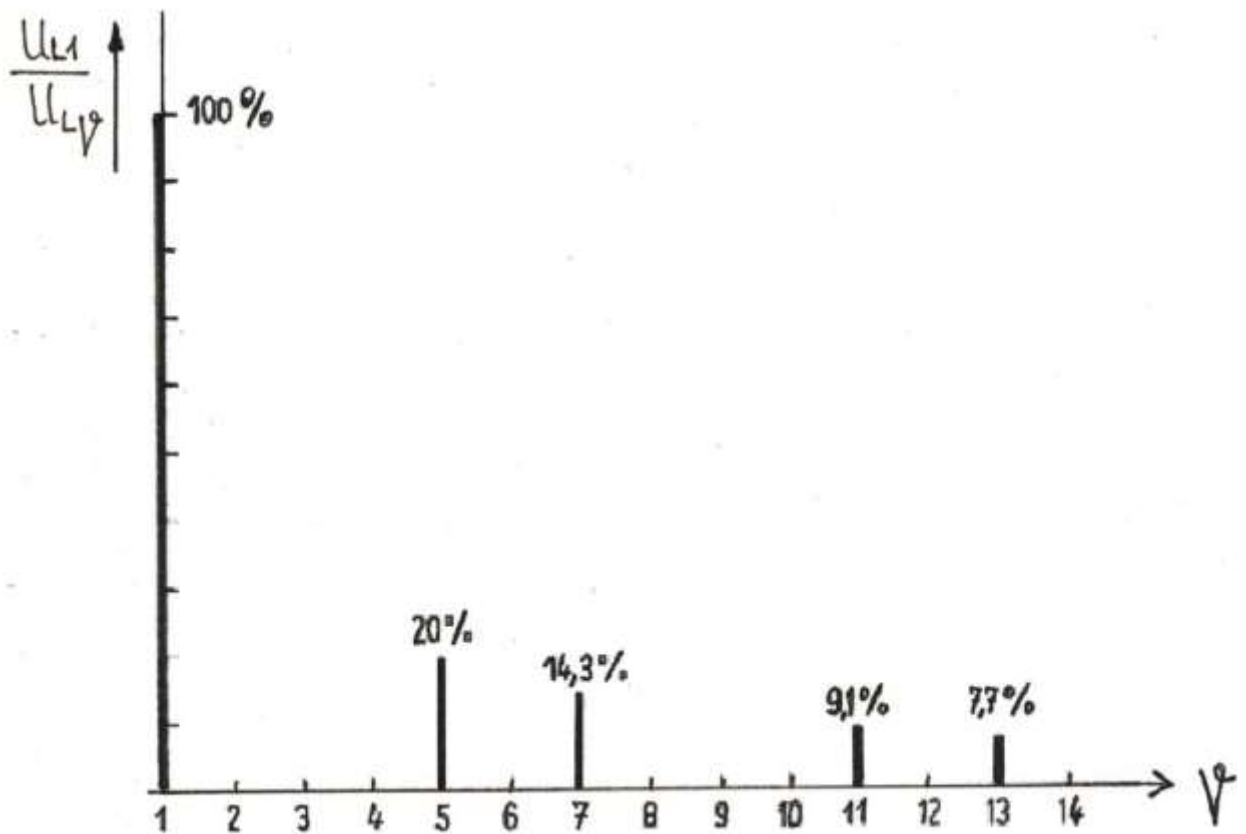


## Betrachtung von Phasenspannung und Phasenstrom des Umrichters



## **Berechnung von Leiter- und Phasenspannung des Umrichters**

## Oberschwingungsspektrum der Leiterspannungen



- Amplitudenwert der Grundschiwingung:
- Effektivwert der Grundschiwingung:
- Ordnungszahl der Oberschiwingungen:
- Effektivwert der Oberschiwingungen:

Die Phasenspannungen des Umrichters haben exakt das gleiche Oberschiwingungsspektrum wie die Leiterspannungen.

## **9.2 Steuerung der Umrichter- Ausgangsspannung**

### **Steuerung der Ausgangsspannung über die Zwischenkreisspannung**

Die Größe  $U_d$  der Umrichter-Zwischenkreisspannung wird über einen gesteuerten Gleichrichter eingestellt.

