

# maxon EC motor eisenlose Wicklung

## Technik – kurz und bündig

Eigenschaften der **maxon EC-Motoren** mit eisenloser Wicklung:

- Bürstenloser Gleichstrommotor (BLDC)
- Hohe Lebensdauer
- Hoher Wirkungsgrad
- Lineare Kennlinien, hervorragende Regeleigenschaften
- Feststehende eisenlose Wicklung System maxon mit drei Phasen
- Kleinste elektrische Zeitkonstante und geringe Induktivität
- Ohne Rastmoment
- Gute Wärmeabfuhr, hohe Überlastbarkeit
- Rotierender NdFeB-Permanentmagnet mit ein oder zwei Polpaaren

Eigenschaften des **maxon ECX SPEED-**Programms:

- Leistungsoptimiert, mit hohen Drehzahlen bis 120 000 min<sup>-1</sup>
- Robustes Design
- Diverse Varianten: z.B. kurz/lang, sterilisierbar
- Geringste Restunwucht
- Online konfigurierbar
- Schnelle Lieferzeit

Eigenschaften des **maxon EC-**Programms:

- Leistungsoptimiert, mit Drehzahlen bis 25 000 min<sup>-1</sup>
- Robustes Design
- Geringste Restunwucht

Eigenschaften des **maxon EC-max-**Programms:

- Attraktives Preis-Leistungs-Verhältnis
- Robustes Stahlgehäuse
- Drehzahlen bis 20 000 min<sup>-1</sup>
- Rotor mit einem Polpaar

Eigenschaften des **maxon ECX PRIME und EC-4pole-**Programms:

- Höchste Leistungsdichte dank Rotor mit zwei Polpaaren
- Gestrickte Wicklung, System maxon mit optimierter Verschaltung der Teilwicklungen
- Drehzahlen bis 50 000 min<sup>-1</sup>
- Hochwertiges Rückschlussmaterial zur Reduktion der Wirbelstromverluste
- Mechanische Zeitkonstanten unter drei Millisekunden
- Spezialversionen

### Legende

Der Kommutierungswinkel bezieht sich auf die Länge einer vollständigen Kommutierungssequenz (360°e). Die Länge eines Kommutierungsintervalls ist demnach 60°e. Die Rotorlage bezogen auf die Motorwelle ist für Motoren mit einem Polpaar identisch. Für Motoren mit zwei Polpaaren halbieren sich die Werte.

## Programm

- **ECX SPEED**
- **ECX PRIME**
- **EC**
- **EC-max**
- **EC-4pole**
- **mit Hall-Sensoren**
- **sensorlos**
- **mit integrierter Elektronik**
- **sterilisierbar**
- **Heavy Duty**

## Elektronische Kommutierung

### Blockkommutierung mit Hall-Sensoren

Die Rückmeldung der Rotorlage erfolgt durch drei im Motor eingebaute Hall-Sensoren. Die um 120° versetzt angeordneten Hall-Sensoren liefern pro Umdrehung sechs verschiedene Schaltkombinationen. Die drei Teilwicklungen werden nun entsprechend den Sensorinformationen in sechs verschiedenen Leitphasen bestromt. Strom- und Spannungsverlauf sind blockförmig. Die Schaltlage jeder elektronischen Kommutierung liegt um 30° versetzt zum jeweiligen Drehmoment-Scheitelpunkt.

### Eigenschaften der Blockkommutierung

- Relativ einfache und kostengünstige Elektronik
- Drehmomenttrippl von 14%
- Kontrollierter Anlauf
- Hohe Anlaufmomente und Beschleunigungen möglich
- Servoantriebe, Start-Stopp-Betrieb
- Positionieraufgaben
- Die Daten der maxon EC-Motoren werden mit Blockkommutierung ermittelt

- 1 Flansch vorne
- 2 Gehäuse
- 3 Statorpaket
- 4 Wicklung
- 5 Permanentmagnet
- 6 Welle
- 7 Print mit Hall-Sensoren
- 8 Steuermagnet
- 9 Kugellager
- 10 Flansch hinten

