

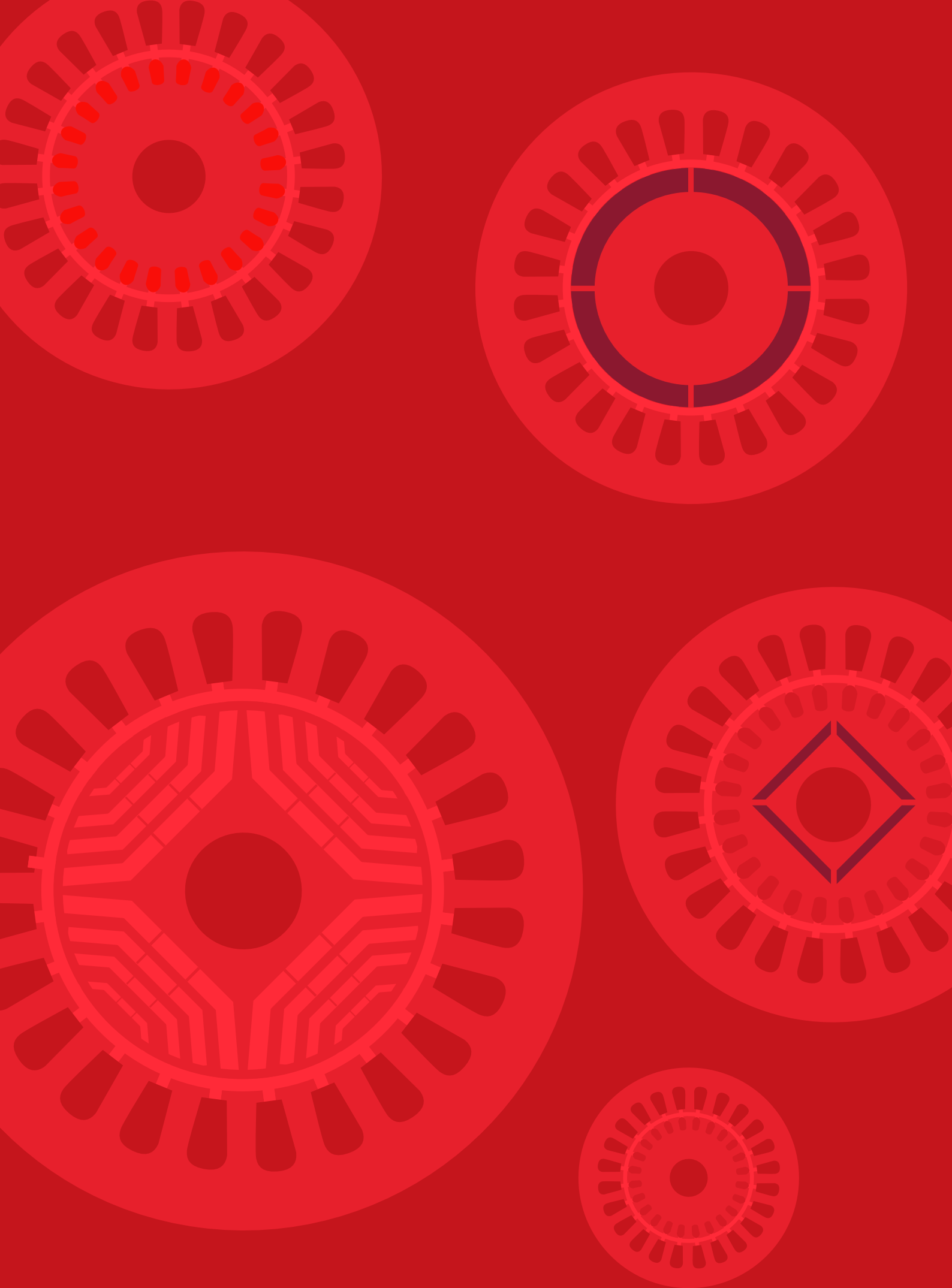
# Motorteknologier for en højere systemvirkningsgrad

En oversigt over trends og applikationer.



