

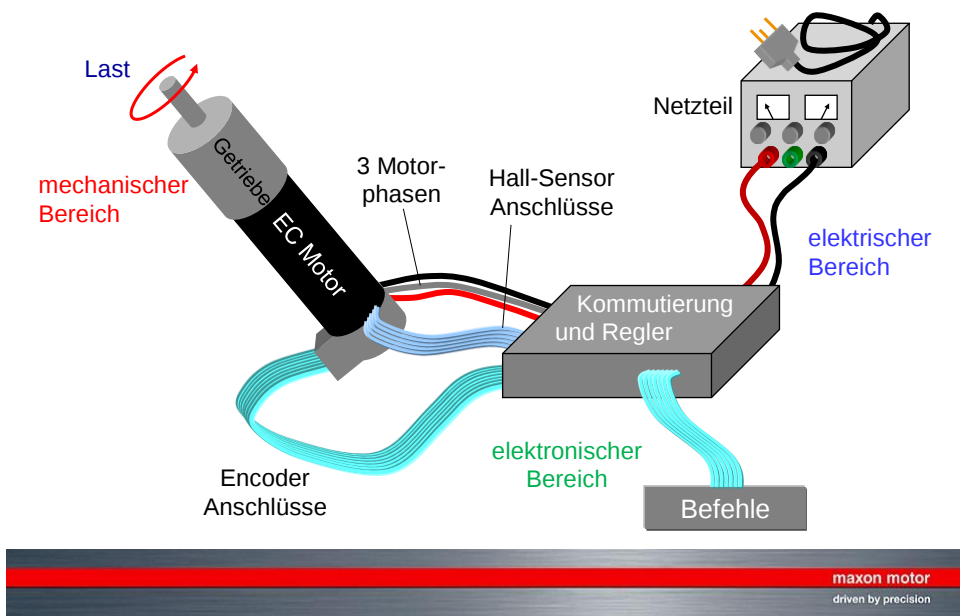
maxon EC motor Bürstenlose DC Motoren: Eine Einführung

- **Varianten: maxon EC Motorfamilien**
- **Gemeinsamkeiten**
 - Funktionsprinzip
 - Wicklungsbeschaltung, Eisenverluste
- **Elektronische Kommutierungssysteme**
 - Blockkommutierung mit und ohne Hallsensoren
 - Sinuskommutierung
- **Vergleich mit DC-Motoren mit Bürsten**

© 2010, maxon motor ag, Sachseln, Schweiz

maxon motor
driven by precision

Komponenten eines EC Antriebssystems



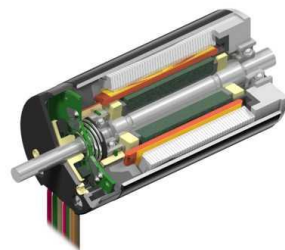
maxon motor
driven by precision

Bürstenloser DC-Motor

- Namen: EC-Motor, BLDC-Motor
- Motorverhalten wie DC-Motor
 - Aufbau ähnlich einem Synchronmotor (3-phasige Statorwicklung, rotierender Magnet)
 - Bestromung der 3 Phasen abhängig von Rotorposition
- Hauptvorteile: höhere Lebensdauer, höhere Drehzahl
- nutenlose Wicklungen
 - ähnliche Vorteile wie eisenlose DC-Motoren
 - kein magnetisches Rastmoment, weniger Vibration
- steigende Attraktivität: Kosten, Grösse, Magnete



Teil 1: Aufbau der maxon EC-Motorfamilien

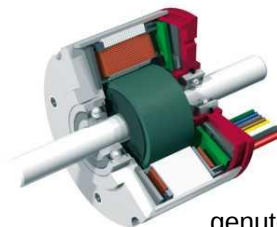


nutenlos



genuteter
Aussenläufer

- Gemeinsamkeiten
 - 3-phasige Wicklung im Stator (3 Wicklungsanschlüsse)
 - rotierender Permanentmagnet aus NdFeB
 - vorgespannte Kugellager
 - elektronische Kommutierung