### Sensorlose Blockkommutierung

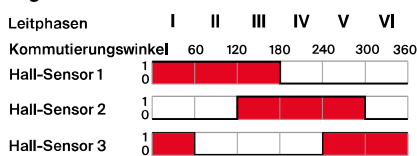
Die Rotorlage wird über den Verlauf der induzierten Spannung erschlossen. Die Elektronik wertet den Nulldurchgang der induzierten Spannung aus und kommutiert nach einer drehzahlabhängigen Pause den Motorstrom (30°e nach dem Nulldurchgang). Im Stillstand und bei kleinen Drehzahlen ist das Spannungssignal zu klein und der Nulldurchgang kann nicht oder nur ungenau detektiert werden. Deshalb werden spezielle Algorithmen für den Anlauf benötigt (analog zur Schrittmotoransteuerung). Damit auch EC-Motoren in Dreieckschaltung sensorlos kommutiert werden können, wird in der Elektronik meist ein virtueller Sternpunkt erzeugt.

### Eigenschaften der sensorlosen Kommutierung

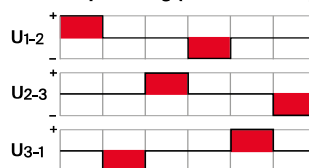
- Drehmomenttrippl von 14% (Blockkommutierung)
- Kein definierter Anlauf
- Nicht geeignet für kleine Drehzahlen und für dynamische Anwendungen
- Dauerbetrieb bei höheren Drehzahlen (Ventilatoren, Fräser, Bohrer)

### Blockkommutierung

#### Signalverlauf der Hall-Sensoren



#### Angelegte Motorspannung (Phase-Phase)



### Sensorlose Kommutierung

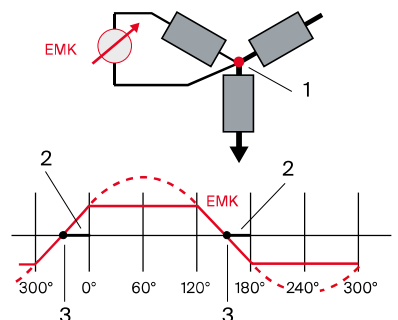
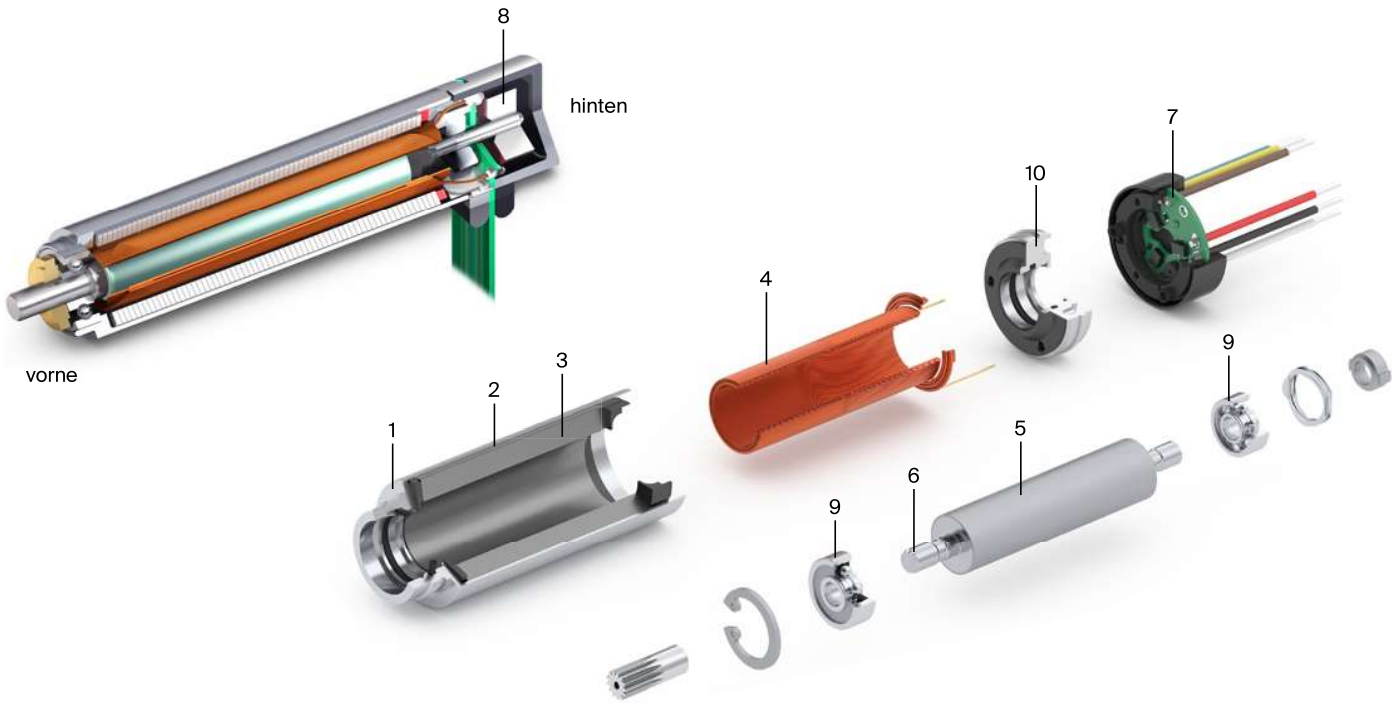