#### **Nachteile:**

- es ist ein netzseitig, gesteuerter Gleichrichter notwendig (z.B. Brückenschaltung)
- wegen LC-Filter ist keine schnelle Änderung der Zwischenkreisspannung möglich
- gesteuerter Gleichrichter belastet das Netz mit induktiver Blindleistung
- Energierückspeisung ins Netz über Gleichrichter ist nicht möglich.  
Eventuell muss hierfür ein zusätzlicher Stromrichter gegenparallel geschaltet werden.

### **Steuerung der Ausgangsspannung über Pulsbreitenmodulation**

Netzseitig liegt ein ungesteuerter Gleichrichter (z.B. Dioden-Brückenschaltung) vor, der eine Zwischenkreisspannung mit konstantem, maximalem  $U_{dmax}$  liefert. Aus der ursprünglichen Blockform der Ausgangsspannung (Vollblocksteuerung) werden durch Verfahren der Pulsbreitenmodulation einstellbare Abschnitte herausgeschnitten und derart der Effektivwert der Ausgangsspannungen abgesenkt.

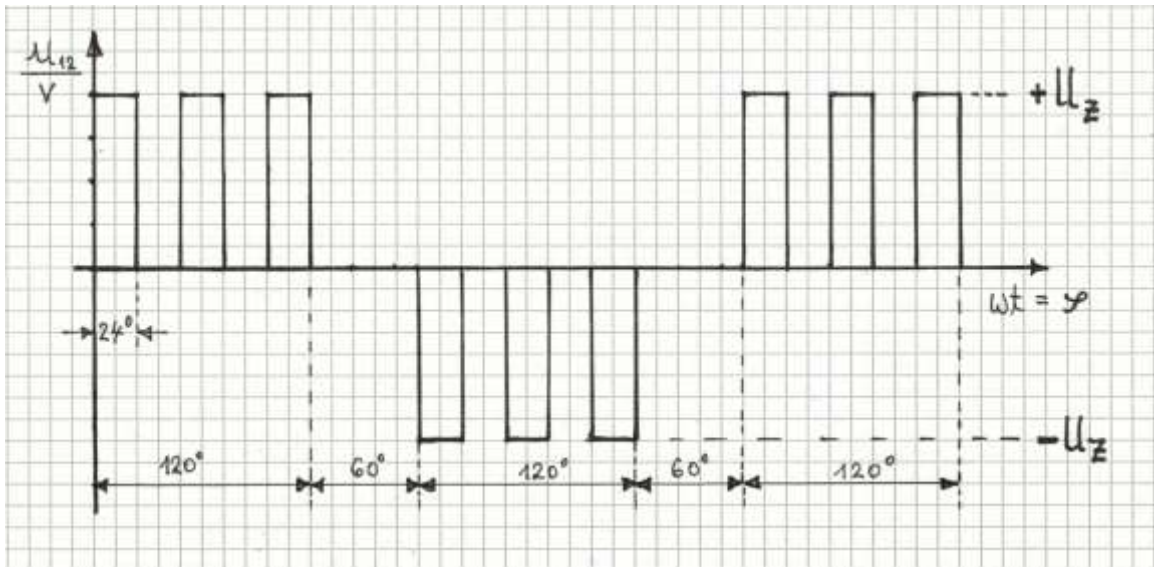
#### **Vorteile:**

- der ungesteuerte, netzseitige Gleichrichter verursacht nur geringe induktive Blindleistung
- die Ausgangsspannung des Umrichters kann über die Pulsbreitenmodulation sehr schnell verändert werden, damit liegt ein dynamisch hochwertiges Stellverfahren vor