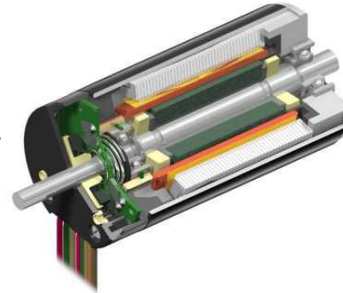
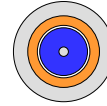


genuteter
Innenläufer



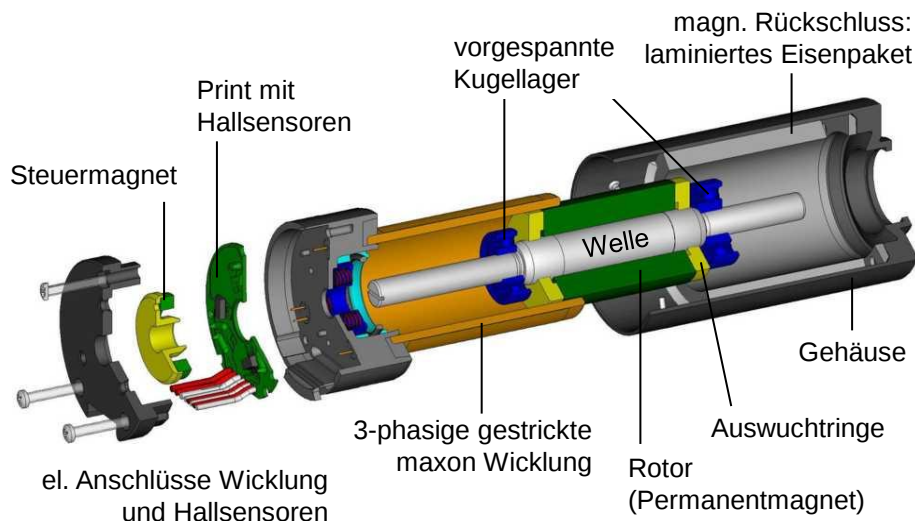
maxon EC motor: Eisenloser Aufbau

- Design mit eisenloser maxon Wicklung
 - Innenläufer mit 1 oder 2 Polpaaren
- maxon EC motor
 - viele Typen: z.B. kurz - lang, sterilisierbar, integrierte Elektronik, ...
 - typisch für hohe Drehzahlen
- maxon EC-max
 - Philosophie: Zuverlässiger Motor zu moderaten Kosten
- maxon EC-4pole
 - Philosophie: Der stärkstmögliche Motor



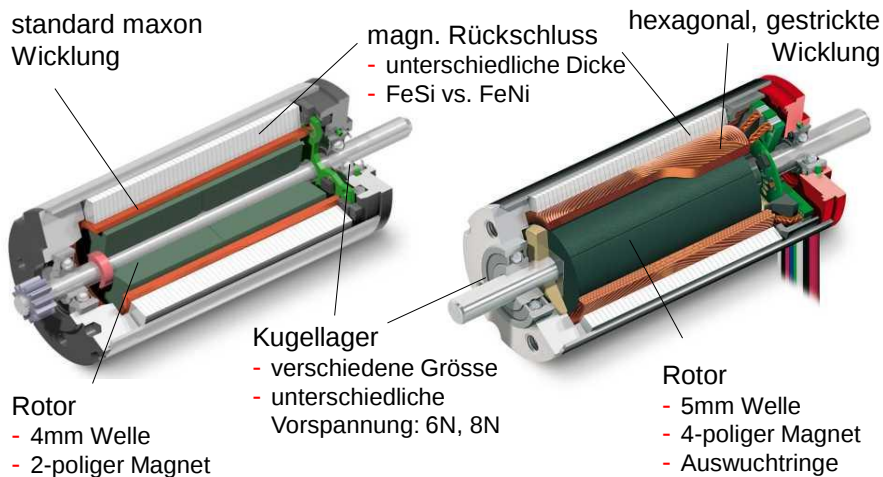
maxon motor
driven by precision

maxon EC motor



maxon motor
driven by precision

EC-max 30 - EC-4pole 30



maxon motor
driven by precision

EC-max: Aufbau, Eigenschaften

Philosophie: Zuverlässiger Motor zu moderaten Kosten

- standard maxon Wicklung
 - nur Sternschaltung möglich
 - nicht auf höchste Leistung optimiert
- Hallsensoren messen direkt den Leistungsmagnet
 - ohne Steuermagnet
 - spezieller Prozess zur Ausrichtung der Hallsensoren auf die Wicklung
- keine Auswuchtringe
 - sehr hohe Drehzahlen sind nicht möglich (bis etwa 12 - 20'000 rpm)
- vorgespannte Kugellager
- kurze und lange Version pro Durchmesser