Diagramm gilt für Phase 1



### Beschaltung der Hall-Sensoren

### Wicklungsbeschaltung

#### Sinuskommutierung

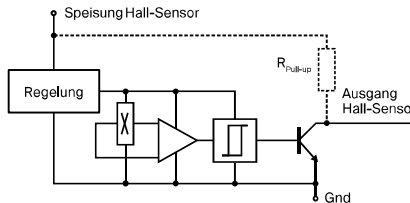
Die hochauflösenden Signale von Encoder oder Resolver werden in der Elektronik zur Erzeugung sinusförmiger Motorströme verwendet. Die Ströme durch die drei Motorwicklungen sind abhängig von der Rotorlage und jeweils um 120° phasenverschoben (Sinuskommutierung). Dies ergibt den sehr weichen, präzisen Lauf des Motors und eine sehr genaue, hochwertige Regelung.

#### Eigenschaften der Sinuskommutierung

- Aufwendigere Elektronik
- Feldorientierte Regelung (FOC)
- Kein Drehmomentrippel
- Sehr gute Gleichlauf Eigenschaften auch bei kleinsten Drehzahlen
- Ca. 5% höheres Dauerdrehmoment als bei Blockkommutierung
- Hochdynamische Servoantriebe
- Positionieraufgaben

Der Open Collector Ausgang der Hall-Sensoren hat in der Regel keinen eigenen Pull-up-Widerstand, da dieser in den maxon Steuerungen integriert ist. Ausnahmen werden in den entsprechenden Motordatenblättern speziell erwähnt.

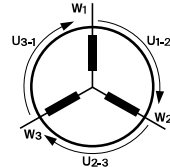
#### Schaltbild für Hall-Sensor



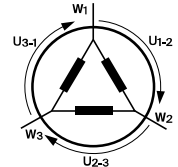
Der Stromverbrauch eines Hall-Sensors beträgt typ. 4 mA (bei Ausgang Hall-Sensor = «HI»).

Die maxon Rautenwicklung ist in drei Teilwicklungen zu je 120° aufgeteilt. Die Teilwicklungen können auf zwei verschiedene Arten – «Stern» oder «Dreieck» – beschaltet werden. Dadurch verändern sich Drehzahl und Drehmoment umgekehrt proportional um den Faktor  $\sqrt{3}$ . Für die Auswahl des Motors spielt die Wicklungsbeschaltung keine ausschlaggebende Rolle. Wichtig ist, dass die motorspezifischen Parameter (Drehzahlkonstante und Drehmomentkonstante) den Anforderungen entsprechen.

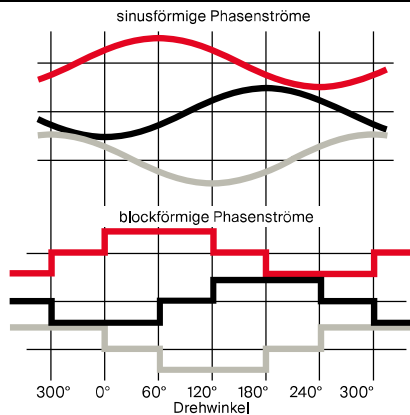
#### «Stern»-Schaltung



#### «Dreieck»-Schaltung



#### Ströme in Sinus- und Blockkommutierung



#### Legende

- 1 Sternpunkt
- 2 Zeitverzögerung 30°
- 3 Nulldurchlauf EMK

### Lagerung und Lebensdauer

Die hohe Lebensdauer des bürstenlosen Designs kann nur mit vorgespannten Kugellagern echt genutzt werden.

