

Vollständig geschützte GaN-Leistungs-ICs sorgen für robuste und kostengünstige Motorantriebe

GaNFast™-Leistungs-ICs mit GaNSense™-Technologie von Navitas ermöglichen höchsten Schutz und fortschrittliche Sensorik

By [Alfred Hesener](#), Senior Director Industrial and Consumer, Navitas Semiconductor

Motorantriebe: Kommende Lösungen „elektrifizieren unsere Welt“

Motoren verbrauchen fast 50% des in Europa produzierten Stroms [1]. Die Länder haben daher Vorschriften und Standards geschaffen, um sicherzustellen, dass der Strom so effizient wie möglich verbraucht und das Stromnetz so wenig wie möglich beeinträchtigt und gestört wird. Antriebe mit variabler Drehzahl (VSD; Variable Speed Drives) sind heute weit verbreitet, da sie den Energieverbrauch im Vergleich zu älteren Asynchron-/Induktionsmotoren mit konstanter Drehzahl um bis zu 90% reduzieren [2]. Gleichzeitig bieten sie weitere Vorteile wie eine geringere Motorgröße, verbesserte Dynamik und mehr Zuverlässigkeit [9].

Standards wie die IEC 61000 wurden geschaffen, um das Stromversorgungsnetz in Bezug auf Störfestigkeit und Emissionen elektrischer Geräte zu unterstützen, da große induktive Lasten von Motorantrieben die Stabilität des Stromnetzes vor Ort erheblich beeinträchtigen können. Um diese Standards zu erfüllen, wurden verschiedene Techniken in das Motorantriebssystem integriert, darunter eine aktive Leistungsfaktorkorrektur (PFC; Power-Factor Correction), die die verzerrte Welle wieder in eine Sinuswelle zurückmoduliert, um die Wirkleistung aus dem Versorgungsnetz zu maximieren.

GaN erhöht die Leistungsfähigkeit und senkt die Kosten

Galliumnitrid (GaN) ist ein Halbleiter mit großer Bandlücke (WBG; Wide-Bandgap), der im Vergleich zu älteren Silizium-Pendants überlegene Eigenschaften bietet, u.a. bis zu 20-mal schneller schaltet und die Leistungsdichte um mehr als das 3-fache erhöht. Der Einsatz von GaN-Leistungs-ICs in einem Antriebssystem für PFC- und Wechselrichterstufen senkt die Leistungsverluste, was zu niedrigeren Gesamtbetriebskosten (TCO; Total Cost of Ownership) der gesamten Motorantriebs-Lieferkette führt [3].

Kostenkategorie	Rohmaterialien	Bauteilkosten			Montage	Entwicklungsaufwand	Transport	Verwendung	Recycling
		Leistungselektronik	Steuerung/Regelung	Passive Bauelemente					
Gängige Treiber	Kupfer, Aluminium	Leistungsschalter, Gleichrichter	Mikrocontroller, digitale Signalprozessoren	EMI-Filter, Kühlkörper, Induktivitäten	Manuelle Montage, Thermik	F&E-Bandbreite für Regelkreis, Gate-Ansteuerung	Größe und Gewicht	Elektrischer Wirkungsgrad	Komplexer Materialmix
GaNFast Vorteil	Geringerer Materialverbrauch durch weniger Verluste	Geringere Bauteilkosten durch höhere Integration (weniger externe Bauelemente)	Einfacherer Regelkreis durch GaNSense, höhere Regelkreisbandbreite möglich	Geringere Verluste ermöglichen kleinere Kühlkörper; weniger Störungen für kleinere EMI-Filter	Geringere Montagekosten mit kleinerem / keinem Kühlkörper	Benutzerfreundlichkeit durch hohe Integration bei GaNFast	Kleinerer Kühlkörper und Motor für weniger Gewicht und Größe	Weniger Verluste für geringeren Stromverbrauch	Kleinerer / kein Kühlkörper für weniger Abfall

Tabelle 1: Gesamtbetriebskosten (TCO) für ein Motorantriebssystem und Vorteile der GaNFast-IC-Technologie