maxon motor
driven by precision

EC-4pole: Aufbau, Eigenschaften

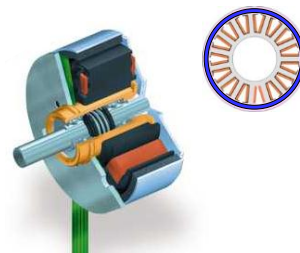
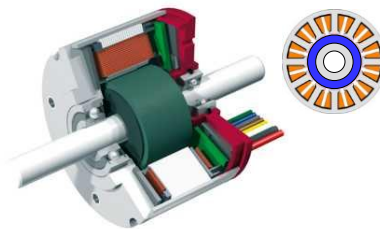
Philosophie: Der stärkstmögliche EC-Motor

- sehr hohes Drehmoment und Beschleunigung
 - gestrickte maxon Wicklung
 - hexagonale Wicklung für lange Versionen
 - 4-poliger Permanentmagnet
- moderate Drehzahl bis 25'000 rpm
 - höhere Kommutierungsfrequenz
 - höhere Eisenverluste
- spezieller Prozess zur Ausrichtung der Hallsensoren auf die Wicklung
- vorgespannte Kugellager



maxon EC motor: Genutete Wicklungen

- maxon EC-i
 - Philosophie: Starker Motor zu attraktiven Kosten
 - dynamisch, aber mit Rastmoment
 - genutete Wicklung, Innenläufer
 - mehrere magnetische Polpaare
- maxon EC Flachmotor
 - Philosophie: Flacher Motor zu attraktiven Kosten
 - genutete Wicklung, Aussenläufer
 - mehr als 4 magnetische Polpaare
 - relativ hohes Drehmoment, aber beschränkte Drehzahl und Dynamik



EC Flachmotor: Aufbau, Eigenschaften

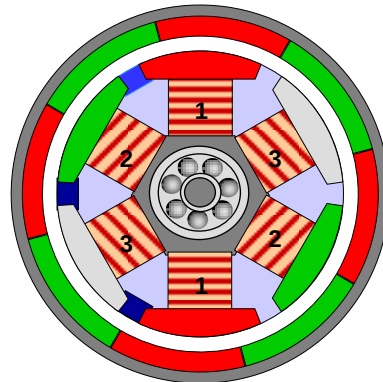
Philosophie: Flacher Motor zu attraktiven Kosten

Rotor:

- Aussenläufer => hohes Drehmoment
- mehrpoliger Magnetring aus NdFeB
=> höhere Kommutierungsfrequenz,
=> nicht sehr hohe Drehzahlen

Stator:

- 3 Phasen, mehrere Zähne pro Phase



weitere Eigenschaften

- Hallsensoren detektieren den Magnetring
- oft aber auch sensorlos
- vorgespannte Kugellager

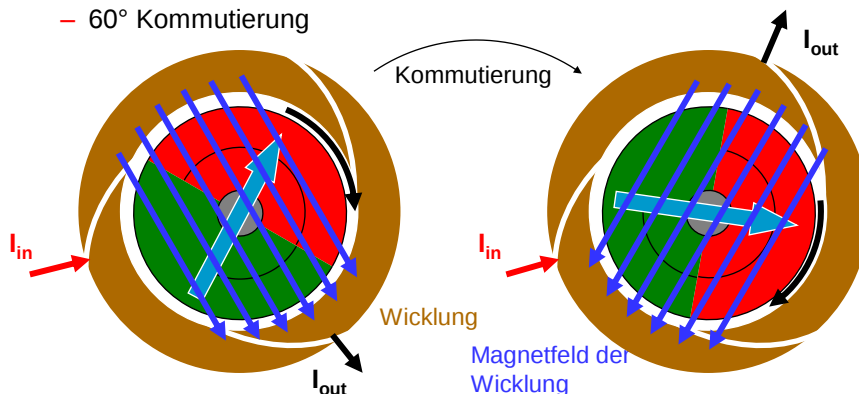
z.B. EC 32 flach:

