

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 92 (2001)

**Heft:** 11

**Artikel:** Motoren zum direkten Anschluss an Hochspannung

**Autor:** Eriksson, Göran

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855719>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Motoren zum direkten Anschluss an Hochspannung

Die grossen Elektromotoren, die Industriemaschinen wie Verdichter und Pumpen antreiben, arbeiten im Leistungsbereich von 1000 kW bis 50 000 kW bei Spannungen zwischen 3 kV und 15 kV. Da die Spannung der sie speisenden Übertragungsleitung oft weit darüber liegt, erfordert die Versorgung des Antriebs

mit der passenden Spannung einen oder gar mehrere Transformatoren zwischen Versorgungsnetz und Motor. Neue Technologien ermöglichen den direkten Anschluss solcher Motoren an das Versorgungsnetz ohne Zwischenschalten zusätzlicher Komponenten.

## Generatorentechnologie auf Motoren übertragen

Transformatoren erhöhen nicht nur die Kosten, sondern senken auch den Ge-

Göran Eriksson

samtwirkungsgrad einer Anlage und bergen zudem Umweltrisiken wie Brandgefahr und Verschmutzung des Erdreichs durch Öl. Ein ohne Transformator direkt

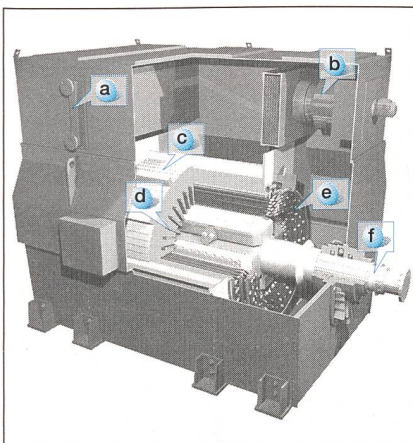


Bild 1 Schnitt durch den Motorformer

a = Wärmetauscher; b = Lüftungseinheit; c = Kernstück des Stators; d = im Statorschlitz eingefügtes Kabel; e = Überhang der Kabelwindungen; f = Rotor

an das Hochspannungsnetz anschliessbarer Motor wäre frei von diesen Nachteilen.

Im Generatorbereich hatten Forschungs- und Entwicklungsingenieure von ABB bereits einen direkt mit Hochspannung speisbaren Generator entwickelt – den Powerformer Light [1, 2]. Damit stand die Technologie zur Verfügung, die auch den Bau von Motoren – in Analogie zum Powerformer als Motorformer bezeichnet – ermöglicht, die an Spannungen bis 15 kV angeschlossen werden können.

Im Motorformer kommen ebenso wie im Powerformer Rundleiter zum Einsatz, die aus handelsüblichen VPE/XLPE-Kabeln<sup>1</sup> bestehen und Spannungen von 15 kV und höher zulassen. Geplant ist die Entwicklung von Motorformern mit Nennspannungen bis 150 kV. Höhere Spannungen, wenngleich technisch möglich, dürften wirtschaftlich unattraktiv sein, da nur wenige Industrienetze Spannungsniveaus über 150 kV aufweisen (typisch: 90–155 kV). Die ersten Motorformer werden als Synchronmaschinen ausgeführt [3]. Doch dürfte eine ausreichende Nachfrage später auch zum Bau von Asynchronmaschinen führen.

## Die technischen Herausforderungen

Wegen des meist rauen industriellen Umfelds legen Motorbetreiber grossen Wert auf robuste und haltbare Maschinen.

Vollkommen neu sind beim Ständer des Motorformers die Wicklungen: Sie bestehen aus VPE/XLPE-isoliertem Kabel. Dieses ist – wie bei herkömm-

lichen Motoren und damit anders als beim Powerformer – im Ständerblechpaket radial vom Luftspalt weg angeordnet (Bild 1). Der Ständer wird auch anders gekühlt; je nach Nennleistung kommt direkte Wasserkühlung oder eine Kombination aus direkter Wasserkühlung und Luftkühlung zum Einsatz.

## Niedrige Kräfte zwischen den Kabeln

Die mechanische Abstützung des Kabels im Ständer und in den Wickelköpfen stellt bei konventionellen Motoren ein Problem dar, da die Kräfte zwischen elektrischen Leitern mit dem Quadrat des Stromes steigen ( $F = k \cdot I^2$ ). Im Motorformer sinkt der Strom auf Grund der höheren Spannung deutlich. Damit nehmen die Kräfte zwischen den Kabeln auf leicht beherrschbare Werte ab: typisch sind 50–100 N pro Meter Leiterlänge. Diese bescheidenen Kräfte können mit hochwertigen, zwischen die Kabel platzierten Silikonkautschuk-Profilen aufgefangen werden. In der Nut liegt zwischen jeder Kabelschicht ein flexibles Element.