GaN-FETs haben keine Umkehr-Erholungsladung (Reverse-Recovery Charge), was sehr schnelles Schalten ermöglicht, das zu 4- bis 5-mal geringeren Schaltverlusten als bei Silizium-IGBTs und -MOSFETs und etwa 50% weniger Verlustleistung führt. Dies führt wiederum zu einer geringeren Abwärme des Bausteins, wodurch Kühlkörper verkleinert oder sogar in Antrieben mit geringerer Leistung eliminiert werden können. Im Jahr 2021 erreichten die Kosten für maschinell bearbeitetes Aluminium in Kühlkörperqualität mit einem Preis von etwa 8 US-\$/kg ein 13-Jahres-Hoch, sodass die Minimierung der Kühlkörperanforderungen erhebliche Einsparungen bei den Gesamtsystemkosten mit sich bringt. Zudem ergeben sich geringere Versandkosten aufgrund des reduzierten Systemgewichts.

Power Loss Comparison between IGBT, SJ-MOSFET, and GaNFast IC in Motor Drives

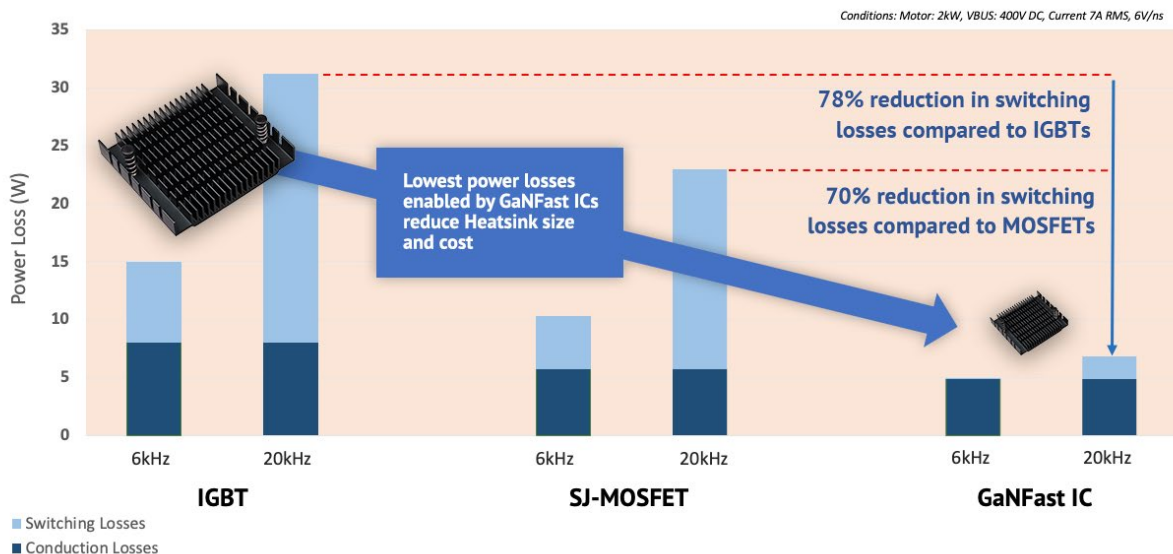


Bild 1: GaNFast-ICs von Navitas weisen im Vergleich zu Silizium-IGBTs und -MOSFETs die geringsten Leistungsverluste über alle Schaltfrequenzen auf (Quelle: Berechnungen von Navitas Semiconductor)

Die Kombination aus sehr niedrigen Schaltverlusten und null Umkehr-Erholungsladung ermöglicht einen neuen Freiheitsgrad bei Schaltfrequenzen für VSDs. Motorantriebe wurden bisher auf eine niedrige Schaltfrequenz ausgelegt, um Schaltverluste zu reduzieren. Durch den Einsatz von GaN können die Schaltfrequenzen nun deutlich von unter 16 kHz auf über 65 kHz erhöht werden, was zahlreiche Vorteile mit sich bringt. Erstens kann die Induktivität der Motorwicklung reduziert werden, was die Motorgröße verkleinert und den Wirkungsgrad aufgrund der geringeren ohmschen und HF-Verluste in den Wicklungen erhöht. Zweitens wird das gesamte Spektrum des vom VSD erzeugten und in das Netz zurückgespeisten leitungsgebundenen Rauschens in eine höhere Frequenz verschoben. Dies ermöglicht kleinere EMI-Filterkomponenten sowie kleinere und kostengünstigere Eingangsfiler. Ein dritter Vorteil ist die verbesserte Dynamik aufgrund der größeren Regelkreisbandbreite. Dies ist vorteilhaft für hochdynamische Systeme wie Industrienähmaschinen, Drahtbonder und Servos, um deren Genauigkeit und Drehzahl erheblich verbessern zu können.