- 8 Magnetpole
- 2 Zähne pro Phase

maxon motor
driven by precision

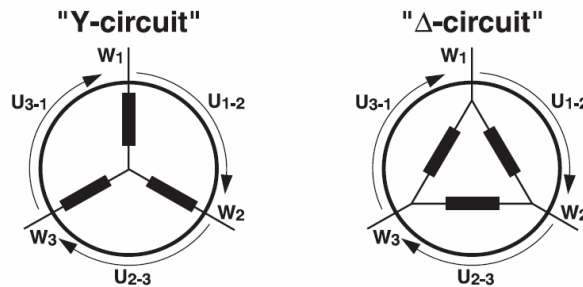
Teil 2: Wechselwirkung Rotor-Stator

- Stromverteilung in Phasen
 - 3 Phasen: 6 mögliche Stromverteilungen
 - 6 Orientierungen des Magnetfeldes der Wicklung, um 60° verdreht
 - 60° Kommutierung



maxon motor
driven by precision

Wicklungsbeschaltung



- hoher Widerstand
- tiefe Ströme
- hohe Drehmomentkonstante

$$R_Y = 3 \cdot R_{\Delta}$$

$$k_{M,Y} = \sqrt{3} \cdot k_{M,\Delta}$$

$$k_{n,Y} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot k_{n,\Delta}$$

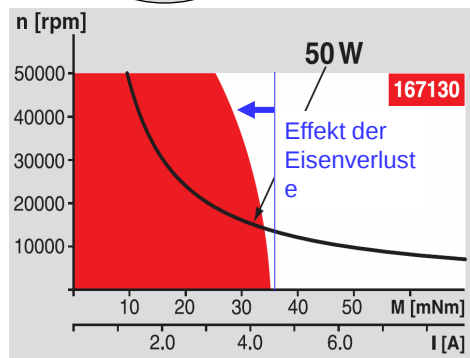
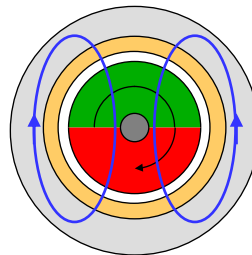
- tiefer Widerstand
- tiefe Spannungen
- hohe Drehzahlkonstante
- Gefahr von induzierten Kreisströmen

Interne Beschaltung der 3 Phasen: keine praktischen Konsequenzen

maxon motor
driven by precision

Eisenverluste

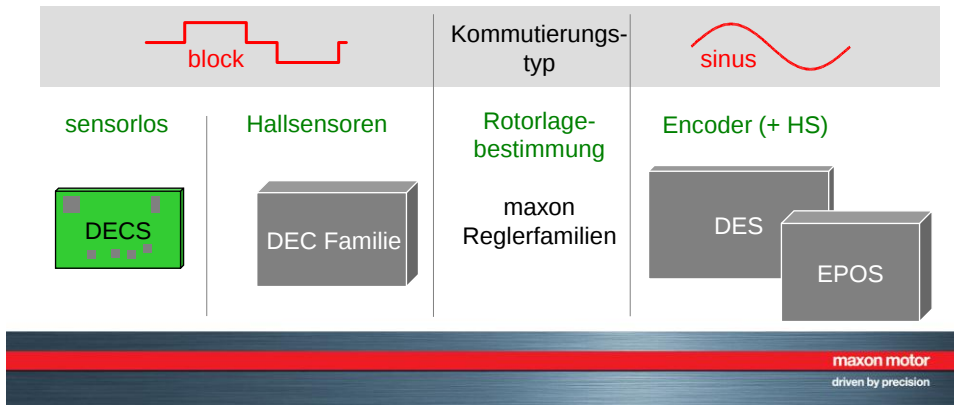
- Ursprung: rotierender Permanentmagnet
- Hystereseverluste
 - Ummagnetisieren kostet Energie
- Wirbelstromverluste
 - das rotierende Magnetfeld erzeugt Wirbelströme
- Effekt: zusätzl. Erwärmung
 - bei hohen Drehzahlen ist weniger Strom zulässig
 - vgl. Betriebsbereiche