**Frihed til  
at vælge**

Styring og regulering af en lang række motortyper med kun én VLT® type



# Én VLT® for alle

En lind strøm af innovative teknologier til trefasede motorer hævder at kunne opnå den højeste energieffektivitet i kommercielle og industrielle applikationer. Denne brochure skaber et overblik over teknologierne og deres applikationer, samt opstiller fordele og ulemper ved de enkelte løsninger.

## Tilpassede algoritmer maksimerer systemeffektivitet

Motorproducenterne anvender en række forskellige koncepter for at opnå høj virkningsgrad i elektriske motorer til industrielle og kommercielle applikationer. Selvom alle motorteknologier i samme virkningsgradsklasse leverer sammenlignelig effektivitet på det nominelle driftspunkt, adskiller de sig på mange aspekter såsom opstart eller delbelastningsegenskaber. For brugere er den vigtigste betydning af den brede vifte af motorteknologier, at de har brug for at finde den rigtige teknologi til deres applikation for at opnå maksimal energieffektivitet og tilhørende besparelser.

I princippet kan næsten alle motorer styres med programmerede U/f kurver, som angiver den nødvendige spænding for hver hastighed eller frekvens (spænding vs. frekvens egenskaber). Dog kan den teoretiske effektivitet for hver motorteknologi kun opnås i praksis med kontrolalgoritmer specifikt tilpasset til de enkelte teknologier, da det ellers ikke er muligt at optimere driften for hvert driftspunkt med variabel belastning.

## Lav system diversitet i anlægget

Næsten alle almindelige motorteknologier beskrevet i denne brochure har behov for eller kan styres ved hjælp af en elektronisk styreenhed. Dette faktum rejser dog et spørgsmål: kan alle motorerne styres med kun én type styreenhed? Hvis ikke risikerer brugere og operatører at stå med et uensartet "systemlandskab". I praksis betyder det højere uddannelsesomkostninger til systemdesignere, operatører og vedligeholdelsespersonale. Reserve dele til forskellige typer udstyr øger også omkostningerne.

For brugerne er det en fordel at være i stand til at betjene alle motortyper med kun én type styreenhed (frekvensomformer), fordi det reducerer de tidligere beskrevne omkostninger. Som uafhængig producent af frekvensomformere, leverer Danfoss en løsning, der kan styre alle standard motorer, som almindeligvis avendes i industrielle- og bygningsautomationsapplikationer.

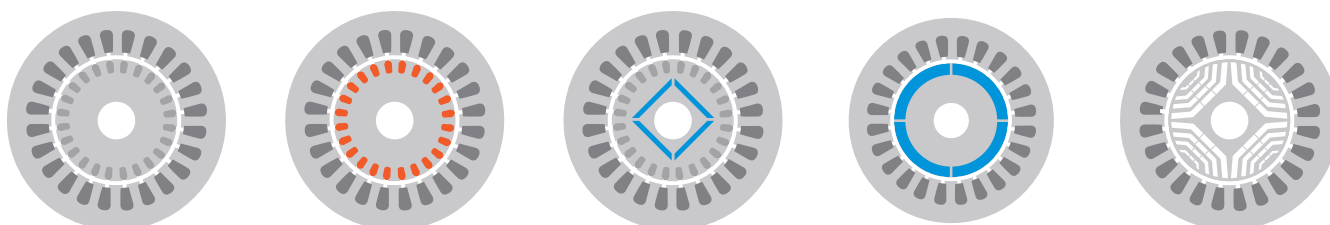
Det gør det muligt for anlægsoperatører at bruge den samme operatørgrænseflade, den samme systemgrænseflade, de samme udvidelser og gennemtestet, pålidelig teknologi over hele effektområdet.

Kontrol af reservedele og vedligeholdelse gøres mere enkelt, og omkostninger til træning falder.