#### **Verfahren der Pulsbreitenmodulation:**

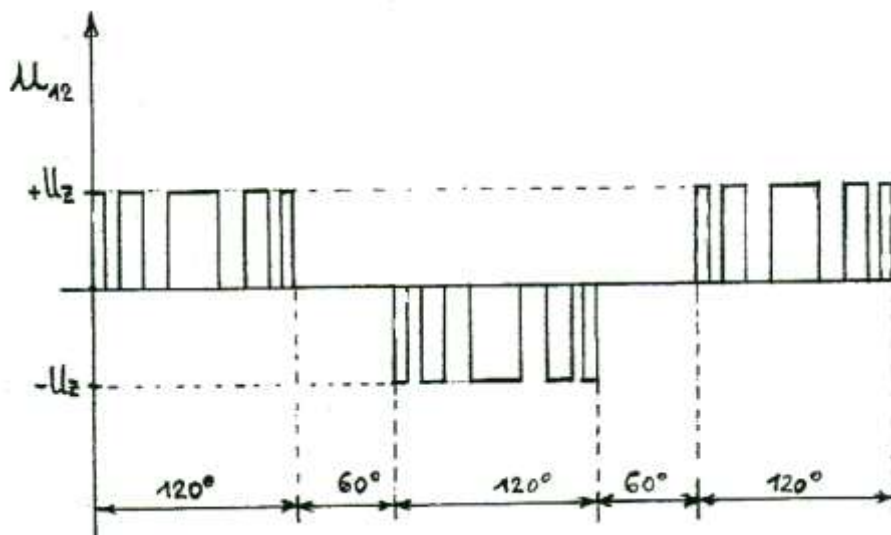
- Rechteck-Dreieck-Modulation
- Sinus-Dreieck-Modulation
- Raumzeiger-Modulation
- Berechnung der Zündzeitpunkte so dass ein möglichst minimales Oberschwingungsspektrum entsteht.

## Beispiel 1: Rechteck-Dreieck-Modulation



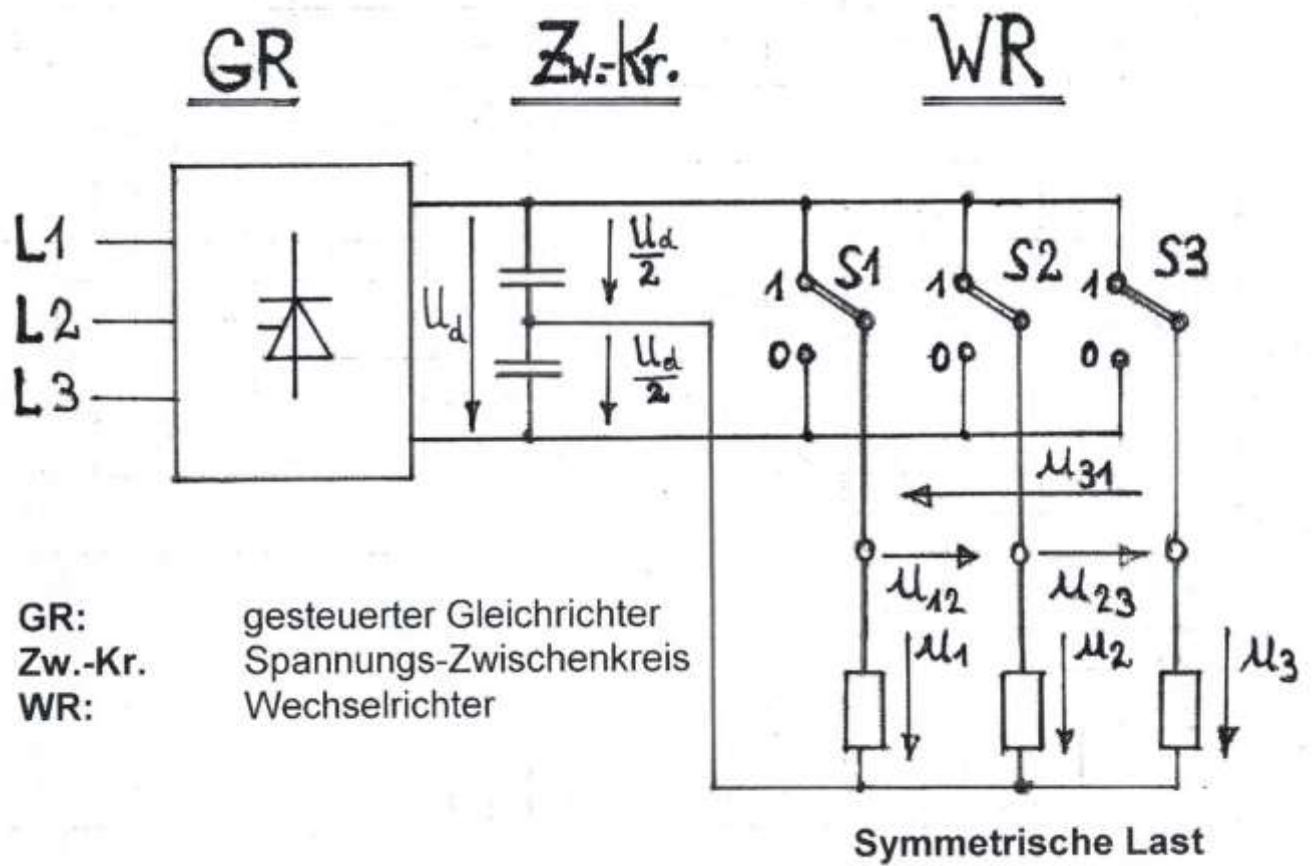
Wie groß ist der Effektivwert  $U_{12}$  der dargestellten Umrichterspannung bei  $U_z = 500 \text{ V}$  ?

