

# Kraftfahrzeugtechnologie

## Wissensspektrum

### Inhalt

- Drehzahländerungsmöglichkeiten bei Gleichstrommotoren
- Drehzahländerungsmöglichkeit bei Drehstrommotoren durch Frequenzumrichtung

## Möglichkeiten der Drehzahländerung bei Elektrogleichstrommotoren

Grundsätzlichkeit:

Jeder Elektromotor versucht in sich selbst eine so hohe Spannung zu induzieren, wie die von außen angelegte Spannung groß ist. Diese Spannung ist allerdings der angelegten Spannung entgegengesetzt. Die Höhe der induzierten Spannung ist abhängig vom Magnetfeld, das den Leiter schneidet (oder umgekehrt), von der Leiterlänge, die dem Magnetfeld ausgesetzt ist und von der Geschwindigkeit, mit dem der Leiter das Magnetfeld schneidet, oder umgekehrt.

Eine Drehzahländerung bei Elektromotoren lässt sich durch verschiedene Arten herbeiführen.

1. Änderung der Ankerspannung
2. Änderung des Magnetfeldstärke der Feldwicklung (Feldschwächung)
3. Kohlebürste
4. PWM – Signal (Pulsweitenmoduliertes Signal)
5. Drehstrommotoren, die durch Frequenzumrichtung in ihrer Drehzahl geändert werden

### zu 1. Änderung der Ankerspannung

Motortyp: Permanentmagnetmotor (Nebenschlussprinzip)

Wird die Ankerspannung vergrößert, so nimmt der Anker einen größeren Strom auf. Dadurch entwickelt er ein größeres Drehmoment und wird solange beschleunigt, bis die steigende induzierte Spannung den Ankerstrom wieder verkleinert. Die Drehzahl steigt auf einen Wert an, bei dem der Ankerstrom seine ursprüngliche Größe erreicht, jetzt hat der Motor das gleiche Drehmoment wie vor der Spannungsänderung. Wird die Ankerspannung verkleinert, reduziert sich sein Drehmoment und die Drehzahl verringert sich dadurch, weil ja jetzt nur noch eine kleinere Gegeninduktionsspannung erzeugt werden braucht.

Eine höhere Selbstinduktionsspannungserzeugung ist durch die Auslegung des Motors nicht möglich (Dauermagnet als Feldmagnetfeld, Leiterlänge im Anker)

Beispiel: Lüftermotor läuft nur noch in der schnellsten Stufe, wenn die Vorwiderstände durchgebrannt sind.

Anmerkung: meistens ist ein thermischer Schutzschalter (silberne Farbe) durchgebrannt, dieser kann in einem Elektronikgeschäft nachgekauft und neu eingelötet werden, danach funktioniert die Drehzahlregelung wieder.



**zu 2. Änderung des Magnetfeldstärke der Feldwicklung (Feldschwächung)**

Motortyp: Nebenschlussmotor mit Feldwicklung (Nebenschlussprinzip)

Durch die Verringerung des Feldstromes tritt eine Feldschwächung der Nebenschlusswicklung ein. Will der Anker seine ursprüngliche Spannung beibehalten, muss er seine Drehzahl erhöhen und bleibt dann konstant.

Der Anker muss bei geringerer Feldliniendichte schneller laufen.

Beispiel: Wischermotor

Abb.: 2 Gleichung für die Berechnung der Induktionsspannungshöhe und Darstellung der Abhängigkeiten

$$U_i = B \cdot l \cdot v \Rightarrow \left[ \frac{\text{Vs} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = \text{V}$$

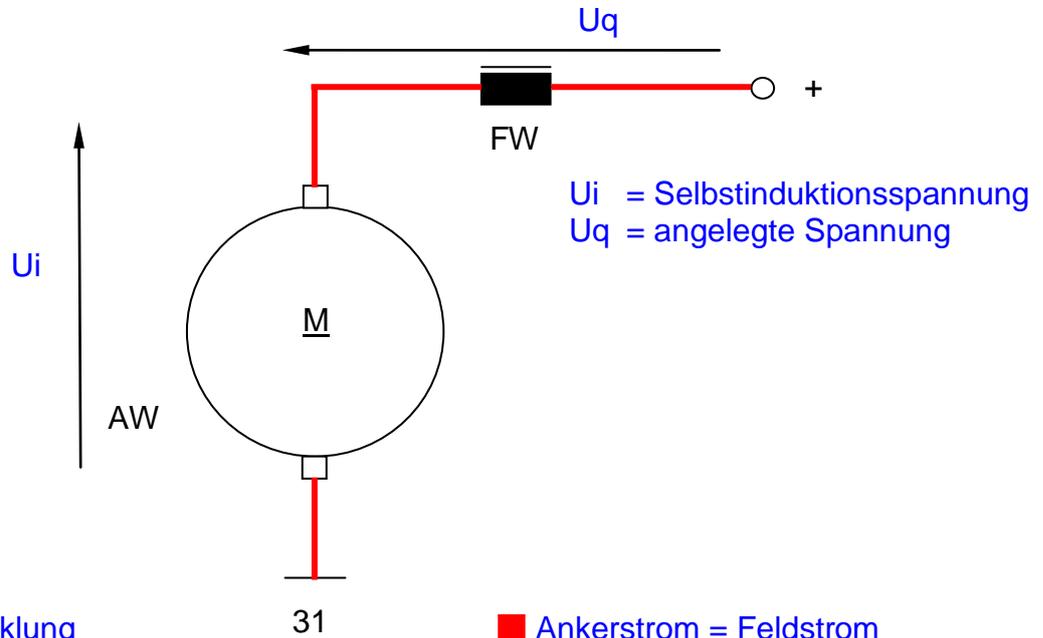
Erläuterungen zur oben stehenden Gleichung:

$U_i$	=	Induktionsspannung	[V]
$B$	=	magnetische Flussdichte	[Vs/m <sup>2</sup> ]
$l$	=	Leiterlänge, die dem Magnetfeld ausgesetzt ist	[m]
$v$	=	Geschwindigkeit mit dem das Magnetfeld den Leiter schneidet, oder umgekehrt	[m/s]

$$U_i = B \cdot l \cdot v \Rightarrow \left[ \frac{\cancel{\text{Vs}} \cdot \cancel{\text{m}} \cdot \cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{m}^2} \cdot \cancel{\text{s}}} \right] = \text{V}$$

Um diese Möglichkeit der Drehzahländerung verstehen zu können, kann als Vergleich der Startermotor im Reihenschlussprinzip herangezogen werden.

Abb.: 3 Reihenschlussmotor, Anker und Feldwicklung sind in Reihe geschaltet



FW = Feldwicklung

■ Ankerstrom = Feldstrom

AW = Ankerwicklung

Dadurch, dass der Anker in sich eine gleich große Spannung induzieren will wie die von außen angelegte Spannung groß ist, erhöht er seine Drehzahl stetig. Steigt nun die induzierte Ankerspannung an, (sie ist ja bekanntlich der angelegten Spannung entgegengesetzt) vermindert sich die Stromstärke und damit die Magnetfeldstärke (Feldschwächung). Will der Anker die gleiche Spannung wie die angelegte Spannung erreichen, muss er weiterhin seine Drehzahl erhöhen.

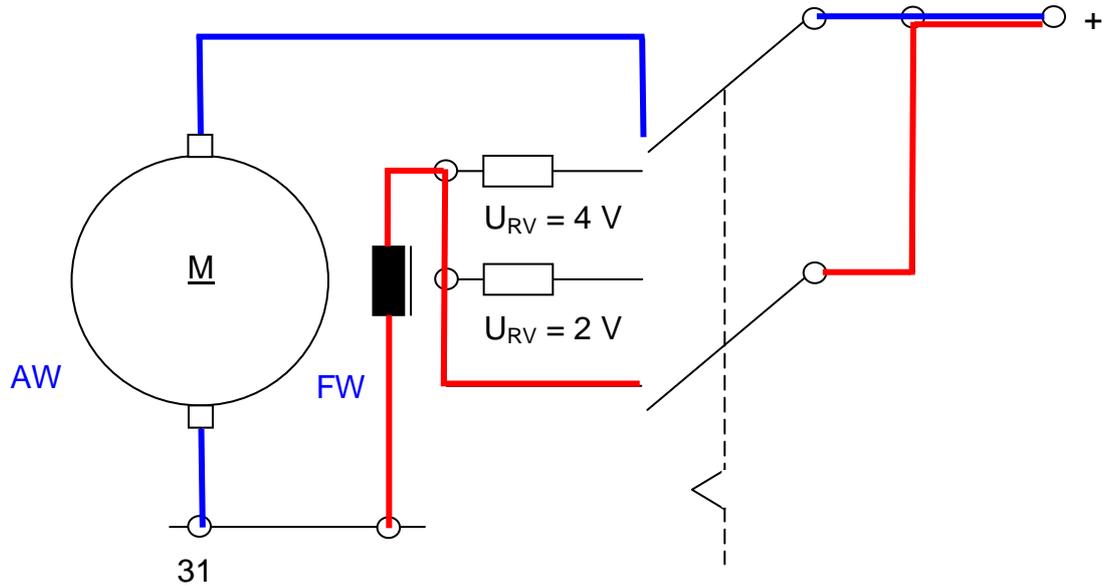
Anmerkung: soll die Stromaufnahme bei einem Starter gemessen werden, muss hierzu der Motor blockiert werden,

- höchster Gang einlegen
- Bremse treten
- maximal 5s starten
- gemessener Stromwert ablesen

**Anmerkung:**

Diese Vorgehensweise ist mittlerweile nicht mehr gestattet, die heutigen Startermotoren sind als permanenterregte Motoren ausgeführt, zudem sind die Planetenräder des Planetengetriebevorgelege aus Kunststoff, diese werden bei einem solchen Test zerstört, deshalb verboten.

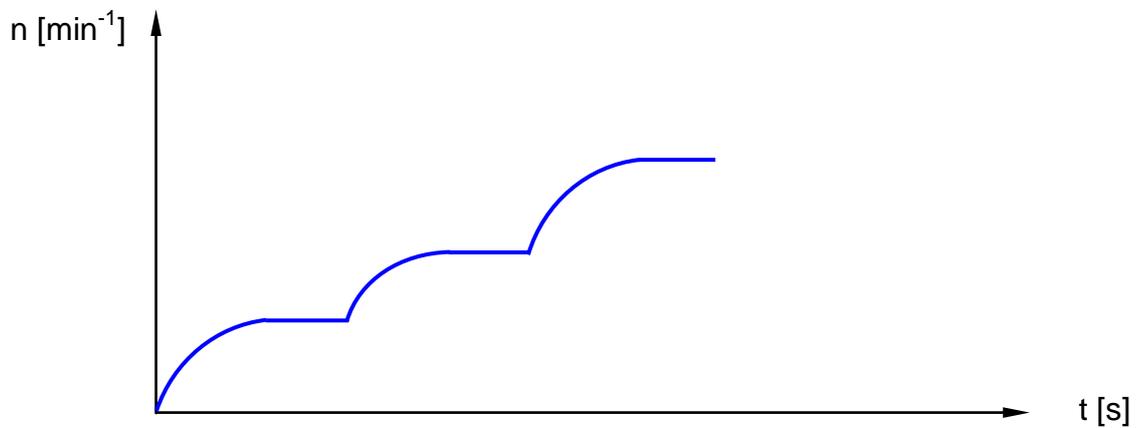
Abb.: 4 Elektromotor mit Feldwicklung, Drehzahländerung durch Vorschalten von unterschiedlichen Widerständen vor die Feldwicklung