## Nem idriftsættelse og algoritmer for optimal effektivitet

Som uafhængig producent af frekvensomformerløsninger, er Danfoss motiveret til at understøtte alle standard motortyper og fremmer den videre udvikling.

Traditionelt set, har Danfoss frekvensomformere altid haft kontrolalgoritmer for højere effektivitet med standard asynkron-motorer og permanentmagnet (PM) motorer, og nu understøttes også synkronreluktansmotorer med VLT® HVAC FC 102, VLT® AQUA FC 202 og VLT® AutomationDrive FC 302. VLT® frekvensomformeren gør idriftsættelse lige så simpel som med standard asynkronmotorer ved at kombinere brugervenlighed med yderligere hjælpefunktioner såsom automatisk motortilpasning, som måler motorkarakteristika og optimerer frekvensomformerens motorparametre derefter. På den måde er motorens drift optimeret til højeste effektivitet og det hjælper brugere til at reducere energiforbrug og de dermed forbundne omkostninger.



# Fordele ved at forbedre energieffektivitet

Udfasning af fossile brændstoffer, klimaændringer og global opvarmning er blot få af mange årsager til en betydelig reduktion af energiforbruget, og de har politiske konsekvenser. For eksempel har mange lande i verden – ikke blot i EU – etableret obligatoriske effektivitetsklasser for elektriske motorer, fordi motorer omsætter elektrisk energi til mekaniske processer i industrielle og kommercielle sektorer, der står for en stor del af energiforbruget.

Omkring 66 % af det totale industrielle forbrug stammer fra maskiner, som drives af elektriske motorer. Besparelser på 38 milliarder kWh per år kan opnås alene i Tyskland i den industrielle

og kommercielle sektor og offentlige institutioner ved at erstatte eksisterende, årtier gamle frekvensomformere og motorer med moderne drevteknologier. Ved at udvide det til europæisk niveau kan forbruget reduceres med 135 milliarder kWh, svarende til 69 millioner tons lavere CO<sub>2</sub> udledning (kilde til alle tal: ZVEI, "Motors and controlled drives").

Minimumsenergieffektivitetskrav for elektriske motorer er specificeret i EU kommissionens forordning nr. 640/2009. Ændringsforordning nr. 4/2014 udvider omfanget af elektriske motorer.

## Motor typer som overholder de nye effektivitetsklasser

De ovenstående forordninger beskriver nye energieffektivitetskrav i form af IE klasser, hvis nuværende grænser, fra IE1 (laveste klasse) til IE3, stammer fra den europæiske standard EN 60034-30. EN 60034-30-1 definerer også grænser for IE4, som endnu ikke er forankret i loven. Ændringer til eksisterende motorteknologier, såvel som nye eller genopdagede motorteknologier, har været nødvendige for at opnå minimum energieffektivitetsniveau for mange af klasserne. Som resultat konfronteres brugerne nu med en

række trends på markedet. De har brug for at vide, hvad de forskellige termer betyder og hvad de forskellige teknologier har at tilbyde. Er alle motortyper egnede til enhver type applikation?

## Effektivitetsklasse IE5

EN 60034-30 standarden indeholder også klasse IE5 og skitserer mulige grænseværdier for denne klasse. I standarden er det dog påpeget at realisering er vanskelig. Derfor er IE5 klassen ikke inkluderet i diskussionen om de individuelle motorteknologier i denne brochure.

## IES klasser for motor-frekvensomformersystemer

Svarende til motoreffektivitetsklasserne, er IE klasser for frekvensomformer og IES klasser for motor-frekvensomformersystemer også defineret. Detaljeret informationer omkring disse effektivitetsklasser er tilgængelig online på [www.danfoss.com/vltenergyefficiency](http://www.danfoss.com/vltenergyefficiency) og i Danfoss brochuren "Ecodesign. Vi møder de strengeste krav - Dine".