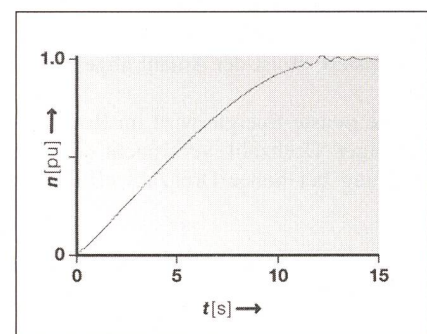


Bild 2 Motordrehzahl n beim Anlauf

An den Wickelköpfen werden einfache Anordnungen aus Bändern und Silikonkautschuk verwendet. Auch die Flexibilität des VPE/XLPE-Kabels gewährleistet einen sicheren Betrieb nach einem Kurzschluss.

## Das Problem beim Anlassen

Die Bilder 2 bis 5 beschreiben die tatsächlichen Grössen Läuferdrehzahl (n), Temperatur (T), Strom (I) und Spannung

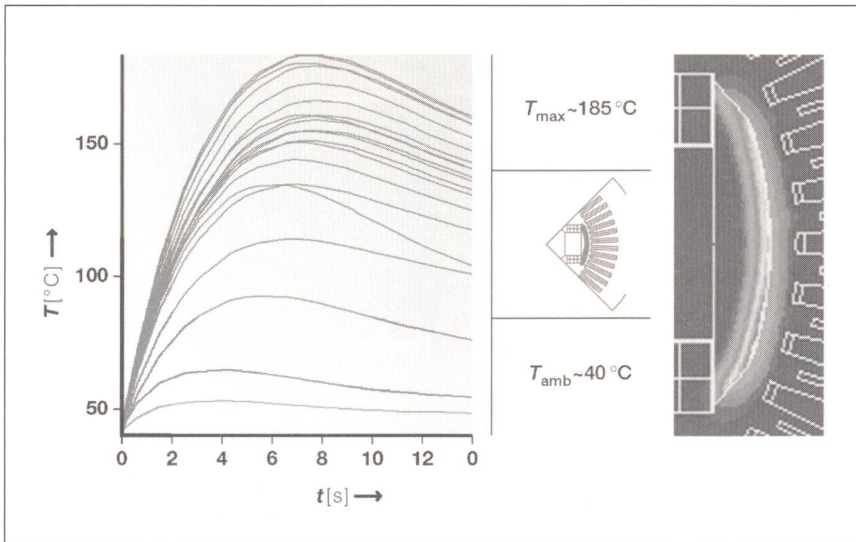


Bild 3 Temperaturverlauf im Polschuh

Nach der Finite-Elemente-Methode ermittelter Temperaturverlauf für verschiedene Lagen innerhalb des Polschuhs.  $T_{amb}$  = Umgebungstemperatur

(U) beim Start eines Prototyps am realen Versorgungsnetz von Stenungsund in Schweden. Die dargestellten Grössen weichen nicht signifikant von denjenigen herkömmlicher Motoren ab.

Bild 3 zeigt Temperaturverläufe im Innern des Rotorkopfs erreicht. Gegen innen nimmt sie schrittweise ab. Jede der im Bild angegebenen Linien zeigt die berechnete Temperatur für eine gegebene Tiefe. Zusätzlich ist der Temperaturverlauf zeitabhängig: Nach rund 12 Sekunden, wenn der Motor mit dem Versorgungsnetz synchronisiert ist, ist der Anlauf abgeschlossen.

Die meiste Energie wird im Rotor bei niedriger Drehzahl verbraucht, da die Kühlung bei hoher Drehzahl effizienter

wird. Daher ist die Temperatur auf ihrem Maximum (nach rund acht Sekunden) vor Erreichen der vollen Geschwindigkeit. Da das verwendete Kabel empfindlicher auf Temperatur reagiert als herkömmliche Kabel, ist der Temperaturverlauf ein wesentlicher Faktor.

Das Anlassen von Elektromotoren für Schwerlastbetrieb gehört zu den kritischen Punkten beim Entwurf des Motors. Direktes Einschalten wäre zwar am kostengünstigsten, würde aber das Netz kurzzeitig extrem belasten. Der Einschaltstrom beträgt üblicherweise das 2- bis 5fache des Nennstroms.