Anliegende Spannung an der Feldwicklung in der

1. Stufe	= 12 V
2. Stufe	= 10 V
3. Stufe	= 8 V

Abb.: 4.1 Drehzahldiagramm, beim Feldschwächungsprinzip



Notizen:

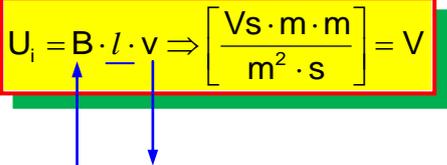
■ Ankerstrom

■ Feldstrom

Wenn man sich noch einmal (wieder) die Gleichung für die Erzeugung einer Induktionsspannung, Induktion der Bewegung hervorholt,

$$U_i = B \cdot l \cdot v \Rightarrow \left[ \frac{\text{Vs} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = \text{V}$$

ist nachvollziehbar, dass, wenn das Magnetfeld verstärkt wird, braucht der Anker ja nicht so hohe Drehzahlen fahren/drehen, um die von außen angelegte Spannung zu erreichen.

$$U_i = B \cdot l \cdot v \Rightarrow \left[ \frac{\text{Vs} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = \text{V}$$


**zu 3. 3. Kohlebürste**

Motortyp: Permanentenerregter Motor (Nebenschlussprinzip)

Durch eine 3. Kohlebürste wird die wirksame Leiterlänge des Ankers verringert, da der Anker in sich selbst eine so hohe Spannung induzieren will, wie die von außen angelegte Spannung groß ist, erhöht er seine Drehzahl so lange, bis er die zuvor induzierte Spannung erreicht hat und hält sie dann konstant.

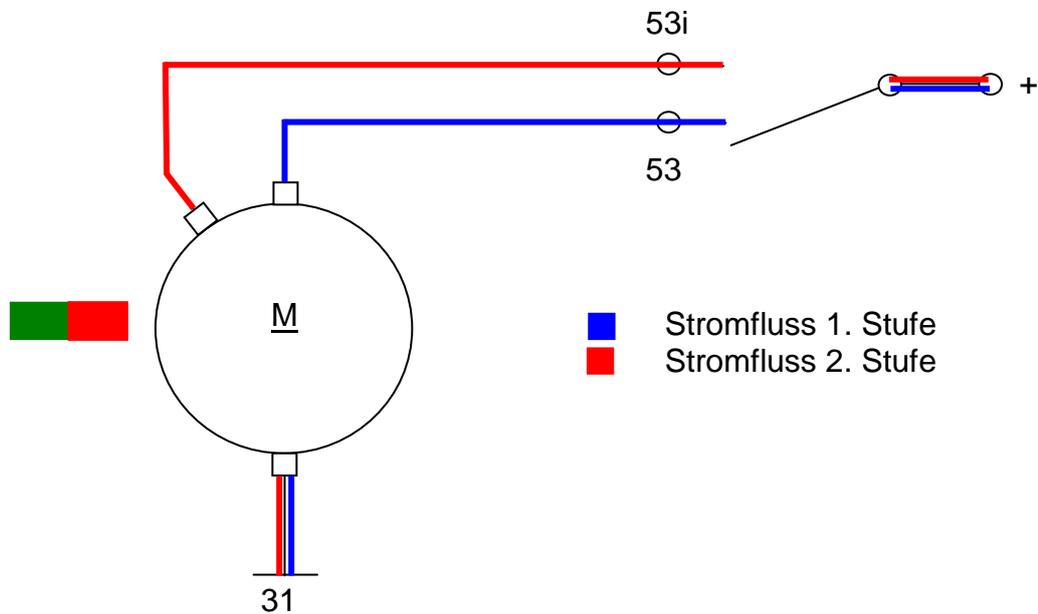
Wird nun von der ersten Stufe Kl. 53 auf die zweite Stufe Kl. 53i des Wischermotors umgeschaltet, so wird die wirksame Leiterlänge, die dem Magnetfeld ausgesetzt ist, verkürzt. Da der Motor bestrebt ist, seine ursprüngliche Spannung beizubehalten, erhöht er seine Drehzahl, bis er die Spannung aus der ersten Stufe wieder erreicht hat und behält diese dadurch erhöhte Drehzahl jetzt auch bei.