- Lagerung auf mehrere 10 000 Stunden ausgelegt
- Die Lebensdauer wird beeinflusst durch maximale Drehzahl, Restunwucht und Lagerbelastung

Weitere Ergänzungen siehe Seite 190 oder im Buch «Auslegung von hochpräzisen Kleinstantrieben» von Dr. Urs Kafader.

# maxon EC motor eisenbehaftete Wicklung

## Technik – kurz und bündig

- Eigenschaften der **maxon EC-Motoren** mit eisenbehafteter Wicklung:
- Bürstenloser Gleichstrommotor (BLDC)
  - Hohe Lebensdauer
  - Drehzahlen bis ca. 20 000 min<sup>-1</sup>
  - Vergleichsweise hohes Drehmoment
  - Vom streng linearen Verhalten abweichende Kennlinien
  - Mehrpoliger NdFeB-Permanentmagnet
  - Kleinere Kommutierungsschritte
  - Hallsensorsignale für einfache Drehzahl- und Positionsregelungen nutzbar
  - Feststehende Wicklung mit Eisenkern und mehreren Zähnen pro Phase
  - Leichtes Rastmoment
  - Gute Wärmeabfuhr, hohe Überlastbarkeit

- Eigenschaften des **maxon ECX TORQUE**-Programms:
- Höchste Dynamik dank innen liegendem, mehrpoligem Rotor
  - Mechanische Zeitkonstante unter einer Millisekunde
  - Hohe Drehmomentdichte
  - Online konfigurierbar
  - Schnelle Lieferzeit

- Eigenschaften des **maxon IDX** Programms:
- Hohes Dauerdrehmoment
  - Hohe Leistungsdichte
  - IP65 geschütztes Design
  - Online konfigurierbar

- Eigenschaften des **maxon EC-i**-Programms:
- Höchste Dynamik dank innen liegendem, mehrpoligem Rotor
  - Mechanische Zeitkonstanten unter drei Millisekunden
  - Hohe Drehmomentdichte
  - Drehzahlen bis 15 000 min<sup>-1</sup>

- Eigenschaften der **maxon ECX-FLAT** und **EC-flat** Programme:
- Attraktives Preis-/Leistungsverhältnis
  - Hohe Drehmomente dank aussen liegendem, mehrpoligem Rotor
  - Sehr gute Wärmedissipation bei höheren Drehzahlen dank offener Bauform
  - Varianten mit offenem Rotor oder Lüfter für noch höhere Drehmomente
  - Flache Bauweise auch für gedrängte Platzverhältnisse

### Legende

Der Kommutierungswinkel bezieht sich auf die Länge einer vollständigen Kommutierungssequenz (360°e). Die Länge eines Kommutierungsintervalls ist demnach 60°e. Die Rotorlage bezogen auf die Motorwelle ergibt sich aus dem angegebenen Kommutierungswinkel geteilt durch die Polpaarzahl des Motors.

## Programm

- **ECX TORQUE**
- **IDX**
- **ECX FLAT**
- **EC-i**
- **EC flat**
- **mit Hall-Sensoren**
- **sensorlos**
- **mit integrierter Elektronik**

## Elektronische Kommutierung

### Blockkommutierung mit Hall-Sensoren

Die Rückmeldung der Rotorlage erfolgt durch drei im Motor eingebaute Hall-Sensoren, die pro Kommutierungssequenz sechs verschiedene Schaltkombinationen liefern. Die drei Phasen werden entsprechend dieser Sensorinformation in sechs verschiedenen Leitphasen bestromt. Strom- und Spannungsverlauf sind blockförmig. Die Schaltlage jeder elektronischen Kommutierung liegt symmetrisch um den jeweiligen Drehmoment-Scheitelpunkt.