maxon motor
driven by precision

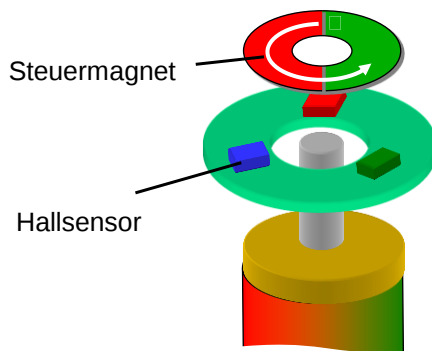
Teil 3: Elektronische Kommutierung

- Gemeinsames Ziel: Strom so anlegen damit maximales Drehmoment entsteht
- senkrechte Orientierung der Magnetfelder
 - Rotor (Permanentmagnet)
 - und Stator (Wicklung)
- Kenntnis der Rotorposition relativ zur Wicklung

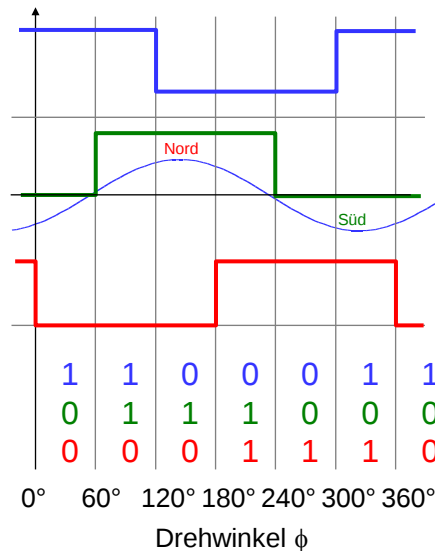


Blockkommutierung

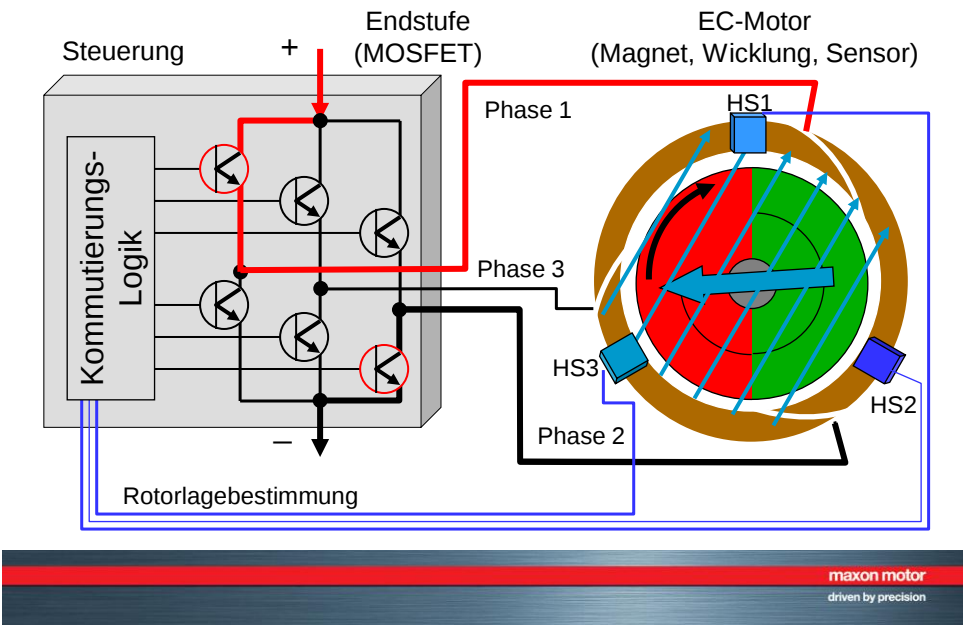
Rotorposition aus Signalen der Hallsensoren