In realen Anwendungen wie Motorantrieben können anormale Betriebsbedingungen zu hohen transienten Spannungen an den Leistungsschaltern führen. Blitzeinschläge in Stromleitungen sind ein häufiges Problem, aber auch das Ein- oder Ausschalten großer elektrischer Lasten. Diskrete GaN-FETs reagieren empfindlich auf diese Überspannungen, aber die monolithische GaN-Integration ermöglicht das Hinzufügen robuster 2kV-ESD-Dioden (elektrostatische Entladung). Es ist auch ratsam, die maximale Spannung auf die Durchbruchspannung des Bauelements zu begrenzen – die heute übliche Praxis für Silizium-IGBTs. GaN-ICs von Navitas sind für Dauerspannungen von 650 oder 700 V und Transientenspannungen von bis zu 800 V ausgelegt, was deutlich über den gängigen Spannungsspitzen in alltäglichen Systemen liegt und sie daher äußerst robust macht.

Integration verbessert Wirkungsgrad, Steuerung und Robustheit von Motorantrieben

GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie vereinen die Leistungsfähigkeit von GaN mit Treiber-, Schutz- und Dynamik-Funktionen, wodurch sie sich ideal für hochzuverlässige Motorantriebe eignen. Die optimierte Gate-Treiberschaltung mit zugehörigem Spannungsregler und Schutzschaltungen, wie Übertemperatur- und Überstromerkennung, verfügt über die autonome Fähigkeit zum Selbstschutz. Alle diese Funktionen sind vollständig integriert, was zu überlegener Leistungsfähigkeit bei hoher Zuverlässigkeit führt. Das Eingangssignal lässt sich über ein einfaches digitales Signal steuern, wodurch externe Komponenten entfallen und sich der Platzbedarf auf der Leiterplatte verringert. Dies ist für kompakte Motorantriebe von Vorteil, bei denen die komplette Elektronik in das Motorgehäuse passt [4,5,6].

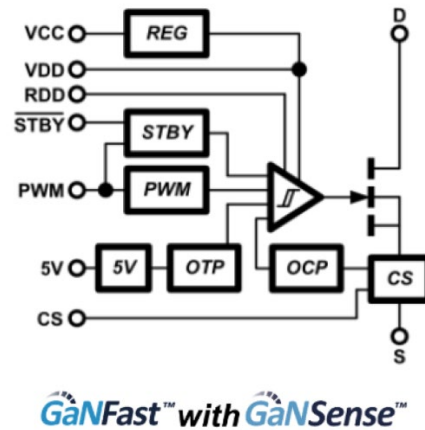


Bild 2: Vereinfachtes Blockdiagramm eines vollintegrierten GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie von Navitas

Im Vergleich zu diskreten Silizium- oder GaN-Ansätzen kann die GaNSense-Technologie in nur 30 ns „erkennen und schützen“ – d.h. bis zu 6-mal schneller als diskretes Silizium oder GaN, was die Zuverlässigkeit auf Systemebene verbessert.

Die Integration der Temperaturkontrolle in die Leistungsschalter bietet eine höhere Präzision und Echtzeit-Erfassung im Vergleich zu einem herkömmlichen Temperatursensor mit geringer Genauigkeit auf einem Kühlkörper. Dies ist entscheidend für Motorantriebe, die eine aktive Kühlung mit Flüssigkeit oder Zwangslüftung verwenden. Die integrierte Übertemperaturschutzschaltung schaltet den GaN-IC ab, wenn die eingestellten Temperaturen überschritten werden, was einen schnellen Schutz des Systems garantiert.