## Beispiel 2: Sinus-Dreieck-Modulation

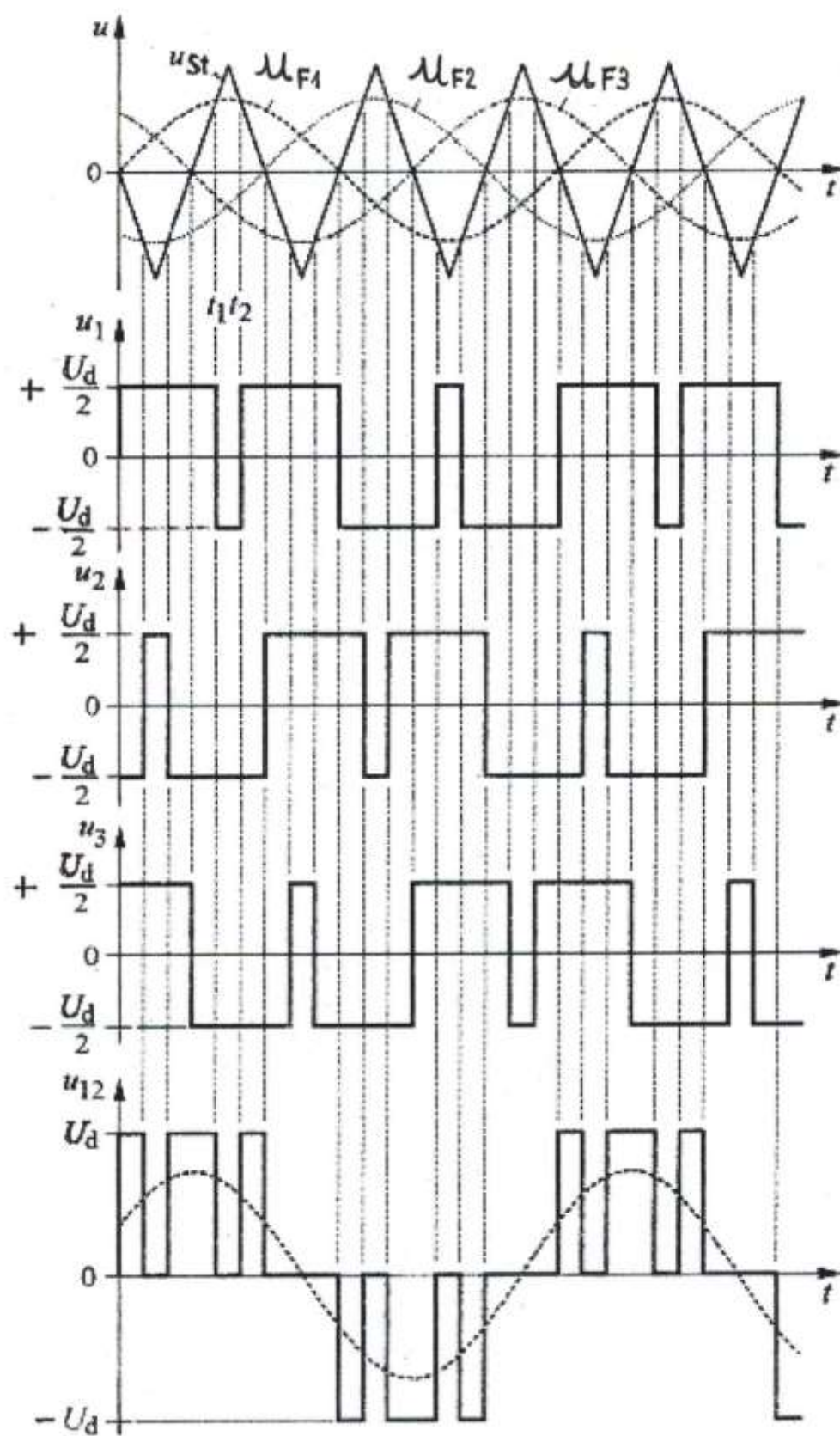


## Sinus-Dreieck-Modulation bei einem dreiphasigen Pulswechselrichter

Schaltung:



## Modulationsverfahren:



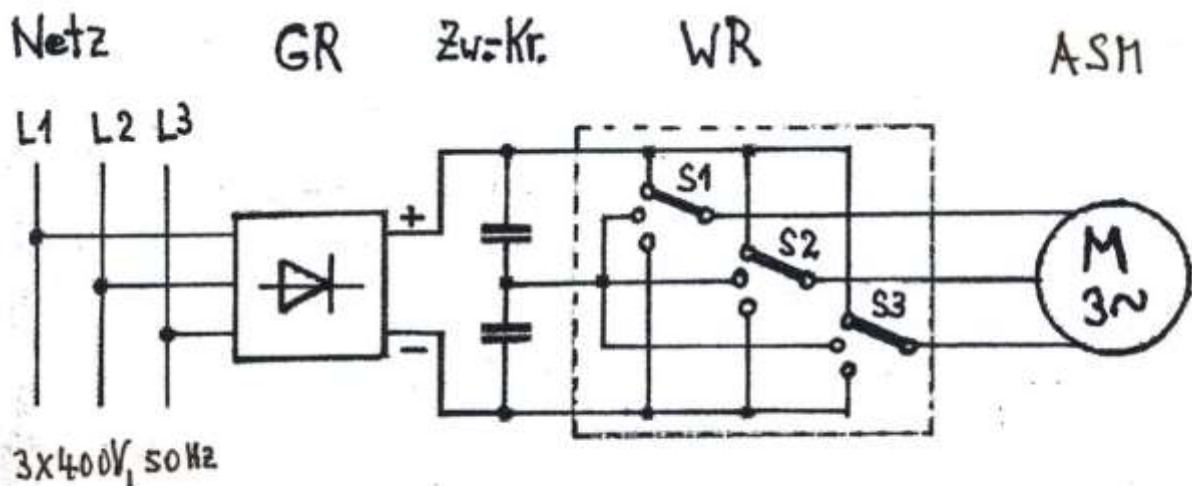


## Raumzeiger - Modulation

Bei der sinusbewerteten Pulsweitenmodulation wird grundsätzlich das Ziel verfolgt in jedem einzelnen Leiter einen möglichst sinusförmigen Strom zu erreichen. Nicht besonders beachtet werden dagegen die zwischen den drei Wicklungssträngen bestehenden Wechselwirkungen.

Bei dem nachstehend beschriebenen, von der sinusbewerteten Pulsweitenmodulation abweichenden Verfahren steht die Erzielung eines guten Maschinenrundlaufs im Vordergrund. Dabei geht man davon aus, dass bei drei vorhandenen Schaltern - jeder Schalter besitzt zwei Schalterstellungen - insgesamt **8 Schaltzustände** möglich sind. Bei zwei dieser Schaltzustände, wenn alle Ausgangsleitungen entweder am Pluspol oder am Minuspol der Zwischenkreisspannung liegen, sind die Wicklungen des Motors kurzgeschlossen.

