

Mit oder ohne Nutzen? Die Auswahl des richtigen Motors für Luft- und Raumfahrtanwendungen

20 March 2025

Für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt werden aufgrund ihrer Leistung häufig bürstenlose Gleichstrommotoren (BLDC) verwendet, wobei eine Wahl zwischen genutzten oder nutzenlosen Ausführungen getroffen werden muss. Bei Unterschieden in Drehmoment, Größe und Gewicht, Präzisionssteuerung und Haltbarkeit steht viel auf dem Spiel. Insbesondere für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt ist es wichtig, Fachwissen in der Antriebstechnik einzubinden, um das richtige Design auszuwählen.

Adrien Mettraux, Industry Manager bei Portescap, erklärt:

Vom Fliegen in großen Höhen von 9.000 Metern oder mehr bis hin zur g-Kraft bei hoher Beschleunigung oder den Anforderungen an die Landung: Festigkeit und Zuverlässigkeit sind in der Flugzeugkonstruktion von entscheidender Bedeutung. Das bedeutet, dass die Komponenten und Systeme, die in diese Flugzeuge integriert sind, strengen Standards entsprechen müssen, und ihre Konstruktionen sind in der Regel ein entscheidender Faktor für die Optimierung der Flugleistung. Von besonderer Bedeutung sind hier Bewegungssysteme, die von kompakten Elektromotoren angetrieben werden, um eine Vielzahl von Funktionen in modernen Flugzeugen anzutreiben. Dies kann von der Kraftstoffzufuhr und Flugsteuerung bis hin zum Klimamanagement an Bord reichen, um eine sichere und komfortable Umgebung zu schaffen.

Bewegungssysteme müssen nicht nur die erforderliche Leistung, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit bieten, die für den Antrieb dieser Anwendungen erforderlich sind, sondern – wie es für alle Aspekte des Flugzeugdesigns entscheidend ist – auch klein und leicht sein. Je nachdem, welche Steuerung für die jeweilige Anwendung erforderlich ist, müssen diese Bewegungssysteme auch eine hohe Präzision erreichen. Aus diesen Gründen fällt die Wahl in der Regel auf bürstenlose Gleichstrommotoren.

Durch den Verzicht auf mechanische Bürsten verschleißten BLDC-Motoren weniger, was zu einer längeren Lebensdauer führt, die nur durch die Lebensdauer der Lager begrenzt wird. Diese Motoren sind in der Regel kompakter und leistungstärker bei gleichem Gehäuse. Sie erhöhen auch die Steuerpräzision, da sie auf elektronische Regler zur Steuerung von Strom und Spannung angewiesen sind. BLDC-Konstruktionen sind entweder genutet – bei ihnen wird die Drahtspule in Laminierungsnuten eingesetzt – oder nutenlos – bei ihnen wird eine selbsttragende Spulenkonstruktion verwendet. Diese Unterscheidung ist für Luft- und Raumfahrtanwendungen von entscheidender Bedeutung, und die Vor- und Nachteile jedes Designs stehen bei der Auswahl im Mittelpunkt.

Genutete und nutenlose Ausführungen

Bei Nutenmotoren besteht der Stator aus dünnen, laminierten Stahlblechen. Die Laminierungen bilden einen kompletten Stapel, und die Kupferwicklungen, die den elektrischen Strom zur Erzeugung des elektromagnetischen Feldes leiten, sind in Nuten angeordnet. Diese bestehen in der Regel aus Eisenzähnen, um die Wicklungen gewickelt sind. Ihre Aufgabe ist es, magnetische Pfade bereitzustellen, die zu einer starken Interaktion mit den Magneten des Rotors führen. Dieser Prozess wird dadurch verbessert, dass die Konstruktion den Luftspalt zwischen

Stator und Magnet im Rotor minimiert, was zu einer hohen magnetischen Induktion führt.

Alternativ sind bei nutenlosen Motoren die Kupferwicklungen in der Regel selbstklebend und selbsttragend in zylindrischer Bauweise ausgeführt, die direkt in den Luftspalt zwischen Rotor und zylindrischem Laminierstapel eingesetzt werden.