## I en nøddeskal

Formålet med denne brochure er at give et hurtigt overblik over de individuelle motorteknologier. Brochuren beskriver teknologierne og deres karakteristika, anvendelsesområder samt fordele og ulemper på en letforståelig måde. På denne måde hjælper vi brugerne med at evaluere egnede motorteknologier og stille producenterne essentielle spørgsmål angående deres applikation. Følgende motortyper behandles i brochuren:

- Standard asynkronmotor
- Asynkronmotor med lavimpedansrotor
- Permanent-magnet (PM) motor
- EC motor (særligt tilfælde)
- Direkte startende PM motor
- Synkronreluktansmotor

Mange elektriske motorer og drev bruger ekstra unødvendig energi, fordi de ikke opererer i det optimale driftsområde. Derfor sætter motorproducenter nu mere fokus på at optimere miljøvenligheden i systemer, og i særdeleshed deres energieffektivitet.







This selection of currently applicable and upcoming minimum requirements shows that the efficiency of electric motors is a worldwide issue.

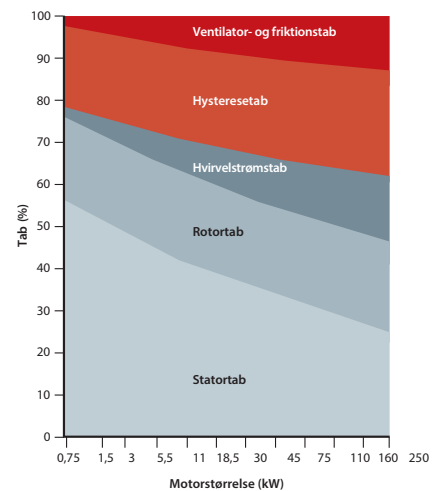
Fraunhofer Institute for System and Innovation Research (ISI) rapporterer, at elektriske motorer og tilsvarende systemer udgør 40 % af elforbruget på verdensplan og er ansvarlig for 6 milliarder tons globale CO<sub>2</sub> udledninger, svarende til 20 % af den samlede CO<sub>2</sub> udledning. Denne oversigt af nuværende relevante og kommende minimumskrav viser, at elektriske motorers energieffektivitet er i et verdensomspændende fokus.

Et andet aspekt ved den miljømæssige kompatibilitet af elektriske motorer er dimensionering. Ved at gøre motorer mere kompakte kan mængden af materialer, der bruges til fremstilling samt omkostninger ved bortskaffelse reduceres. I øjeblikket overdimensioneres mange motorer som et resultat af sikkerhedsmargener i design og planlægning, og derfor opererer de med mindre end deres nominelle belastning i de fleste tilfælde, hvilket medfører nedsat virkningsgrad.

### Bedre motoreffektivitet

EU forordning nr. 640/2009 tvinger motorproducenterne til at overholde energieffektivitetsklasser inden speci-

fikke deadlines og levere motorer, der opfylder kravene (se tabel 1). Det rejser spørgsmålet om, hvordan energieffektiviteten kan forbedres med henblik på at opnå og fastholde højere effektivitetsklasser. Én ting fabrikanter fokuserer på, er at forsøge at minimere tab i rotor og/eller stator. En måde at gøre dette på, er ved at bruge bedre lamineringsmaterialer til samling og en anden er, at bruge bedre elektriske ledere, såsom kobberstave i asynkronmotorens rotor i stedet for billigere aluminium. Det kan ændre det nuværende strømforbrug, med mindre fabrikanten tager passende modforanstaltninger. Det betyder, at brugere skal kontrollere, fra sag til sag, om andre optioner er mulige, når de overvejer motorudskiftning.



Den elektriske motors tabsfordeling i forhold til motorstørrelsen.  
 Kilde: Standards for the efficiency analysis of electric motors – permanently excited synchronous motor technology, 2011. De Almeida, Ferreira og Fong.