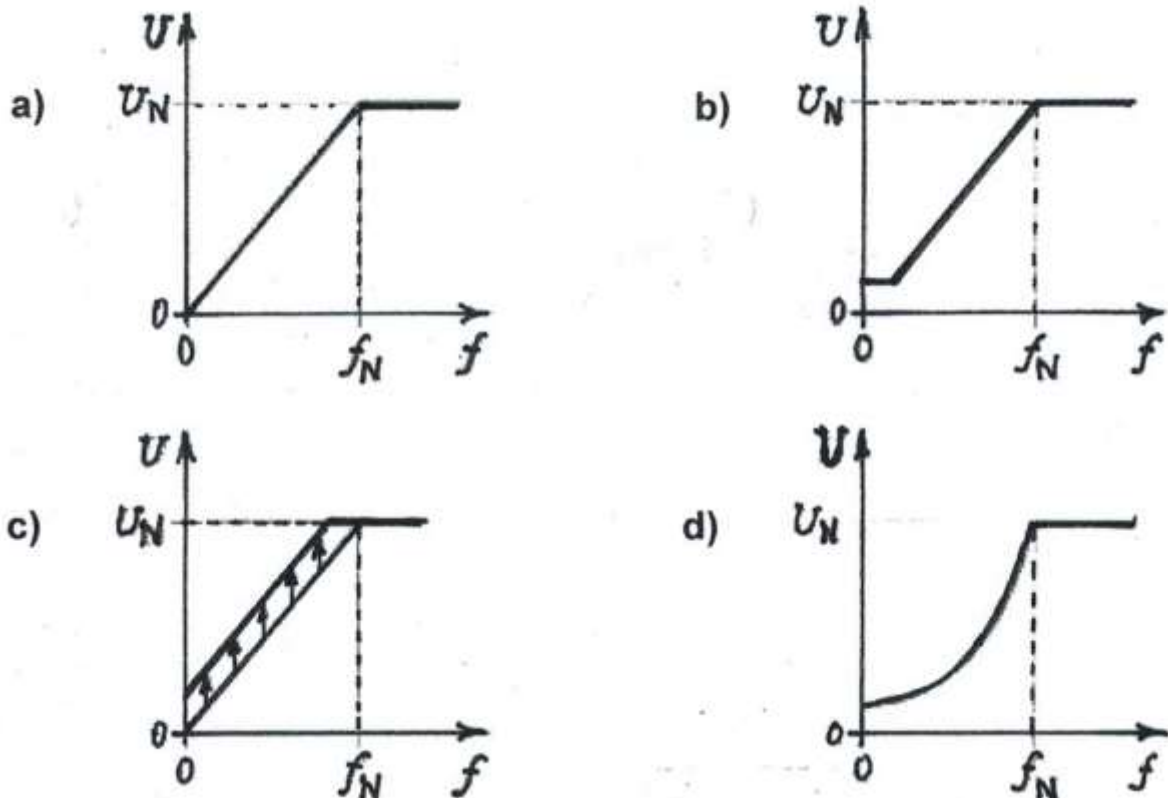
Bei der Steuerung werden geeignete Schaltzustände mit jeweils passender Dauer so aneinandergereiht, dass die **Raumzeiger-Ortskurve** des magnetischen Drehfeldes möglichst genau einen Kreis ergibt und der Raumzeiger zudem mit möglichst konstanter Winkelgeschwindigkeit umläuft. Man bezeichnet ein in dieser durchgeführtes Steuerungsverfahren als Raumzeiger-Modulation. Es führt zu einem guten Rundlauf der Maschine.



Beim diesem Betrieb kann jede Ausgangsleitung entweder mit dem Pluspol oder mit dem Minuspol der Zwischenkreisspannung verbunden werden. Es sind daher jeweils nur **zwei** elektrische Potenziale möglich. Man spricht daher auch von einem Wechselrichter mit Zweipunktverhalten oder von einem **Zwei-Level-Wechselrichter**. Man kann die Schaltung jedoch auch so konzipieren, dass jeder Schalter **drei** Schalterstellungen besitzt. Dann ergeben sich insgesamt 27 mögliche Schaltzustände. Da jede Ausgangsleitung jetzt drei verschiedene elektrische Potenziale annehmen kann, spricht man von einem Wechselrichter mit Dreipunktverhalten oder von einem **Drei-Level-Wechselrichter**.