Der Vorteil der verlustfreien Strommessung mit GaNSense erübrigt große und teure Shunt-Widerstände, was die Systemgröße und -kosten erheblich reduziert, während der schnelle Überstromschutz für die Robustheit des Systems erhalten bleibt, wie sie in industriellen Motorantrieben für die Fabrikautomation erforderlich ist.

Außerdem verringert sich die Gesamtzahl der Bauelemente, was zu einer deutlich geringeren Ausfallrate (FIT; Failures in Time) und einem zuverlässigeren System führt. Navitas hat vor kurzem eine beschränkte Garantie von 20 Jahren auf seine Produkte angekündigt, was ein Novum in der Branche ist und die außergewöhnliche Zuverlässigkeit der Bauelemente unterstreicht.

Motorantrieb mit geringer Leistung – Umwälzpumpe

Viele Häuser und Gebäude in kälteren Klimazonen werden durch Heizkörper beheizt, die mit Warmwasser aus einer Zentralheizung versorgt werden. Eine kleine Umwälzpumpe (<70 W) bringt das Warmwasser zu den Heizkörpern und verbraucht vor allem im Winter eine erhebliche Menge an elektrischer Energie. Dabei handelt es sich jedoch nicht nur um eine einfache Wasserpumpe, die in einer Ecke vor sich hin summt – ausgeklügelte Steueralgorithmen passen den Pumpenbetrieb basierend auf dem Differenzdruck in den Leitungen an, um den Stromverbrauch zu reduzieren.

Darüber hinaus kann das in den Rohren zirkulierende Wasser zusammen mit den Thermostatventilen und Armaturen Geräusche und Vibrationen erzeugen, die die Pumpe zu minimieren versucht. Diese Eigenschaften verbessern den Energieverbrauch in vielen verschiedenen Pumpenanwendungen über den gesamten Leistungsbereich dieser Pumpen [7].

Die Integration von GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie reduziert die Systemgröße aufgrund der geringen Verlustleistung und des hohen Integrationsgrads, wodurch eine viel kompaktere Lösung in das Motor- und Pumpengehäuse passt. Darüber hinaus ermöglicht die verbesserte Regelbarkeit aufgrund der hohen Schaltfrequenzen von GaNFast eine verbesserte Vibrationsdämpfung der Wassersäule und einen geringeren Stromverbrauch.

Hauptmerkmal	Auswirkung auf die Anwendung	Reduzierung der Gesamtsystemkosten durch GaNFast-ICs (Wechselrichterstufe)
30% geringere Leistungsverluste als bei Silizium-MOSFETs	Einfacheres Thermal Design, bis zu 10% geringere PCB-Kosten und -Größe	-15%
30 externe Bauelemente weniger	Reduzierung der Systemgröße. Vollständiger Schutz gegen Überstrom und Übertemperatur ohne externe Bauelemente.	
10-mal kürzere Totzeit (1 bis 0,1 μ s)	5% mehr Wirkungsgrad durch verbessertes Regelkreisverhalten; weniger Oberwellen und Drehmomentwelligkeit.	

(Schätzungen von Navitas Semiconductor)

Tabelle 2: GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie ermöglichen 5% mehr Wirkungsgrad und 15% weniger Gesamtsystemkosten in Antrieben mit geringer Leistung

Motorantrieb mit hoher Leistung – Waschmaschinentrommel

Das motorgetriebene System zum Drehen der Waschmaschinentrommel erfordert hohe Robustheit, wobei die Waschprogramme kontinuierlich optimiert werden, um Waschmittel, Wasser und Strom zu sparen. Der Trend weg von herkömmlichen riemengetriebenen Systemen hin zum Direktantrieb, bei dem ein großer, flacher, scheibenförmiger Motor direkt an der Trommel befestigt ist, ermöglicht größere Trommeln und macht den Riemen mit seiner begrenzten Lebensdauer und zusätzlichen Vibrationen überflüssig. Da der Motor insbesondere bei niedriger Drehzahl über ein deutlich höheres Drehmoment verfügt, wird der Betrieb über alle Waschprogramme hinweg verbessert, einschließlich eines besseren Umgangs mit Vibrationen und bei einer ungleichmäßigen Verteilung der Last. Diese Direktantriebsmotoren (ca. 600 W) haben viele Pole und erfordern daher im Vergleich zu herkömmlichen BLDC-Riemenantriebsmotoren schnellere Schaltfrequenzen, um die gewünschte Drehzahl zu erreichen [8].

GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie bieten eine geringere Verlustleistung, vollen Schutz und Dynamik, was zu kleineren Kühlkörpern, einem geringeren Gewicht und größerer Waschkapazität führt. Ohne Reverse-Recovery können hohe Frequenzen für Motoren mit vielen Polen auch bei moderaten Schaltfrequenzen erreicht werden, da die Halbbrücken idealerweise eine kurze Totzeit aufweisen. Dies reduziert auch hörbare Geräusche und Leistungsverluste im Motor. Der integrierte Übertemperatur- und Überstromschutz erhöht die Robustheit der Waschmaschine, indem die ungleichmäßige Verteilung der Wäsche in der Trommel beim Anlaufen verhindert und gleichzeitig die Anzahl externer Bauelemente reduziert wird.

Hauptmerkmal	Auswirkung auf die Anwendung	Reduzierung der Gesamtsystemkosten durch GaNFast-ICs (Wechselrichterstufe)
40% geringere Leistungsverluste als bei Silizium-IGBTs	30% geringere Kosten und Größe des Kühlkörpers; 15 bis 20 °C niedrigere Temperatureinsparungen	-26%
30 externe Bauelemente weniger	Reduzierung der Systemgröße. Schutz durch schnelles autonomes Erkennen von Überströmen in 30 ns.	
20-mal kürzere Totzeit (2 bis 0,1 µs)	8% mehr Wirkungsgrad durch verbessertes Regelkreisverhalten; weniger Oberwellen und Drehmomentwelligkeit.	

(Schätzungen von Navitas Semiconductor)

Tabelle 3: GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie ermöglichen 8% mehr Wirkungsgrad und 26% weniger Gesamtsystemkosten in Antrieben mit hoher Leistung

Fazit: GaNFast-ICs erhöhen den Wirkungsgrad und senken die Kosten

Jeder Motor hat andere Anforderungen, aber die Trends gehen in dieselbe Richtung: höherer Wirkungsgrad, mehr Leistungsfähigkeit und niedrigere Kosten. GaNFast-ICs ermöglichen eine höhere Systemeffizienz und Leistungsfähigkeit, während sie gleichzeitig die Gesamtbetriebskosten des Systems senken. GaNFast-ICs mit GaNSense-Technologie bieten ein Höchstmaß an Integration – Ansteuerung, Stromregelung, Schutz und Sensorik, um überragende Leistungsfähigkeit mit höchster Zuverlässigkeit und Robustheit zu gewährleisten, wie sie in modernen Motorantriebsanwendungen erforderlich ist.

Referenzen:

[1] ec.europa.eu, „Electric motors and variable speed drives“

[2] Engie, „5 Reasons to Install Energy-Saving VFDs“

[3] Overview on EU regulations, e.g., <https://www.coolproducts.eu/product/washingmachines/>

[4] Navitas Semiconductor, Application note AN-015, Dec 2021

[5] US patent 8390241 „Motor drive based on III Nitride devices“

[6] Navitas Semiconductor, „GaNFast™ Power IC Solutions for EV, Solar & Industrial“, Bodo's Wide Bandgap Event, Dec 2021

[7] Navitas Semiconductor, „GaNFast™ Architecture, Performance in High-Power Systems“, Bodo's Wide Bandgap Event, Dec 2021

[8] Smart Water Magazine on smart solutions from Grundfos, 2019, <https://smartwatermagazine.com/news/grundfos/grundfos-smart-water-solution-deployed-over-7000-villas-across-uae>

[9] LG (South Korea), „6 Motion direct drive“, <https://www.lg.com/uk/washing-machines/lg-aidd>