Beispiel: Wischermotor

Abb.: 5 Gleichung für die Berechnung der Induktionsspannungshöhe und Darstellung der Abhängigkeiten

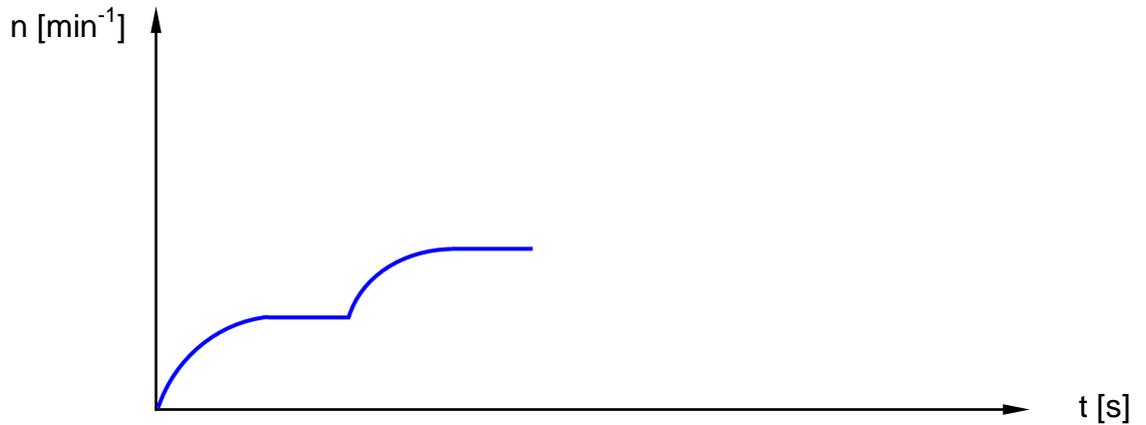
$$U_i = \underline{B} \cdot \underline{l} \cdot \underline{v} \Rightarrow \left[ \frac{\text{Vs} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = \text{V}$$

Abb.: 6 Elektromotor mit Permanentenerregung, Drehzahländerung durch die Verwendung einer dritten Kohlebürste



Nachteil: es kann hierdurch nur ein zweistufiger Motor konzipiert werden

Abb.: 6.1 Drehzahldiagramm, Drehzahländerung durch Verwendung einer dritten Kohlebürste



Notizen:

Diese Art der Drehzahländerung findet man heute so gut wie überhaupt nicht mehr.

Man kann mit dieser Technik nur 2 Drehzahlen generieren.

---

---

---

---

---

---

---

**zu 4. PWM – Signal (Pulsweitenmoduliertes Signal)**

Motortyp: Permanentenerregter Motor (Nebenschlussprinzip)

Dieses Drehzahländerungsprinzip ist vergleichbar mit dem Prinzip der Ankerspannungsänderung.

Es findet hier eine stufenlose Änderung der Eingangsspannung am Anker durch ein Pulsweitenmoduliertes Signal statt. D. h., die Drehzahl des Motors lässt sich dadurch stufenlos regeln. Möchte man eine hohe Drehzahl des Motors erreichen, verändert man das Impuls/Pausen – Verhältnis zu Gunsten von  $t_i$ . Ist keine hohe Drehzahl erforderlich, ändert man das Verhältnis zu Gunsten von  $t_p$ .

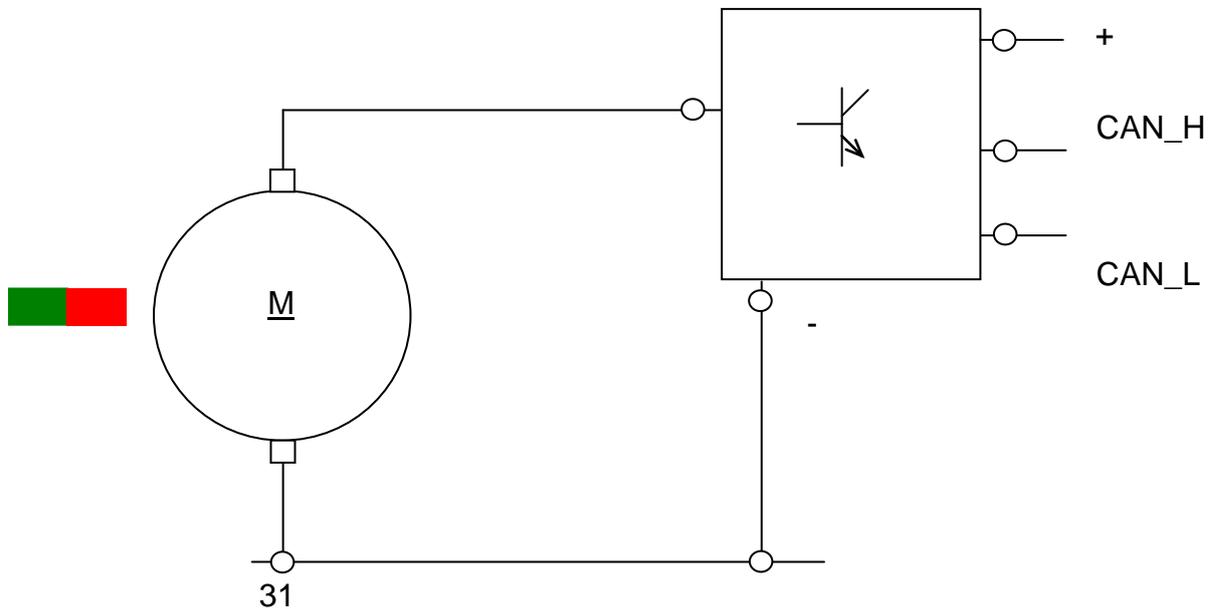
Wenn nun eine hohe Drehzahl erforderlich ist, wählt man ein  $t_i/t_p$  von z. B. 80/20, das heißt, 80 % von 100 % liegt jetzt 12 V am Anker. Dadurch nimmt der Anker einen größeren Strom auf. Er entwickelt ein größeres Drehmoment und wird solange beschleunigt, bis die steigende induzierte Spannung den Ankerstrom wieder verkleinert. Die Drehzahl steigt auf einen Wert an, bei dem der Ankerstrom seine ursprüngliche Größe erreicht, jetzt hat der Motor das gleiche Drehmoment wie vor der Spannungsänderung.