### Trinvis intensivering af krav:

Ikrafttrædelse	MEPS i Europa	Gælder for	Effektområde
16.06.2011	IE2	Motorer	0,75-375 kW
	IE2	Motorer	0,75-7,5 kW
01.01.2015	IE3 eller IE2 + frekvensomformer	Motorer	7,5-375 kW
	IE3 eller IE2 + frekvensomformer	Motorer	0,75-7,5 kW
2018	IE1 (forventet)	Frekvensomformere	

Minimum effektivitetskrav (MEPS) for motorer

# Standard trefasede induktionsmotorer – industriens arbejdshest

Trefasede asynkronmotorer, oprindeligt udviklet i 1889 af AEG, kendetegnes stadig som industriens arbejdshest og er velegnet til mange applikationer. Den trefasede asynkronmotors popularitet er blevet styrket vha. udviklingen af softstartere og frekvensomformere. Softstartere reducerer startstrømmen betydeligt og bypasses efterfølgende. Frekvensomformere muliggør præcis og energieffektiv hastighedskontrol, som gør motoren egnet til procesoptimering.

## Teknologi

Motoren fungerer på basis af Lenz' lov der i denne forbindelse kan udtrykkes således, at en leder, i hvilken der ved induktion er frembragt en strøm, vil søge at bevæge sig således, at den unddrager sig den årsagsfremkaldte strøm. I asynkronmotoren er strømmen frembragt ved at drejefeltet i statoren bevæger sig forbi rotorlederne (rotorstavene). Denne påvirkning kan rotorlederne kun unddrage sig ved at sætte sig i bevægelse i samme retning som statorens drejefelt.

Statorviklingen er fremstillet af kobber, mens rotoren ofte er udført som en kortsluttet vikling bestående af aluminiumsstave indstøbt i lamineret jern.

## Opnåelige IE klasser

EN 60034-30-1 for elektriske motorer forudsætter at IE4 effektivitetsklassen kan opnås med trefasede induktionsmotorer, der tilsluttes direkte til netforsyningen.

## IEC byggestørrelser

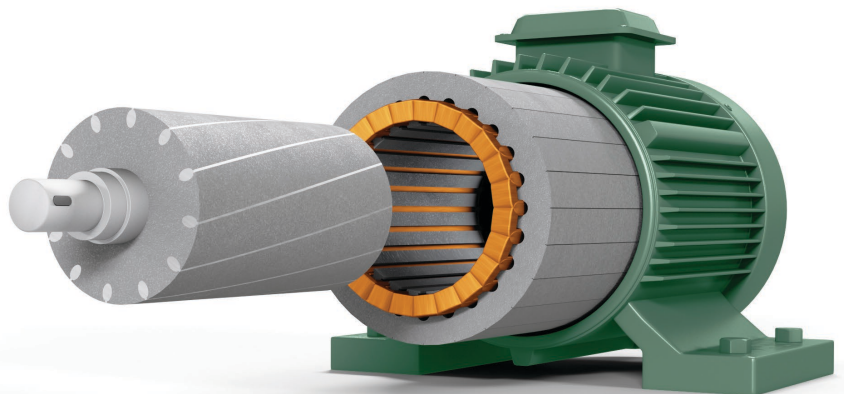
For at forbedre effektivitet, anvender producenter ofte bedre materiale eller mere laminering for at producere statorer og rotor. I praksis vil dette nogle gange øge motorens størrelse. Dog søger alle producenter at opretholde IEC motorstørrelserne for at sikre kompatibilitet med de mest anvendte motorer i ældre systemer. Derfor er byggestørrelserne (akselhøjde og akseldiameter) ofte den samme.

## Frekvensomformerdrift

Frekvensomformere giver en jævn drift og optimal hastighedskontrol. Problemer opstår i praksis, når motorens isolering ikke altid er egnet til den pulserede udgangsspænding fra frekvensomformeren.

## Særlige aspekter

Før udskiftning af en motor med henblik på at forbedre energi-effektiviteten, bør det tjekkes om dette overhovedet er nødvendigt. En 10 år gammel asynkronmotor er ikke nødvendigvis utilstrækkelig. For eksempel har Danfoss VLT® DriveMotor FCM 300, der fås i en række effektstørrelser, allerede opnået virkningsgrad iht. IE2 klasse, da den blev introduceret for mere end 10 år siden – og vil fortsat overholde lovmæssige krav til efter 2017. Hvis motorudskiftning derimod er nødvendig eller en anden motor skal monteres i standard produktionsmaskiner, skal brugeren tjekke om den mere effektive motor er i overensstemmelse med IEC monteringsdimensioner eller om designændringer er nødvendige.



