Brushless-Motoren

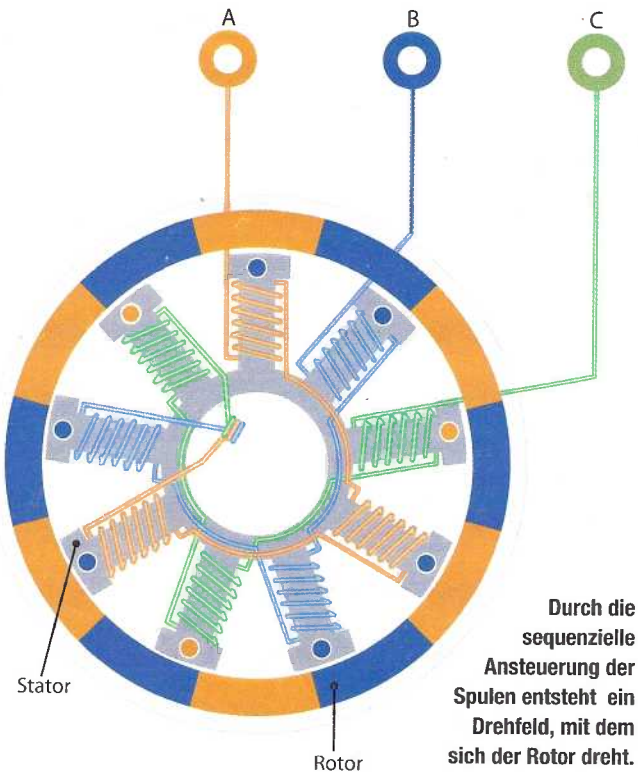
Bild: rc-network.de

Bei Quadrokoptern kommen in der Regel Außenläufer zum Einsatz, die Glocke mit den Magneten ist der Rotor. Der Rotor hat zwölf Pole und der Stator zwölf Nuten.

Bei billigen Kopter-Modellen sorgen Gleichstrommotoren für den Antrieb der Propeller. In ihnen sind eine oder mehrere Spulen um einen Rotor respektive Anker gewickelt, die bei Stromdurchfluss ein Magnetfeld erzeugen. Ein den Anker umgebender Stator hält einen oder mehrere Permanentmagnete, in dessen Felder sich der Rotor durch das Magnetfeld der Spulen dreht. Die Spulen sind mit dem sogenannten Kommutator verbunden, auf den Schleifbürsten den Strom übertragen. Durch die Drehung des Kommutators mit dem Rotor wechselt zwangsläufig auch die Polung der Ankerwicklungen, sodass immer die Wicklungen von Strom durchflossen werden, die sich quer zum Statorfeld bewegen. Damit ergibt sich eine kontinuierliche Drehung des Rotors. Die Ansteuerung von Gleichstrommotoren mit Bürsten ist unkompliziert, allerdings unterliegen die Bürsten dem Verschleiß. Zudem führt die Drehung des Kommutators unter den Bürsten zum sogenannten Funkenflug, der sich als hochfrequente Störung bemerkbar macht.

Bürstenlose Motoren (auch Brushless DC-Motor, BLDC) sind leise, wartungsarm und kraftvoll. Ursprünglich wurden sie in der Computertechnik als Antriebe für Festplatten, Floppy-Laufwerke, Lüfter und CD-ROMs eingesetzt. Seit einigen Jahren setzt man sie auch im Modellbau ein. Ihr Aufbau und ihre Ansteuerung ist erheblich komplexer als bei normalen Gleichstrommotoren. Zwar sind die elektromagnetischen Grundlagen ähnlich, allerdings sitzen beim BLDC die Permanentmagneten auf dem Rotor und der Stator besteht aus mindestens drei Spulen. Bei Quadrokoptern setzt man in der Regel sogenannte Außenläufer ein, bei der sich eine Glocke mit innenliegenden Magneten außen um den Stator dreht. Daneben gibt es noch Innenläufer, bei denen sich der Rotor im Stator dreht.

In dem man die Spulen nacheinander mit einer Phasenverschiebung von 120 Grad ansteuert, dreht sich der Rotor kontinuierlich im Feld. Da diese Ansteuerung eine elektronische Schaltung übernimmt, nenn man diese Ansteuerung auch „elektronische Kommutierung". Für eine optimale Ansteuerung der Phasen ist es wichtig, die aktuelle Rotorposition zu kennen. Diese kann man über Hall-Sensoren messen oder durch die elektromagnetische Kraft (EMK). Motoren sind nämlich immer Antrieb und Generator zugleich, das heißt, durch die Drehung induziert das äußere Magnetfeld einen Strom in den Spulen. Das hat zwei Effekte: Zum einen setzt es den Strom in den kommutierten Spulen herab, zudem kann man die Spannung in den nicht kommutierten Spulen messen. Letzteres ermöglicht über einen Analog-Digital-Wandler die Ermittlung der Position des Rotors.



Durch die sequenzielle Ansteuerung der Spulen entsteht ein Drehfeld, mit dem sich der Rotor dreht.

Die Höhe der EMK wird durch eine der wichtigsten Kenngrößen bürstenloser Motoren vorgegeben: Die elektromotorische oder Generatorspannungs-Konstante Ke in der Einheit Newtonmeter pro Ampere beziehungsweise Voltsekunden. Aus ihr berechnet sich neben der Gegenspannung auch das Drehmoment des Motors, das in einem verlustfreien Motor proportional zum Strom ist. Der Kehrwert von Ke ist die von den Motorherstellern angegebene Konstante Kv – dort allerdings in der Einheit Umdrehungen pro Minute pro Volt. Ein Motor mit beispielsweise einem Kv-Wert von 1100 kann mit einer Spannung von 11,1 Volt theoretisch 12 210 Umdrehungen pro Minute erreichen. Dann heben sich Motorstrom und Gegenstrom auf und das Drehmoment wird 0.

Andersherum ist das Drehmoment dann am höchsten, wenn ein Motor losläuft und noch keine Gegenspannung induziert wird. Dann ist auch der Strom am höchsten, weil er nur durch den ohmschen Anteil der Spulen begrenzt wird. Durch unterschiedliche Polzahlen (Zahl der Magnete), Nut-Zahlen (Slots) und Anzahl der Wicklungen auf den Nuten lassen sich maximales Drehmoment und Drehzahl der Motoren variieren. Viele Magnete ergeben ein höheres Drehmoment, allerdings auch eine niedrigere Drehzahl. Die Anzahl der Nuten muss durch drei teilbar sein. Die Anzahl der Pole muss immer gerade sein. Das Verhältnis von Polen zu Nuten bestimmt, wie schnell sich der Rotor im Verhältnis zum elektrischen Drehfeld dreht.

Die Drehzahl eines Motors ergibt sich jedoch nicht einfach durch die abwechselnde Kommutierung der Phasen. Aufgrund der Differenz von angelegter Spannung und Gegenspannung entsteht ein Strom, der dem „abgegebenen" Drehmoment entspricht. Die Ansteuerspannung wird über ein pulsweitenmoduliertes Signal (PWM) erzeugt, die abhängig vom Tastverhältnis in ihrer Höhe in den Spulen variiert. Diese relativ komplexe Ansteuerung der Motoren übernimmt der Electronic Speed Controller (ESC).