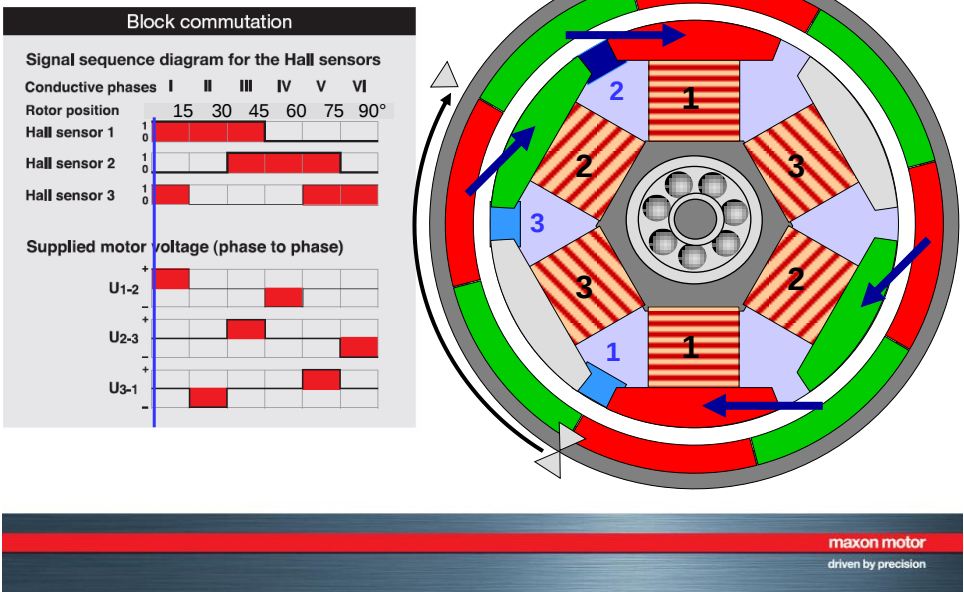
EC-max und EC flach:
Leistungsmagnet wird direkt abgetastet



Blockkommutierung

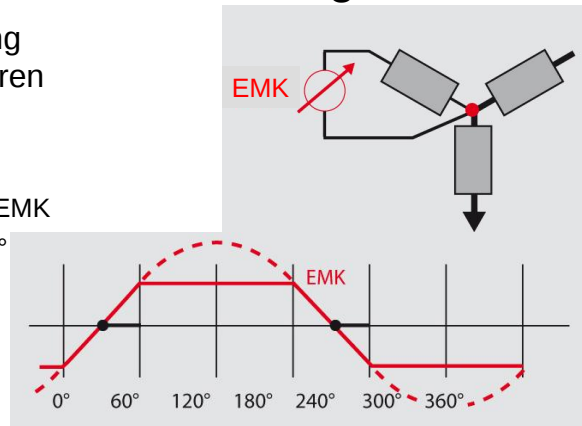


Mehrpoliger EC-Motor: Kommutierung



Sensorlose Blockkommutierung

- Rotorlageerkennung ohne (Hall-) Sensoren
- EMK messen
 - Sternpunkt
 - Nulldurchgang der EMK
 - Zeitverzögerung 30° schwierig bei tiefen Drehzahlen