Die Problemlösung besteht darin, dass die Konstrukteure jeden Motor ganz individuell für die jeweilige Anwendung bemessen. Bei der Auslegung des Motors für das Anlassverfahren wird zunächst

der Hochlauf von Null auf volle Drehzahl simuliert. Das für die Simulation verwendete Modell berücksichtigt die anzutreibende Last, die elektrischen Parameter des Motors und die Werte des Versorgungsnetzes wie etwa Spannungsniveau, zulässiger Spannungseinbruch und maximaler Kurzschlussstrom. Die endgültigen Motorparameter ergeben sich durch Optimierung des mechanischen Drehmoments und des Spannungsabfalls im Netz, unter Berücksichtigung des Ziels, Motorüberhitzungen sicher auszuschliessen.

Durch den direkten Anschluss des Motors an das Hochspannungsnetz steht gewöhnlich eine höhere Kurzschlussleistung zur Verfügung. Entsprechend erhöht sich das Anlaufmoment, was bei der Auslegung zu berücksichtigen ist, um mechanische Fehler zu vermeiden. Während der kurzen Anlaufphase verbraucht der Motorformer Blindleistung aus dem Netz, und es kommt kurzzeitig zu einem Spannungsabfall. Mit einem Optimierungsverfahren, das dem für herkömmliche Motoren gleicht, lässt sich der Motorformer so dimensionieren, dass dieses Problem nicht mehr auftritt. ABB empfiehlt den Einsatz von Kondensatorbatterien oder Drosselspulen, sollte das direkte Einschalten nicht zulässig sein. Dies stellt einen einfachen Weg dar, die Netzspannung während des Anlaufvorgangs anzuhoben: Die Kondensatorbatterien werden gleichzeitig mit dem Motorformer ans Netz geschaltet und kurz vor der Synchronisation von Motor- und Netzfrequenz wieder vom Netz getrennt. Das Produktprogramm umfasst die nötigen Komponenten serienmässig.

Während der Anlaufphase entstehen im Läufer grosse Mengen Energie, die zu einer lokalen Erwärmung der Oberfläche seiner Blechpakete führen. Um die Überhitzungsgefahr für den Läufer und die

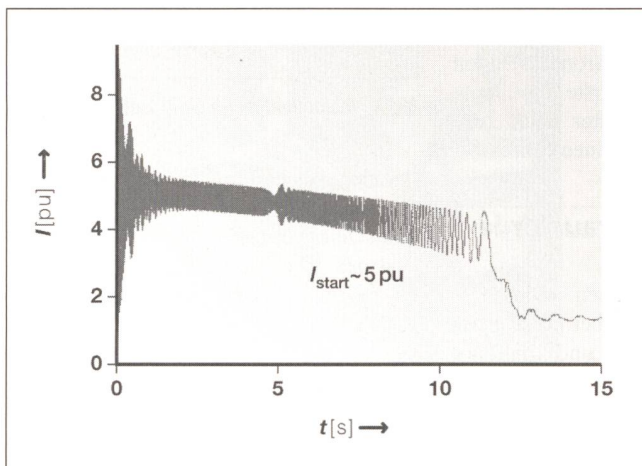


Bild 4 Ständerstrom I beim Anlauf

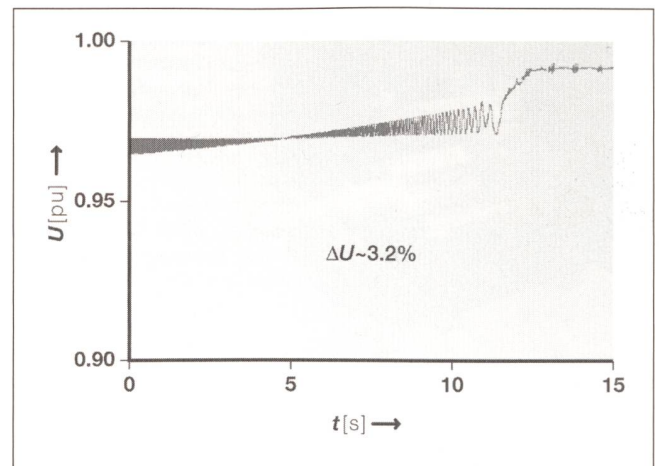


Bild 5 Motorspannung U beim Anlauf

Wickelköpfe auszuschalten, überträgt ein kontinuierlicher Kühlluftstrom die Wärmeenergie zu einem auf der Maschine angeordneten Wärmetauscher.