Eine höhere Selbstinduktionsspannungserzeugung ist durch die Auslegung des Motors nicht möglich (Dauermagnet als Feldmagnetfeld)

Beispiele: Wischermotoren, Lüftermotoren, Kraftstoffförderpumpen

Wischermotor und Steuergerät stellen eine Baueinheit dar und werden über ein CAN BUS – Signal angesteuert.

Abb.: 7 Elektromotor mit Permanentenerregung Drehzahländerung durch PWM



$t_i$  = Impulsdauer

$t_p$  = Pausendauer

Abb.: 7.1 Drehzahldiagramm, Drehzahländerung durch PWM – Signal

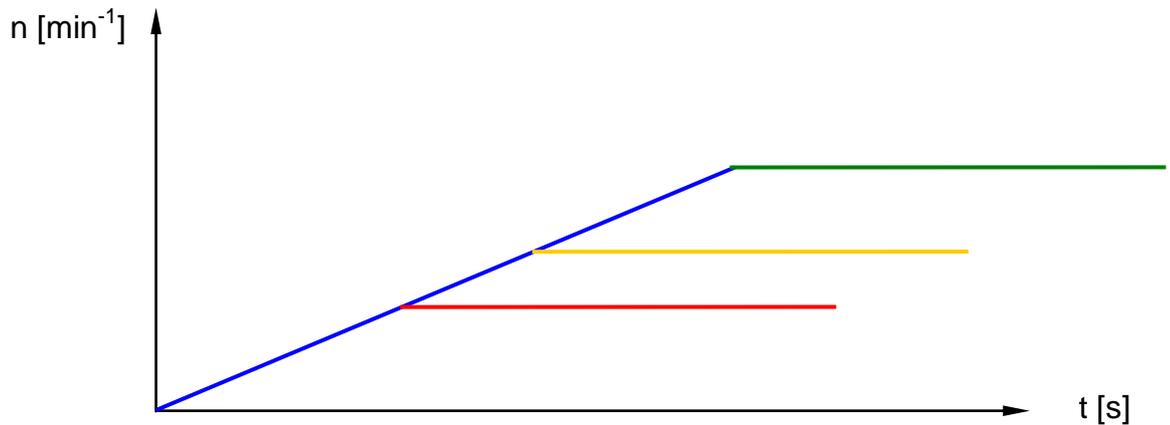


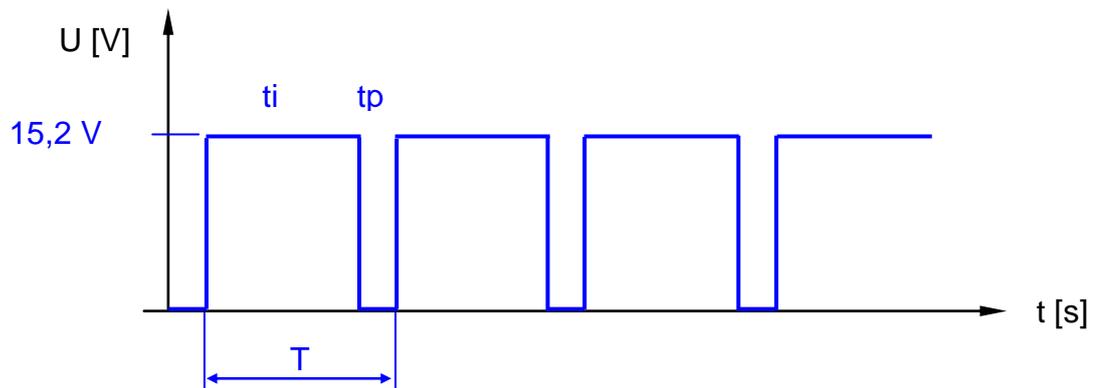
Abb.: 7.2 Gleichung für die Berechnung der wirksamen Ankerspannung, Effektivwert mit dem Multimeter gemessen

$$U_{\text{eff}} = U_s \cdot \sqrt{\frac{t_i}{T}} \Rightarrow \left[ V \cdot \sqrt{\frac{s}{s}} \right] \Rightarrow V \cdot \sqrt{\frac{1}{1}} = V \cdot \sqrt{1} = V \cdot 1 = V$$

Erläuterung:

- |                  |   |  |     |
|------------------|---|--|-----|
| $U_{\text{eff}}$ | = | Effektivwert der Spannung, mit dem Multimeter gemessen, entspricht der wirksamen Ankerspannung | [V] |
| $U_s$            | = | Spannungswert Spitze, entspricht der Bordnetzspannung  | [V] |
| $t_i$            | = | Impulsdauer  | [s] |
| $T$              | = | Periodendauer  | [s] |

Abb.: 8 PWM-Signal für die Ansteuerung eines Gleichstrommotors



Maßstab Y - Achse = 10 mm  $\hat{=}$  6 V

Maßstab X - Achse = 25 mm  $\hat{=}$  1 Periode = 100 %

Es soll die Kennlinie einer PWM – gesteuerten Drehzahländerung gezeichnet werden.