### 9.3 Spannungs - Frequenz - Kennlinien

Frequenzumrichter zur Speisung von Drehstrommotoren werden grundsätzlich so betrieben, dass die Frequenz  $f$  und die Motorspannung  $U$  proportional zueinander verstellt werden mit  $U/f = \text{konstant}$ . (**Bild a**). Dies führt nach dazu, dass der magnetische Fluss  $\phi$  des Drehfeldes bei jeder Frequenz den gleichen Wert hat. In ausgeführten Schaltungen zeigt sich allerdings, dass beim Betrieb mit höherer Frequenz die Motorspannung oft nicht in beliebigem Maße gesteigert werden kann. Das liegt daran, dass die im Frequenzumrichter eingangsseitig vorhandene Gleichrichterschaltung die dafür notwendige hohe Spannung nicht liefern kann.



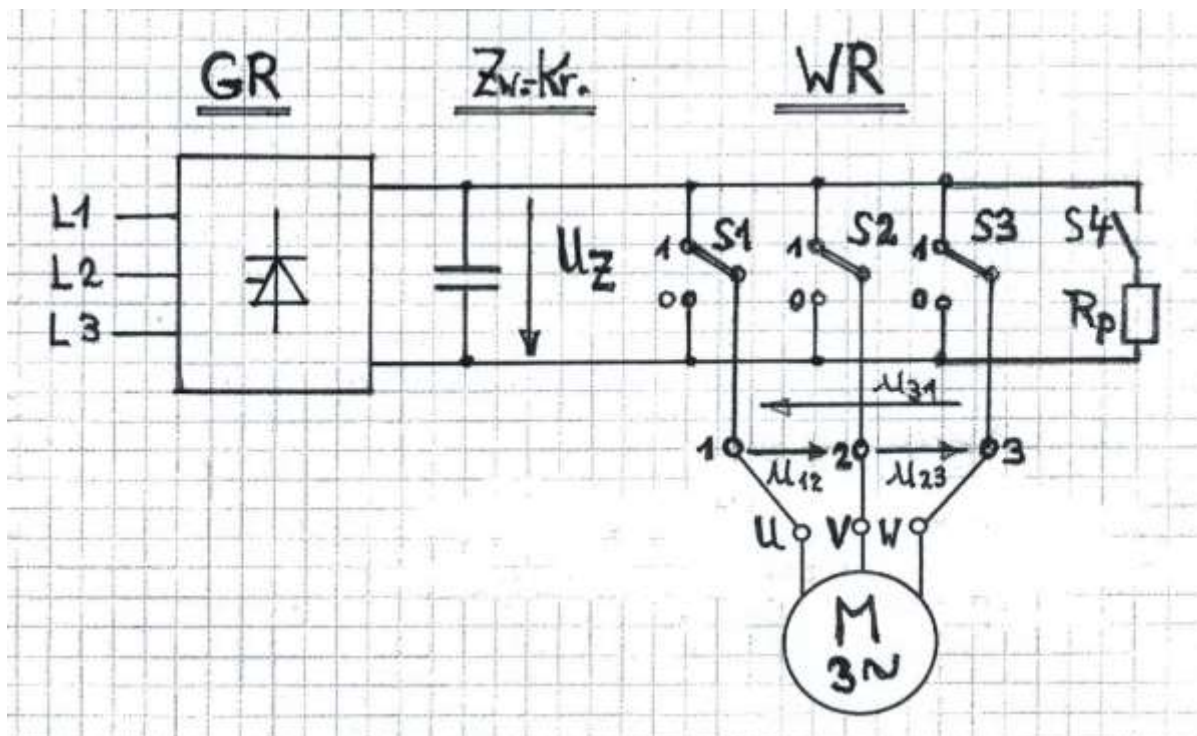
Daher wird oberhalb einer bestimmten Frequenz die Motorspannung in der Regel konstant gehalten. In diesem Fall führt jede Frequenzerhöhung zu einer Feldschwächung. Zu beachten ist hierbei, dass der Motor - zur Vermeidung einer thermischen Überlastung - nicht mehr mit dem vollen Drehmoment belastet werden kann. In **Bild b**) ist die beschriebene Abhängigkeit zwischen der Motorspannung  $U$  und der Frequenz  $f$  in idealisierter Form dargestellt.