### Eigenschaften der Blockkommutierung

- Relativ einfache und kostengünstige Elektronik
- Kontrollierter Anlauf
- Hohe Anlaufmomente und Beschleunigungen möglich
- Servoantriebe, Start-Stopp-Betrieb
- Positionieraufgaben
- Die Daten der maxon EC-Motoren werden mit Blockkommutierung ermittelt

- 1 Flansch vorne
- 2 Gehäuse
- 3 Statorpaket
- 4 Wicklung
- 5 Permanentmagnet
- 6 Welle
- 7 Print mit Hall-Sensoren
- 8 Kugellager
- 9 Vorspannung
- 10 Flansch hinten

### Sensorlose Blockkommutierung

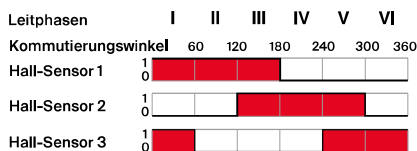
Die Rotorlage wird über den Verlauf der induzierten Spannung erschlossen. Die Elektronik wertet den Nulldurchgang der induzierten Spannung aus und kommutiert nach einer drehzahlabhängigen Pause den Motorstrom (30°e nach dem Nulldurchgang). Im Stillstand und bei kleinen Drehzahlen ist das Spannungssignal zu klein und der Nulldurchgang kann nicht oder nur ungenau detektiert werden. Deshalb werden spezielle Algorithmen für den Anlauf benötigt (analog zur Schrittmotoransteuerung). Damit auch EC-Motoren in Dreieckschaltung sensorlos kommutiert werden können, wird in der Elektronik meist ein virtueller Sternpunkt erzeugt.

### Eigenschaften der sensorlosen Kommutierung

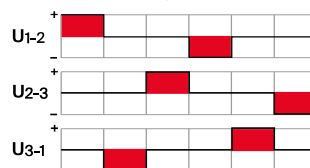
- Kein definierter Anlauf
- Nicht geeignet für kleine Drehzahlen und für dynamische Anwendungen
- Dauerbetrieb bei höheren Drehzahlen (Ventilatoren, Pumpen)

### Blockkommutierung

#### Signalverlauf der Hall-Sensoren



#### Angelegte Motorspannung (Phase-Phase)



### Sensorlose Kommutierung

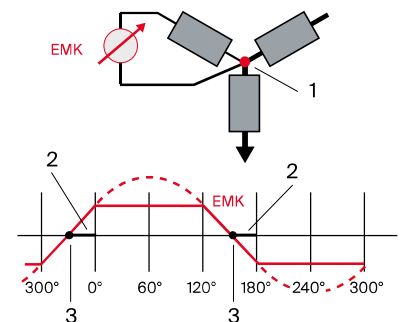
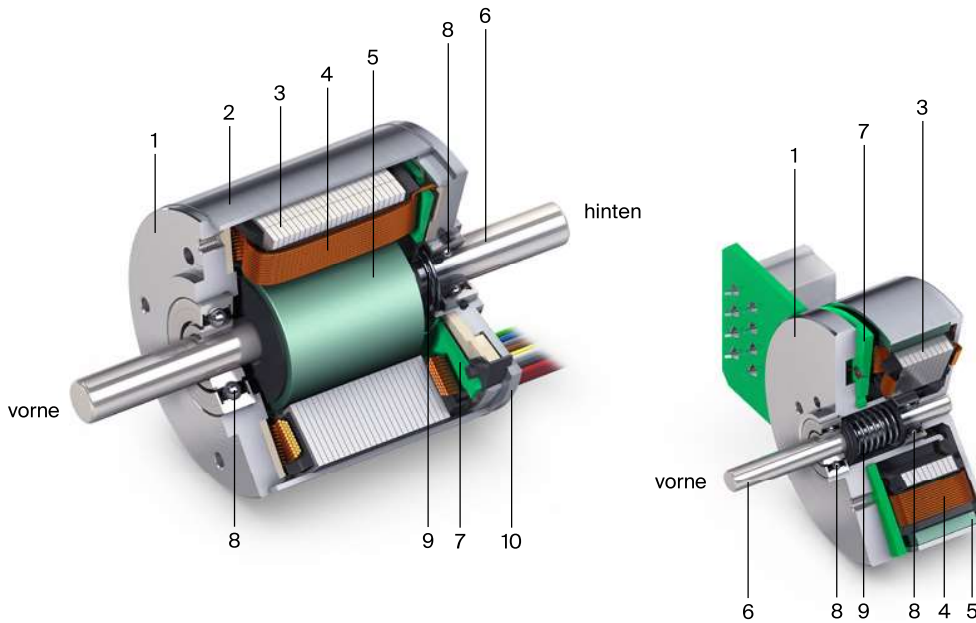