- Spezieller Anlaufvorgang analog zu Schrittmotor

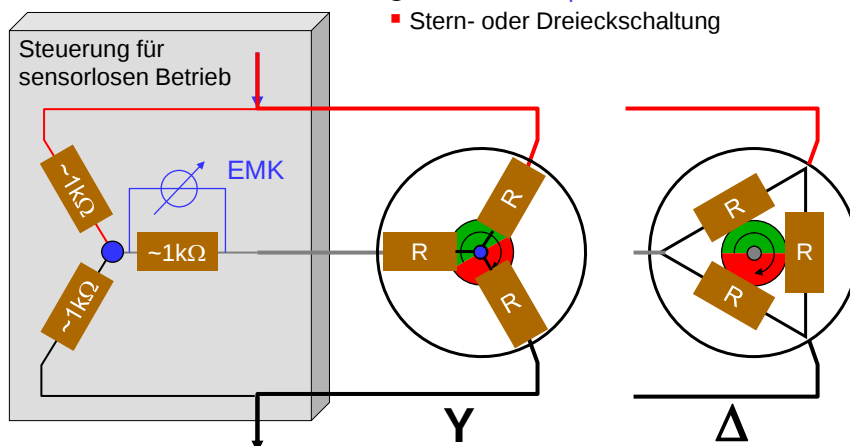
Sensorlose Kommutierung
nur geeignet für Dauerbetrieb
bei hohen Drehzahlen

maxon motor
driven by precision

Sensorlose Blockkommutierung

Virtueller Sternpunkt

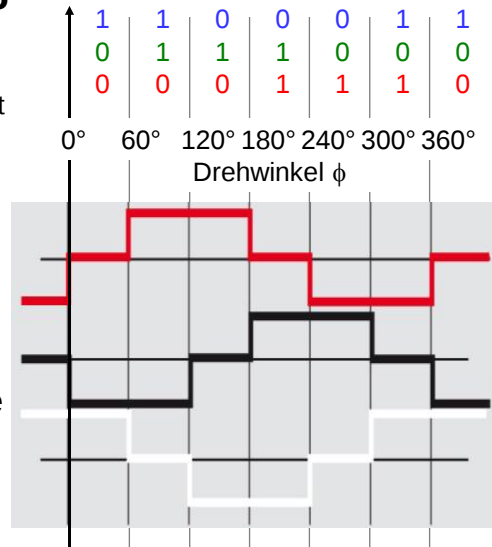
- Virtueller Sternpunkt in der Elektronik
- Stern- oder Dreieckschaltung



maxon motor
driven by precision

Blockkommutierung

- Motor mit 1 Polpaar
 - Position auf 60° genau bekannt
 - Kommutierung alle 60°
- Motor mit P Polpaaren
 - Position auf 60°/ P genau bekannt
 - Kommutierung alle 60°/ P
- blockförmige Phasenströme
 - Drehmomentrippel
 - Vibrationen, Summen

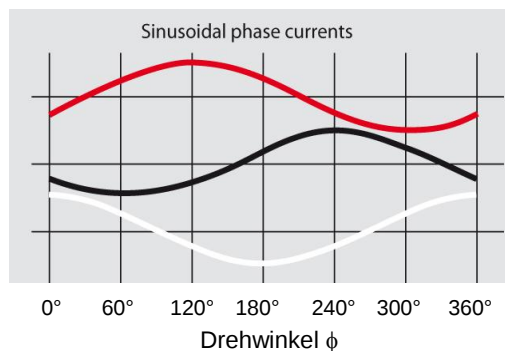


maxon motor
driven by precision

Sinuskommutierung

Rotorlage

- muss sehr genau bekannt sein
- typisch 2'000 punkte pro Umdrehung
- Encoder mit 500 Impulsen
(Hallsensoren für Start: absolute Rotorposition)
- Resolver als Alternative



Phasenströme

- sinusförmig
- 120° phasenverschoben
- ähnlich zu Synchronmotor mit variabler Frequenz

Sinuskommutierung für hohen Gleichlauf auch bei tiefsten Drehzahlen

maxon motor
driven by precision

Teil 4: DC und EC Motoren im Vergleich

DC-Motor

- einfacher Betrieb und Ansteuerung, auch ohne Elektronik
- keine elektronischen Teile im Motor
- Lebensdauer durch Bürstensystem beschränkt
- Drehzahlen durch Bürstensystem begrenzt

EC-Motor

- hohe Lebensdauer, hohe Drehzahlen
 - vorgespannte Kugellager
- kein Bürstenfeuer
- Eisenverluste im Rückschluss
- braucht Elektronik für Betrieb
 - mehr Kabel
 - höhere Kosten
- elektronische Teile im Motor (Hallsensoren)



DC- und EC-Motor: Vergleich