Diejenige Frequenz  $f_N$ , bis zu der die Spannung  $U$  und die Frequenz  $f$  proportional zueinander verstellt werden, heißt **Eckfrequenz**.  $U_N$  ist die maximal einstellbare Spannung und damit auch diejenige Spannung, die bei Frequenzen oberhalb der Eckfrequenz am Motor liegt.

Die in **Bild a**) angegebene idealisierte Kennlinie wird bei ausgeführten Schaltungen im Allgemeinen abgewandelt. So kann nach **Bild b**) eine Mindestspannung vorgesehen werden, die nicht unterschritten werden kann. Man kann auch nach **Bild c**) die Spannung im gesamten Frequenzbereich  $0 < f < f_N$  anheben, um den an den Wicklungswiderständen des Motors auftretenden Spannungsabfall zu kompensieren. Da bei niedrigen Frequenzen hierbei vor allen Dingen die ohmschen Wicklungswiderstände von Bedeutung sind, spricht man auch von einer **I-R-Kompensation**.

## 9.4 Bremsbetrieb

Wird bei einem **U-Umrichter** die Ausgangsfrequenz verringert, um die Motordrehzahl herabzusetzen, so arbeitet die angeschlossene Maschine vorübergehend als Generator. Dies führt zu einer Abbremsung der Maschine, wobei die gelieferte **elektrische Energie** über die Wechselrichterschaltung **WR** dem Zwischen-kreiskondensator zugeführt wird. Eine Rücklieferung der Energie über die Gleichrichterschaltung **GR** in das Netz ist bei der dargestellten netzgeführten (gesteuerten oder ungesteuerten) Gleichrichterschaltung nicht möglich. Daher besteht die Gefahr, dass die Kondensatorspannung unzulässig hohe Werte annimmt. Der im Bild aus dem Schalter **S4** und dem Widerstand **R<sub>P</sub>** bestehende Zweig dient dazu, den Kondensator bei Bedarf zu entladen und so die Kondensatorspannung zu begrenzen.



Hierbei wird der Schalter **S4** immer dann eingeschaltet, wenn die Kondensatorspannung einen bestimmten vorgegebenen Wert überschritten hat, und ausgeschaltet, wenn ein anderer (niedrigerer) Wert unterschritten worden ist. Dies führt in der Regel dazu, dass im Fall einer Bremsung des Motors der Schalter **S4** in schneller Folge ein- und ausgeschaltet wird. Man bezeichnet die so vorgenommene Pulsung des Kondensatorentladestromes auch als **Choppen** und daher die aus dem Schalter **S4** und dem Widerstand **R<sub>P</sub>** bestehende Anordnung entsprechend als **Brems-Chopper**.

Werden mehrere Motoren aus dem gleichen Gleichspannungs-Zwischenkreis versorgt kann die anfallende Bremsenergie **eines** Motors über den Zwischenkreis den **anderen** Motoren zugeführt und somit genutzt werden. Zur Sicherheit enthält die Schaltung aber auch noch einen **Brems-Chopper**, falls die anfallende Bremsenergie nicht von den parallel liegenden Motoren aufgenommen werden kann.

Wird der Eingangsgleichrichter als netzparallel betriebener **selbstgeführter Stromrichter** ausgeführt oder wird netzseitig ein **netzgeführter, gegenparalleler Gleichrichter** geschaltet, kann die Bremsenergie aus dem Spannungszwischenkreis in das Netz zurückgespeist werden. Man spricht dann von **Nutzbremung**. Brems-Chopper werden in diesem Fall nicht benötigt.