Trefaset asynkronmotor

# Motorer med lavimpedans rotor: bedre effektivitet i standard induktionsmotorer

## Teknologi

Motorer med lavimpedans rotor er grundlæggende standard asynkronmotorer. De har den samme opbygning og det samme driftsprincip, men anvender en modificeret rotor. I stedet for de sædvanlige aluminiumsstave, har rotoren kobberstave. Kobber har lavere elektrisk modstand end aluminium, hvilket reducerer rotortabene. Det resulterer i, at prisen på motoren vil være højere, da kobber er vanskeligere at bearbejde og prisen for kobber er højere end for aluminium.

## Opnåelige IE klasser

Disse motorer opnår typisk IE3 eller IE4 effektivitet.

## IEC byggestørrelser

Byggestørrelserne kan overholde IEC standarden op til klasse IE4. I mange tilfælde er versioner med en mindre byggestørrelse tilgængelig.

## Frekvensomformerdrift

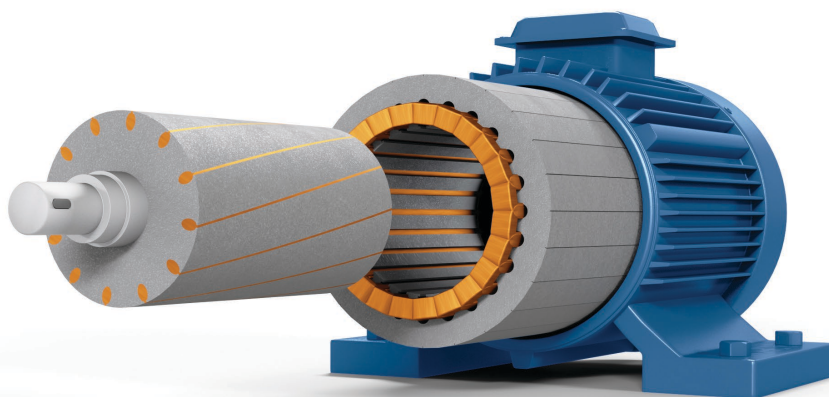
Ligesom standard asynkronmotorer, kan motorer med kobberrotorer også hastighedsreguleres ved hjælp af en frekvensomformer. Netop som med standard asynkronmotorer, kan der opstå problemer, når motorisoleringen ikke egner sig til frekvensomformerens pulserende udgangsspænding.

## Særlige aspekter

Med hensyn til drift, skal brugerne være opmærksomme på, at

kobber rotormotorer ofte har en højere startstrøm på grund af den lavere impedans. Det skal der tages højde for i designet og ved udskiftning af eksisterende trefasede asynkronmotorer.

I praksis har der endda været tilfælde, hvor et højere startmoment har forårsaget skade på maskindele. Motorens slip er også mindre som følge af de lavere tab. Det betyder, at den nominelle hastighed er højere og dermed også hastigheden på den drevne maskine. Afhængigt af den individuelle applikation, kan det medføre, at den drevne maskine vil operere anderledes end tiltænkt.



Trefaset asynkronmotor med lavimpedans kobber rotor







# Permanent magnet (PM) motorer

Permanent magnet (PM) motorer bliver stadig mere og mere populære. Teknologien har været kendt og brugt længe, for eksempel i servomotorer. Det nye er, at PM motorers relativt høje effektivitet nu er tilgængelig i standardiserede IEC byggestørrelser.