Diagramm gilt für Phase 1

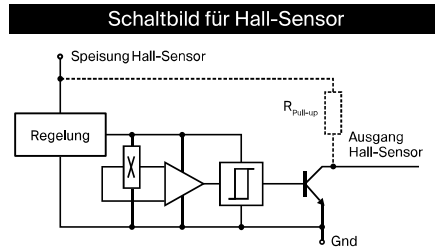


**Sinuskommutierung**

Sinuskommutierung oder feldorientierte Regelung (FOC) für EC-Motoren mit genuteter Wicklung ist prinzipiell möglich. Voraussetzung ist, dass ein Encoder montiert werden kann. Der Hauptvorteil der Sinuskommutierung – der hohe Gleichlauf – kommt aber aufgrund des Rastmoments nur bedingt zur Geltung.

**Beschaltung der Hall-Sensoren**

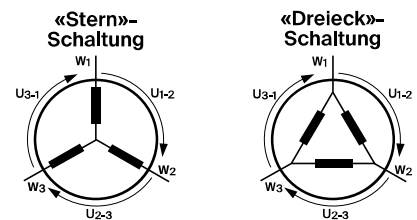
Der Open Collector-Ausgang der Hall-Sensoren hat in der Regel keinen eigenen Pull-up-Widerstand, da dieser in den maxon Steuerungen integriert ist. Ausnahmen werden in den entsprechenden Motordatenblättern speziell erwähnt.



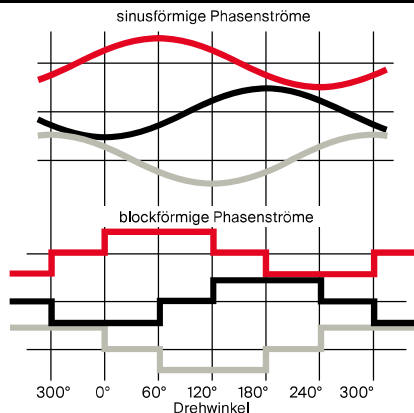
Der Stromverbrauch eines Hall-Sensors beträgt typ. 4 mA (bei Ausgang Hall-Sensor = «HI»).

**Wicklungsbeschaltung**

Die Wicklung ist in drei Teilwicklungen mit je mehreren Statorzähnen unterteilt. Die Teilwicklungen können auf zwei verschiedene Arten – «Stern» oder «Dreieck» – beschaltet werden. Dadurch verändern sich Drehzahl und Drehmoment umgekehrt proportional um den Faktor  $\sqrt{3}$ . Für die Auswahl des Motors spielt die Wicklungsbeschaltung keine ausschlaggebende Rolle. Wichtig ist, dass die motorspezifischen Parameter (Drehzahlkonstante und Drehmomentkonstante) den Anforderungen entsprechen.



**Ströme in Sinus- und Blockkommutierung**



**Legende**

- 1 Sternpunkt
- 2 Zeitverzögerung 30°e
- 3 Nulldurchlauf EMK

**Lagerung und Lebensdauer**

Die hohe Lebensdauer des bürstenlosen Designs kann nur mit vorgespannten Kugellagern echt genutzt werden.

- Lagerung auf mehrere 10 000 Stunden ausgelegt
- Die Lebensdauer wird beeinflusst durch maximale Drehzahl, Restunwucht und Lagerbelastung

Weitere Ergänzungen siehe Seite 190 oder im Buch «Auslegung von hochpräzisen Kleinstantrieben» von Dr. Urs Kafader.

# maxon EC frameless motor Technik – kurz und bündig

## EC frameless

Bei den Frameless-Motorkits werden Rotor und Stator getrennt und ohne Lagerung und ohne Motorwelle geliefert. Erst beim Zusammenbau der beiden Komponenten entsteht der fertige Motor.

### Eigenschaften der maxon EC frameless-Motoren

- Bürstenloser Gleichstrommotor (BLDC) als Direktantrieb
- Hohe Lebensdauer
- Drehmomentstark dank mehrpoligem Motordesign mit NdFeB-Permanentmagneten
- Feststehende Wicklung mit Eisenkern und mehreren Zähnen pro Phase
- Leichtes Rastmoment
- Vom streng linearen Verhalten abweichende Kennlinien
- Gute Wärmeabfuhr, hohe Überlastbarkeit
- Sensor zur Temperaturüberwachung (NTC-Heissleiter)
- Flache Bauweise für platzsparende Integration in die Anwendung
- Hohlwelle zur Durchführung von Kabeln, Vakuum, Licht usw.