Nachfolgend aufgeführte Daten stehen Ihnen zur Verfügung:

Die Frequenz beträgt 10 Hz,  $T \hat{=}$  25 mm = 100 %, Bordnetzspannung = 15,2 V, Maßstab Y – Achse = 10 mm  $\hat{=}$  6 V, das Impuls/Pausen – Verhältnis beträgt 80/20, zur besseren Verifizierbarkeit (Nachvollziehbarkeit) zeichnen Sie bitte 3 Perioden.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{10} \Rightarrow \left[ \frac{1}{\frac{1}{s}} \right] \Rightarrow \frac{1 \cdot s}{1} = s$$

$$T = \underline{\underline{0,1s}}$$

$$100\% = 0,1s$$

$$80\% = Xs \hat{=}$$

$$ti = \frac{80 \cdot 0,1}{100} \Rightarrow \left[ \frac{\% \cdot s}{\%} \right] = s$$

$$ti = \underline{\underline{0,08s}}$$

$$U_{\text{eff}} = U_s \cdot \sqrt{\frac{ti}{T}}$$

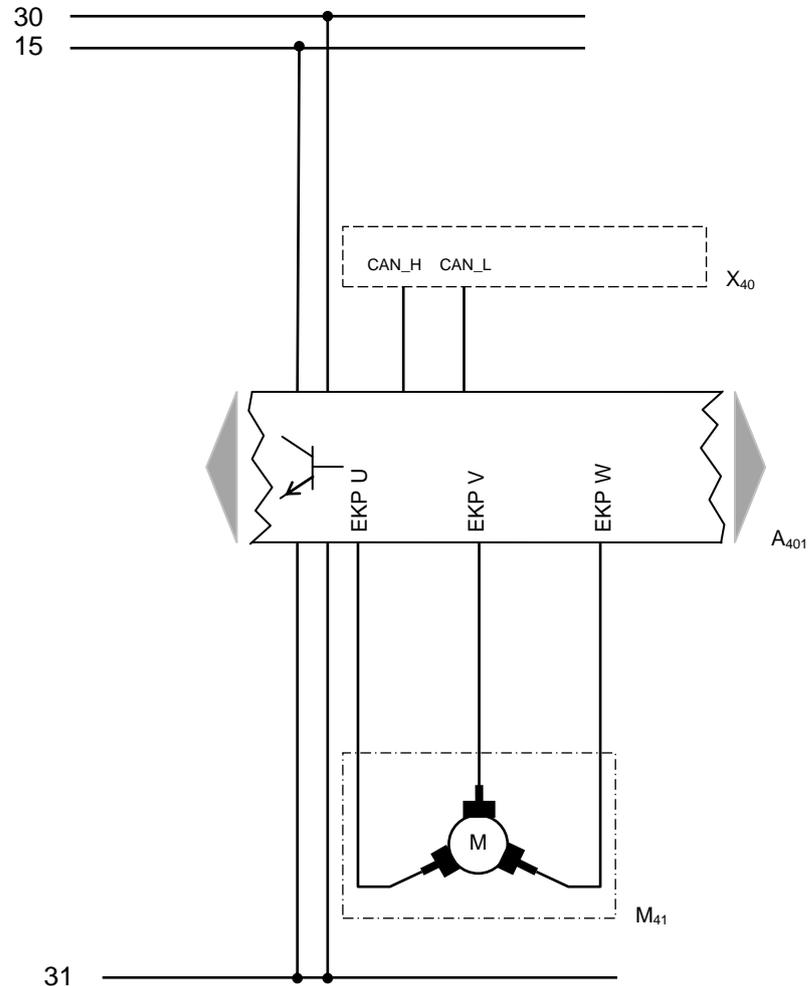
$$U_{\text{eff}} = 15,2 \cdot \sqrt{\frac{0,08}{0,1}} \Rightarrow \left[ V \cdot \sqrt{\frac{s}{s}} = V \cdot \sqrt{\frac{1}{1}} = V \cdot \sqrt{1} \right] = V$$

$$U_{\text{eff}} = \underline{\underline{13,59 V}}$$

Das Verhältnis  $ti/tp$  wird als Tastgrad bezeichnet

**zu 5. Drehzahländerung durch Frequenzumrichtung**

Abb.: 9      Prinzipielle Darstellung einer Ansteuerung des Drehstrommotors einer Kraftstoffförderpumpe



A401	Steuergerät Kraftstoffpumpe
M41	Kraftstoffpumpe
X <sub>40</sub>	Potenzialverteiler Antriebs-CAN

Manche Hersteller bauen mittlerweile Drehstrommotoren als Kraftstoffförderpumpen ein. Ich denke, die Reparatur an solchen Systemen ist nur noch in einer Vertragswerkstatt möglich, so bekommen die Hersteller ihre Werkstätten ausgelastet.

**Funktionsprinzip:**

Bekanntlich benötigt man für die Drehbewegung zwei Magnetfelder, einmal das Ankerfeld und das Feldfeld. Als Ankerfeld verwendet man in den meisten Fällen einen Permanentmagneten, der im Anker eingebaut ist, dort löst sich Nord- und Südpol periodisch ab. Hier ist schon zu sagen, es existieren keine Kohlebürsten und damit hier schon mal kein Verschleiß. Das zweite Magnetfeld wird durch den Stromfluss durch die drei Statorwicklungen generiert. Durch diese 3 Wicklungen lässt man nach einander einen Strom fließen, der um den Leiter ein Magnetfeld erzeugt, dieses Magnetfeld und der Permanentmagnet des Ankers beeinflussen sich gegenseitig, dass es zur Ablenkung und damit zur Drehbewegung kommt. Damit eine Drehzahländerung ermöglicht wird, werden die drei Spulen in ihrer Ansteuerung mit zunehmender Frequenz angesteuert, wenn man also eine höhere Drehzahl erreichen möchte, im Umkehrschluss bedeutet es, dass durch eine kleinere Frequenz der Ansteuerung, die Drehzahl abnimmt.