## Teknologi

I modsætning til trefasede asynkronmotorer, har PM motorer (som navnet antyder) ikke rotorviklinger, men i stedet permanente magneter, som enten monteres på overfladen af rotoren eller indstøbes i rotoren. I det simpleste tilfælde, har statoren samme størrelse som en standard asynkronmotor, men motorproducenter arbejder også med optimerede designs, der muliggør reduceret byggestørrelse.

PM motorer er synkronmotorer, som betyder, at der ikke er et slip mellem statorens og rotorens roterende magnetiske drejefelt, som i trefasede asynkronmotorer. Den nødvendige rotormagnetisering er permanent som navnet antyder og er praktisk talt tabsfrit. Det reducerer rotortabene og øger derfor motorens effektivitet. PM motorer har betydeligt højere virkningsgrad end asynkronmotorer ved reduceret hastighed og dellast.

## Opnåelige IE klasser

I praksis opnår nuværende PM motorer virkningsgradsniveau mellem IE3 og IE4.

## IEC byggestørrelser

Sammenlignet med asynkronmotorer med lignende effektivitet (f.eks. IE3), kan PM motorer produceres i betydeligt mindre byggestørrelser.

## Frekvensomformerdrift

Motorerne kan hastighedsreguleres med frekvensomformere uden problemer. Faktisk har de som hovedregel brug for en elektrisk styreenhed, for overhovedet at kunne køre.

## Særlige aspekter

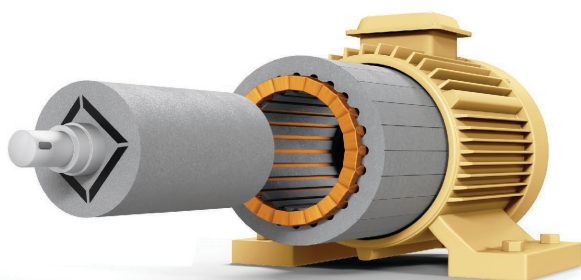
Kravet til den nødvendige elektriske styreenhed i form af en frekvensomformer vil normalt ikke være en ulempe, da der samtidig vil være behov for at hastighedsregulere applikationen. Frekvensomformeren kræver for optimal hastighedskontrol ofte kendskab til rotorpositionen for at kunne tilpasse det magnetiske felt til de permanente magneters position. Derfor har sådanne systemer ofte en encoder monteret på den roterende

aksel. Der findes dog producenter (inklusiv Danfoss), som kan styre PM motorer uden feedbacksignal.

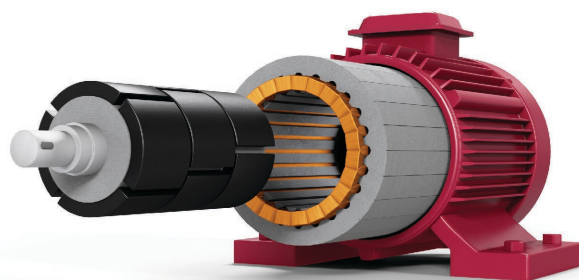
Andre ulemper ved disse motorer er risikoen for demagnetisering af de permanente magneter ved høj strøm og høj temperatur, som dog sjældent sker i praksis, samt servicering af motoren. På grund af de kraftige magneter i rotoren, er det svært at adskille rotor fra stator og det kan kræve særligt værktøj.

## Prisudviklingen for PM motorer

Sjældne jordarter er nødvendige for at producere de kraftige magneter, og deres priser er steget en del i løbet af det sidste årti, grundet en stærkt stigende efterspørgsel og mangel på tilgængelighed. Priserne er dog faldet betydeligt i de sidste to år, til dels på grund af åbningen af nye miner, hvor disse råmaterialer findes.



PM motor med indstøbte magneter



PM motor med overflademonterede magneter

# Direkte startende PM motorer

## Teknologi

En direkte startende PM motor er en hybridmotor som består af en kombination af en trefaset induktionsmotor og en PM motor. Den har normale kortsluttede rotorviklinger, men har samtidig permanente magneter indstøbt i rotoren. Det giver en kompleks rotoropbygning, dog har den særligt én betydelig fordel over normale PM motorer; den kan starte og køre ved direkte netforsyning uden en styreenhed. Under opstart er rotorviklingerne aktive. Efter motoren er accelereret til hastigheden bestemt af netfrekvensen, vil rotoren synkronisere og opnå samme høje virkningsgrad som en PM motor.