### Eigenschaften des maxon EC frameless flat-Programms:

- Hohe Drehmomente dank aussen liegendem, mehrpoligem Rotor
- Drehzahlen bis 10 000 min<sup>-1</sup>
- Hallensorsignale für einfache Drehzahl und Positionsregelungen nutzbar

### Eigenschaften des maxon EC frameless Dynamic Torque (DT)-Programms:

- Höchste Dynamik dank innen liegendem, mehrpoligem Rotor
- Mechanische Zeitkonstante unter einer Millisekunde
- Hohe Drehmomentdichte
- Drehzahlen bis 5000 min<sup>-1</sup>
- optionaler TSX MAG-Encoder mit zusätzlichen Kommutierungssignalen

## Programm

- EC frameless flat
- EC frameless DT
- mit Hall-Sensoren
- sensorlos

## Elektronische Kommutierung

### Blockkommutierung mit Hall-Sensoren

Die Rückmeldung der Rotorlage erfolgt durch drei im Motor eingebaute Hall-Sensoren oder durch den optionalen TSX-Encoder. Die um 120° versetzt angeordneten Hall-Sensoren liefern pro Umdrehung sechs verschiedene Schaltkombinationen. Die drei Teilwicklungen werden nun entsprechend den Sensorinformationen in sechs verschiedenen Leitphasen bestromt. Strom- und Spannungsverlauf sind blockförmig. Die Schaltlage jeder elektronischen Kommutierung liegt um 30° versetzt zum jeweiligen Drehmoment-Scheitelpunkt.

### Eigenschaften der Blockkommutierung

- Relativ einfache und kostengünstige Elektronik
- Drehmomenttrippl von 14%
- Kontrollierter Anlauf
- Hohe Anlaufmomente und Beschleunigungen möglich
- Servoantriebe, Start-Stopp-Betrieb
- Positionieraufgaben
- Die Daten der maxon EC-Motoren werden mit Blockkommutierung ermittelt

- 1 Statorpaket
- 2 Wicklung
- 3 Rotor
- 4 Permanentmagnet
- 5 Print mit Hall-Sensoren

### Sinuskommutierung

Sinuskommutierung oder feldorientierte Regelung (FOC) ist für die frameless EC-Motoren mit genuteter Wicklung prinzipiell möglich. Voraussetzung ist, dass ein Encoder montiert werden kann. Der Hauptvorteil der Sinuskommutierung – der hohe Gleichlauf – kommt aber aufgrund des Rastmoments nur bedingt zur Geltung.

Die hochauflösenden Signale eines Encoders werden in der Elektronik zur Erzeugung sinusförmiger Motorströme verwendet. Die Ströme durch die drei Motorwicklungen sind abhängig von der Rotorlage und jeweils um 120° phasenverschoben (Sinuskommutierung).

### Eigenschaften der Sinuskommutierung

- Aufwendigere Elektronik
- Benötigt einen Encoder
- genaue, hochwertige Feldorientierte Regelung (FOC)
- Ca. 5% höheres Dauerdrehmoment als bei Blockkommutierung
- Hochdynamische Servoantriebe
- Positionieraufgaben.

## Blockkommutierung

### Signalverlauf der Hall-Sensoren

Leitphasen	I	II	III	IV	V	VI
Kommutierungswinkel	60	120	180	240	300	360
Hall-Sensor 1	1	1	0	0	1	1
Hall-Sensor 2	1	0	1	1	0	0
Hall-Sensor 3	1	0	0	1	1	0