Da genutete BLDC-Motortechnologien für ein hohes Drehmoment ausgelegt sind und mindestens das Zehnfache des maximalen kontinuierlichen Drehmoments ohne magnetische Sättigung liefern, optimieren Nutenmotoren die Drehmomentdichte. Dies wird durch den konzentrierten magnetischen Fluss und einen kleineren Luftspalt erreicht, der die elektromagnetische Wechselwirkung erhöht. Nutenlose Konstruktionen können diesen Unterschied durch ein größeres Magnetdesign und hochfeste Magnete wie NdFeB minimieren. Da die Spule jedoch in den Statornuten positioniert ist, ermöglicht dies genuteten Konstruktionen einen geringeren thermischen Widerstand und sie erhöht das Drehmoment durch eine verbesserte Wärmeableitung. Dadurch kann bei einem genuteten BLDC-Design in der Regel ein vergleichsweise kleinerer, leichter Motor verwendet werden. Nutenlose Motoren erleben aufgrund ihres größeren Luftspalts keine magnetische Sättigung, was die Durchflussdichte verringert. Darüber hinaus trägt ihr zylindrisches Laminierungsdesign dazu bei, das Risiko einer lokalen Sättigung zu vermeiden, die typischerweise in Nutenmotoren vorkommt.

Präzision und Effizienz

Ein entscheidender Vorteil des nutenlosen BLDC-Motors ist jedoch die Präzisionssteuerung, die im Vergleich zu einem Nutenmotor erreicht werden kann. Während die Eisenzähne einer genuteten Konstruktion zur Optimierung der Drehmomentdichte beitragen, verursachen sie auch Verzahnungen. Die Interaktion

zwischen den Magneten und den Statorzähnen sorgt für eine stabile Position, und es ist ein zusätzliches Drehmoment erforderlich, um die Magnetanziehung zu unterbrechen. Dieser Effekt erzeugt Stufen, eine relativ ruckartige, pulsierende Wirkung, insbesondere bei niedrigen Drehzahlen. Während das Schrägstellen der Laminierungen bei einem genuteten Design diesen Effekt zwar minimieren kann, arbeitet ein nutenloser Motor mit Nullverzahnung. Der Rotor ohne Eisenzähne profitiert in seiner nutenlosen Bauweise von einer kontinuierlichen Permeanz – dem Durchgang des magnetischen Flusses – und erreicht daher eine gleichmäßige Drehung, die entscheidend ist, wenn eine präzise Steuerung erforderlich ist.

Ein nutenloses Design profitiert auch von einem geringeren Eisenlaminierungsvolumen, was zu einer Reduzierung von Wirbelströmen und Hystereseverlusten führt, die sich insbesondere bei hohen Drehzahlen auswirken. Da Nutenmotoren jedoch eine verbesserte Wärmeleitfähigkeit erreichen und somit Wärme effektiver abführen, trägt dies dazu bei, die Leistung unter höheren Lasten aufrechtzuerhalten.

Bei nutenlosen Motoren wird in der Regel ein größerer Magnet verwendet, um die geringere magnetische Induktion der Spule auszugleichen. Dies erfordert auch einen größeren und schwereren Rotor, was zu einer höheren Trägheit führt. Dies ist ein weiterer Aspekt bei der Entscheidung, welche Motortechnologie zu verwenden ist, da bestimmte Anwendungen, z. B. Trimm-Aktuatoren für Autopilotsysteme, eine sehr geringe Trägheit erfordern können, um eine hohe Empfindlichkeit zu erreichen. Ein nutenloses Design ermöglicht jedoch eine bessere Leistung für kleine Motoren mit einem Außendurchmesser von 8–13 mm, da der Füllfaktor des Spulenkupfers verbessert wird. Alternativ sind bei Nutenmotoren gleicher Größe die Nuten in der Regel zu klein, um eine Wicklung und Befüllung mit Kupfer zu ermöglichen.

Robustheit und Zuverlässigkeit

Überall dort, wo diese Motoren in einem Flugzeug eingesetzt werden, sind Zuverlässigkeit und Robustheit von entscheidender Bedeutung. Die genutete Motortopologie ist inhärent robust, da die Spule in die Laminierung eingesetzt wird, und sie kann durch Überspritzen des Wickelstators weiter verstärkt werden. Dadurch eignen sich diese Konstruktionen am besten für raue Umgebungen, einschließlich solcher mit hohen Stößen und Vibrationen. Nutenlose Motoren können auch so konstruiert werden, dass sie viele derselben hohen Feuchtigkeits- und Salznebelbedingungen überstehen, die gemäß den DO-160-Standards erforderlich sind, aber sie haben inhärent eine geringere Überlebensfähigkeit als ihre genuteten Pendanten.

Auch die Hitzebeständigkeit ist für viele Flugzeuganwendungen äußerst wichtig. Genutete Spulen können hohen Temperaturen von bis zu 220 °C standhalten und eignen sich daher für spezifische Anwendungen, bei denen ein hoher Widerstand wichtig ist. Während nutenlose Konstruktionen Temperaturen von bis zu 150 °C bewältigen können, sind sie aufgrund der selbsttragenden Natur des Spulendesigns bei extremen Temperaturen anfälliger für einen Zusammenbruch.