Vereinfacht ausgedrückt, die Spulen werden, zum Beispiel beginnend mit der Spule U dann die Spule V und zum Schluss Spule W angesteuert, so dreht sich das Magnetfeld des Stators kontinuierlich um 360°, der Anker mit seinem 2. Magnetfeld dreht sich dadurch.

**Fazit:**

Mit einer Frequenzumrichter-Technik werden die 3 Spulen bei einem Drehstrommotor nach und nach angesteuert, dieses Ansteuern kann mit dieser Technik frequenzmäßig erhöht und/oder vermindert werden.

Dieses gleiche Prinzip wendet man beim elektromotorischen Antrieb bei E-Fahrzeugen an. Als Leistungstransistoren für die hohen Ströme, verwendet man IGBT Transistoren, (isoliertes Gate Bipolarer Transistor), sie können bis 3000 A Strom schalten. Schaltung, siehe nächste Seite.

Abb.: 10 Liniendiagramm Drehstrom

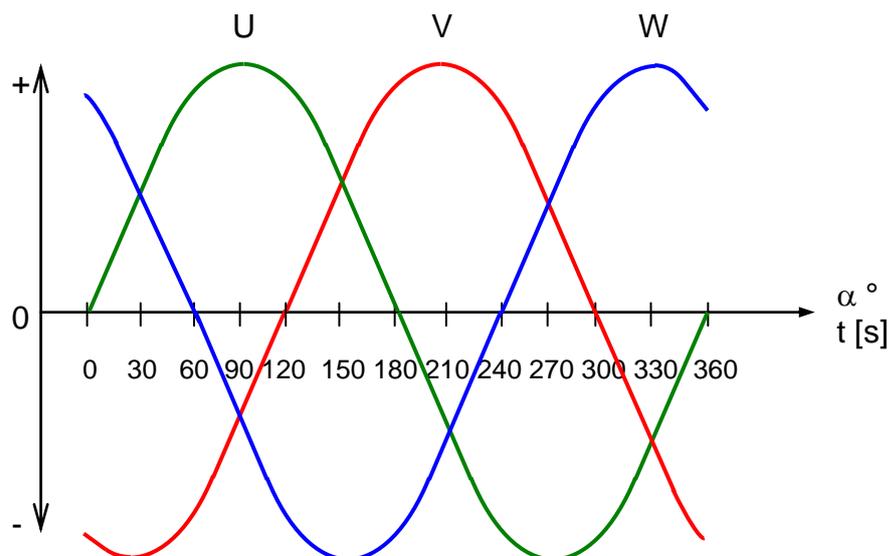


Abb.:11 Blockschaltbild Drehstrommotor/-generator mit Inverter und HV-Akku

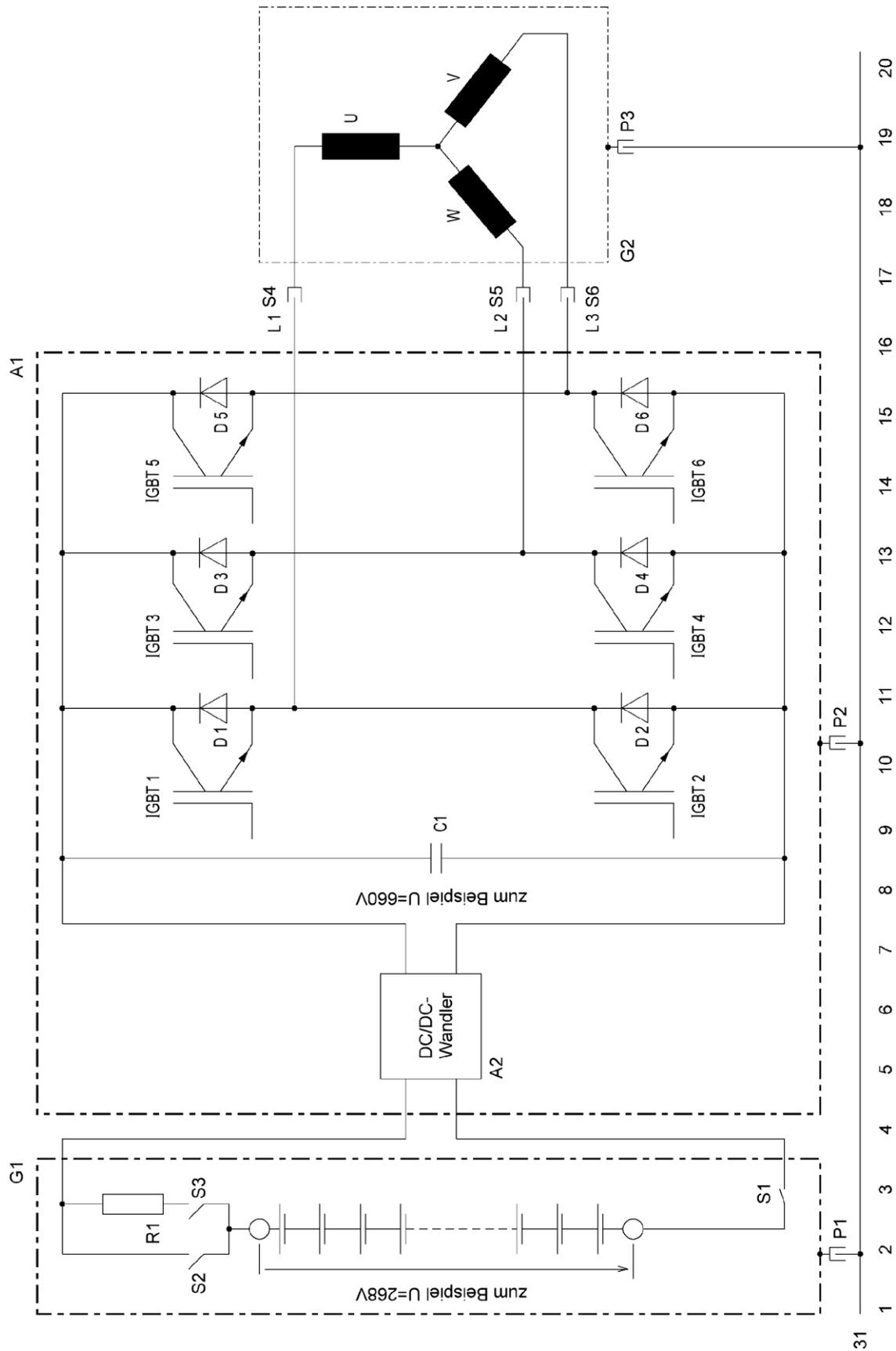




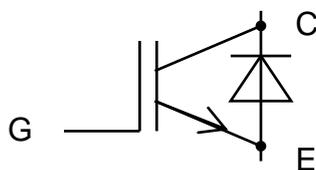
Abb.: 11.1 Tabelle 1 Bauteilliste Blockschaltbild Drehstrommotor/-generator

Bauteil	Benennung	Strompfad
A <sub>1</sub>	Inverter	7 – 18
A <sub>2</sub>	DC/DC Wandler	5
C <sub>1</sub>	Kondensator	8 – 9
D <sub>1</sub>	Gleichrichter-/Freilaufdiode für IGBT1	11
D <sub>2</sub>	Gleichrichter-/Freilaufdiode für IGBT2	11
D <sub>3</sub>	Gleichrichter-/Freilaufdiode für IGBT3	13
D <sub>4</sub>	Gleichrichter-/Freilaufdiode für IGBT4	13
D <sub>5</sub>	Gleichrichter-/Freilaufdiode für IGBT5	15
D <sub>6</sub>	Gleichrichter-/Freilaufdiode für IGBT6	15
G <sub>1</sub>	HV-Batterie	1 – 3
G <sub>2</sub>	Drehstrommotor/-generator mit permanenterregtem Rotor	17 – 20
L1	Leistungsanschluss Drehstrommotor/-generator Spule U	17
L2	Leistungsanschluss Drehstrommotor/-generator Spule W	17
L3	Leistungsanschluss Drehstrommotor/-generator Spule V	17