### Angelegte Motorspannung (Phase-Phase)

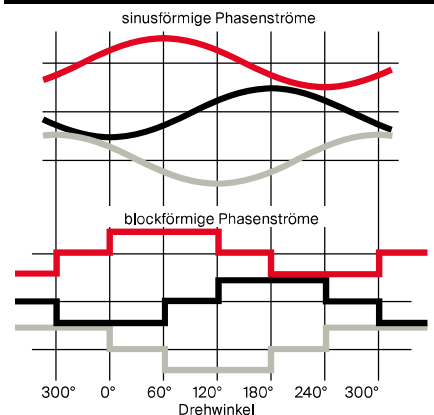
U1-2	+					
U2-3		+				
U3-1			+			

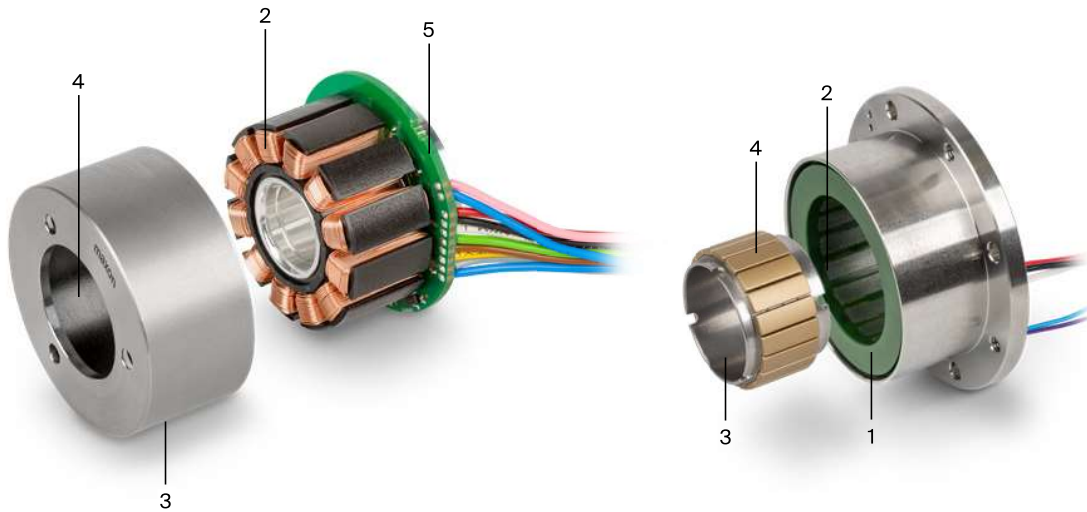
### Legende

Der Kommutierungswinkel bezieht sich auf die Länge einer vollständigen Kommutierungssequenz (360°e). Die Länge eines Kommutierungsintervalls ist demnach 60°e.

Die Rotorlage bezogen auf die Motorwelle ergibt sich aus dem angegebenen Kommutierungswinkel geteilt durch die Polpaarzahl des Motors.

## Ströme in Sinus- und Blockkommutierung





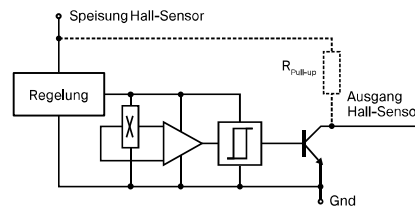
### TSX MAG-Encoder

Das optionale TSX MAG-Encodermodul kann mit dem EC frameless DT-Motor kombiniert werden. Der Rotor wird mit einem zusätzlichen magnetischen Targetring ergänzt. Das TSX MAG-Modul wird auf dem Stator angebracht, ohne die Hohlwelle des Rotors zu beeinträchtigen, und programmiert, sodass es auch korrekte Kommutierungssignale ausgibt. Dazu müssen Rotor und Stator gepaart geliefert werden.

### Beschaltung der Hall-Sensoren

Der Open Collector-Ausgang der Hall-Sensoren hat in der Regel keinen eigenen Pull-up-Widerstand, da dieser in den maxon Steuerungen integriert ist. Ausnahmen werden in den entsprechenden Motordatenblättern speziell erwähnt.

### Schaltbild für Hall-Sensor



Der Stromverbrauch eines Hall-Sensors beträgt typ. 4 mA (bei Ausgang Hall-Sensor = «HI»).

### Integration und Lebensdauer

Die Frameless-Motoren sind Direktantriebe, welche in die Anwendung integriert werden. Die auf der maxon Webseite erhältliche Montageanleitung gibt detaillierte Spezifikationen für den optimalen Einbau. Die Lebensdauer ist primär durch die gewählte Lageranordnung sowie die Einsatzbedingungen (Lagerbelastung, Drehzahl) bestimmt.