Expertise im Bereich Motion Engineering

Es kann ein Drahtseilakt sein, die Kapazitäten von Motoren mit und ohne Nut ins Gleichgewicht zu bringen, insbesondere wenn man die kritische Natur von Luftfahrtanwendungen bedenkt. Durch Designberatung kann der Wert einer Bewegungslösung maximiert werden, indem die Anzahl der Designiterationen und die Zeit bis zur Markteinführung minimiert und die Leistung des Systems optimiert werden.

Sowohl genutete als auch nutenlose Motorkonstruktionen könnten am besten geeignet sein – und die Anwendung würde möglicherweise auch von einer maßgeschneiderten Entwicklung des Bewegungssystems profitieren, neben den vielfältigen weiteren Designüberlegungen. Bei Portescap arbeiten wir kontinuierlich an Luftfahrtprojekten zur Optimierung von Antriebssystemen für Flugzeuge auf der ganzen Welt.

Bildtexte:

Bild 1: Nutenmotoren sind von Natur aus robust, da die Spule in die Laminierung eingesetzt wird.

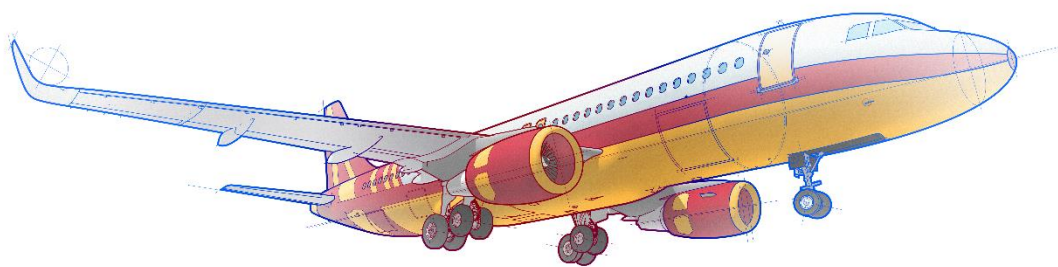


Bild 2: BLDC-Motoren werden in der Luftfahrt verwendet, um ein kompaktes, leistungsdichtes Paket zu liefern.

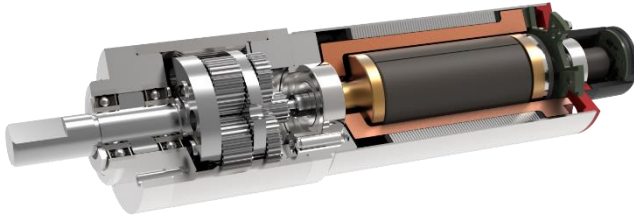


Bild 3: Portescap kann eine komplette Bewegungslösung einschließlich Getriebekopf bereitstellen.

Das mit dieser Pressemitteilung zur Verfügung gestellte Bildmaterial darf nur in Zusammenhang mit diesem Text verwendet werden und unterliegt dem Urheberschutz. Bitte wenden Sie sich an DMA Europa, wenn Sie eine Bildlizenz für die weitere Verwendung benötigen.

Über Portescap

Portescap bietet die breiteste Palette von Miniatur- und Sondermotoren in der Branche. Diese umfasst kernlose Bürsten-DC-Motoren, bürstenlose DC-Motoren, Can-Stack-Schrittmotoren, Getriebe, digitale Linearantriebe und Scheibenmagnet-Technologien. Unsere Produkte lösen seit mehr als 70 Jahren vielfältige Aufgaben in der Antriebstechnik in einem breiten Anwendungsspektrum in den Bereichen Medizin, Biowissenschaften, Instrumentierung, Automation sowie in der Luft- und Raumfahrt.

Portescap hat Produktionszentren in den Vereinigten Staaten und Indien und nutzt ein globales Produktentwicklungsnetzwerk mit Forschungs- und Entwicklungszentren in den Vereinigten Staaten, China, Indien und in der Schweiz.

Weitere Informationen: www.portescap.com

Press contact:

Portescap

Katie Guiler

Digital Marketing Specialist III

Tel.: 678-612-8592

Portescap.sales.europe@regalrexnord.com

PR Agency:

DMA Europa

Anne-Marie Howe

Progress House, Midland Road, Worcester, WR5 1AQ, UK

Tel.: +44 (0) 1905 917477

anne-marie.howe@dmaeuropa.com

news.dmaeuropa.com