P <sub>1</sub>	Potenzialausgleich für die HV Batterie	2
P <sub>2</sub>	Potenzialausgleich für den Inverter	10
P <sub>3</sub>	Potenzialausgleich für den Drehstrommotor/-generator	19
U, V,W	Ständerwicklungsspulen	18 – 20
R <sub>1</sub>	Stromerfassungswiderstand (shunt)	3
S <sub>1</sub>	Hauptschalter, gehört zur Pilotlinie	3
S <sub>2</sub>	Pilotlinienschalter, gehört zur Pilotlinie	2
S <sub>3</sub>	Pilotlinienschalter, gehört zur Pilotlinie	3
T <sub>1</sub>	Endstufe IGBT1	10
T <sub>2</sub>	Endstufe IGBT2	10
T <sub>3</sub>	Endstufe IGBT3	12
T <sub>4</sub>	Endstufe IGBT4	12
T <sub>5</sub>	Endstufe IGBT5	14
T <sub>6</sub>	Endstufe IGBT6	14

Der Akku liefert grundsätzlich Gleichstrom, dieser Gleichstrom wird durch die Ansteuerung der IGBT's in einen Drehstrom umgewandelt, mit diesem erzeugtem Drehstrom werden jetzt die drei Spulen des Motors angesteuert. Mit Zunahme der Ansteuerfrequenz dreht sich der Motor schneller und umgekehrt, mit Abnahme der Ansteuerfrequenz verringert sich die Drehzahl.

Wird der Motor nicht zum Antrieb verwendet, dient der Drehstrommotor als Drehstromgenerator, hier sprechen wir von Rekuperation, die gleiche Komponente Drehstrommotor liefert jetzt elektrische Energie als Drehstromgenerator. Diese drei Wechselspannungen (Drehströme) werden durch die parallel zu den beiden Anschlüssen Kollektor und Emitter des IGBT's vollweg gleichgerichtet, genauso wie bei einem normalen Drehstromgenerator.

Abb.: 12 Darstellung eines IGBT mit Gleichrichter-/Freilaufdiode



- C Kollektor
- E Emitter
- G Gate

Guten Erfolg beim Verstehen der technischen Sachverhalte wünscht der Autor

Horst Weinkauf

Sollten noch Fragen dazu vorhanden sein, nehmen Sie, wenn Bedarf vorhanden ist, Kontakt über die Netzadresse/Kontakt mit mir auf.  
<http://www.Horst-Weinkauf.de>