### Einsparungen durch Vereinfachung

Der Motorformer erlaubt diverse Einsparungen dank der Einfachheit seines Grundkonzeptes. Er kommt ohne Trans-

formator aus, weil er seine Energie direkt aus dem Hochspannungsnetz bezieht. Das bedeutet weniger Systemkomponenten und damit im Allgemeinen auch eine niedrigere Investition. Ein weiterer wichtiger Vorteil besteht darin, dass er weniger Platz beansprucht als eine herkömmliche Anlage. Daraus resultieren entweder kleinere Gebäude oder bei bereits bestehenden Räumen mehr Platz für anderweitige Nutzungen.

Mit dem Motorformer sinken die Gesamtenergieverluste generell um bis zu 30%. Da die elektrische Energie den Hauptteil der Betriebskosten ausmacht, ergeben sich dadurch beträchtliche Einsparungen. Die geringere Anzahl von Komponenten trägt zudem auch zu einer Senkung der Wartungs- und Ersatzteilkosten bei. Schliesslich verringert sich auch die Gefahr von Störungen und Produktionsausfällen.

### Referenzen

- [1] M. Leijon: Powerformer – ein grundlegend neuer Generator verbessert Gesamtwirtschaftlichkeit von Kraftwerken. ABB-Technik 2/98, 21–26.
- [2] M. Leijon et al.: Cigré 1998, paper 11/37.
- [3] AMS Synchronous Motors brochure, 3BSM 006539, 2001.

### Adresse des Autors

ABB Motors AB, Finnslätten, SE-72167 Västerås: Göran Eriksson, goran.l.eriksson@se.abb.com

<sup>1</sup> VPE = vernetztes Polyäthylen bzw. englisch XLPE = cross-linked polyethylen. Isoliermaterial bei Kunststoffkabelisolierungen.

## Des moteurs à raccordement direct sur réseau haute tension

Les grands moteurs électriques entraînant des machines industrielles telles que compresseurs et pompes, fonctionnent dans la gamme de puissance de 1000 à 50000 kW sous des tensions de 3 kV à 15 kV. Etant donné que la tension des lignes d'alimentation est souvent très supérieure, il faut prévoir un ou même plusieurs transformateurs entre le réseau et le moteur. Des technologies nouvelles permettent le raccordement direct de ces moteurs au réseau d'alimentation sans que des composants intermédiaires soient nécessaires.



Ihr Partner für gesicherte Stromversorgung



z.B. in Infrastrukturanlagen

**BENNING**

Power Electronics GmbH

Industriestrasse 6, CH-8305 Dietlikon  
Tel. 01 805 75 75, Fax 01 805 75 80  
<http://www.benning.ch>



# agil<sup>3</sup>

## Der Daily 7m<sup>3</sup>, der agilste unter den „City Trucks“.

Fährt wie ein Auto, lädt wie ein Truck. Der kleinste Daily mit 7m<sup>3</sup> Ladevolumen setzt Massstäbe in der Stadt. Absolut

überzeugend: seine enorme Wendigkeit, das komfortable Handling und die hohe Wirtschaftlichkeit. Besonders spritzig

auch mit Common-Rail-Technik (Unijet). Der Daily 7m<sup>3</sup> – gross in der Stadt, klein im Preis. Alles Weitere erleben

Sie bei einer Probefahrt.

[www.iveco.com](http://www.iveco.com)

**IVECO**

Was nützen teure Betriebsmittel wenn kein Strom vorhanden ist?

# USV

Sicherheit für Ihre wichtigen Anwendungen

Statische oder dynamische Systeme mit oder ohne integriertem Diesel- oder Gas-Motor und Kurzzeit Energiespeicher (Powerbridge)



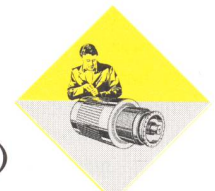
Leistungsbereich  
statisch 3 - 4000 kVA  
bei Parallelbetrieb  
dynamisch 150 kVA - 40 MVA  
bei Parallelbetrieb

Althardstrasse 190  
8105 Regensdorf  
Tel. 01 870 93 93  
Fax 01 870 94 94

Buchsweg 2  
3052 Zollikofen  
Tel. 031 915 44 44  
Fax 031 915 44 49

Bureau Suisse romande  
2500 Bienne 6  
Case postale 101  
Tel/Fax. 032 342 48 63

Emmenweid  
6021 Emmenbrücke  
Tel. 041 209 60 60  
Fax 041 209 60 40



**gebrüder meier ag**  
elektrische maschinen und anlagen