## Opnåelige IE klasser

Ved drift på forsyningsnettet har den direkte startende PM-motor et effektivitetsniveau mellem IE3 og IE4.

## IEC byggestørrelser

De tilgængelige byggestørrelser overholder IEC standarden. Mindre byggestørrelser er også tilgængelige.

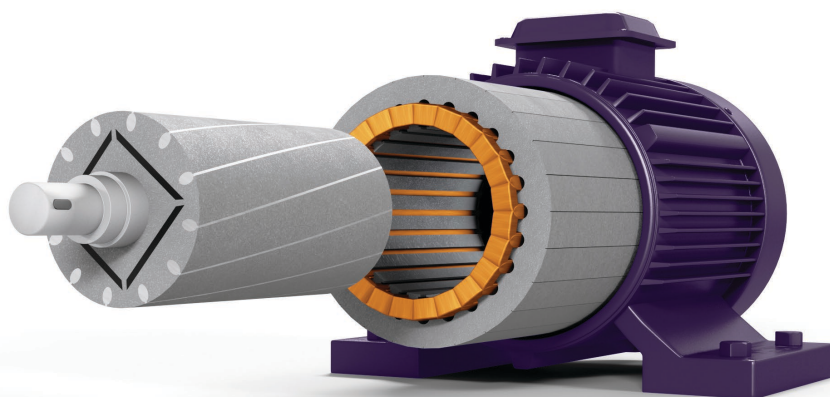
## Frekvensomformerdrift

Alle direkte startende PM motorer kan også hastighedsreguleres med frekvensomformere. Dog skal det nævnes, at effektiviteten typisk er lavere i forhold til en ren PM motor.

## Særlige aspekter

Motoren kører ved synkron hastighed, når den tilsluttes nettet. Omdrejningstallet vil derfor være højere end det tilsvarende omdrejningstal for en asynkronmotor, som har et slip.

Overvejelserne vedrørende sjældne jordarter gælder også for denne motor, fordi den også anvender permanente magneter.



Direkte startende PM motor med indstøbte magneter i rotoren

# Synkronreluktans motorer

Synkronreluktans motorer (SynRM motorer) er baseret på en teknologi, som har været kendt længe. Tidligere blev de optimeret med hensyn til drejningsmoment eller byggestørrelse, men nu er fokus på et energieffektivt design.

## Teknologi

Teknologien bag SynRM motorer er baseret på det faktum, at magnetisk flux søger den letteste vej ligesom en elektrisk strøm. Magnetisk flux former altid en lukket ring iflg. Maxwell's ligninger. Ringens vej afhænger af reluktansen (den magnetiske modstand) i det omkringliggende materiale. Nye specialdesignede rotorudformninger "guider" statorens magnetiske flux i rotormaterialet og tvinger rotoren til at rotere synkront. Det specielle rotordesign resulterer i en høj motorvirkningsgrad.

Der findes i dag versioner af synkronreluktans motorer som tillader direkte start og drift på netforsyningen. Ligesom direkte startende PM-motorer, har de en hjælpevikling på rotoren. Disse motorer har en meget høj virkningsgrad. Dog skal det nævnes, at effektiviteten typisk er lavere i forhold til en ren synkronreluktans motor.

## Opnåelige IE klasser

Den praktisk opnåede effektivitet spænder i praksis fra IE2 til IE4, selv med nye designs, men er tættere på IE2 ved relativt lave motoreffektstørrelser. Denne motortype opnår kun IE4 virkningsgrad ved motoreffektstørrelser fra ca. 11 til 15 kW. De har også meget gode virkningsgrader ved lave hastigheder i disse effektstørrelser og større.

## IEC byggestørrelser

De tilgængelige byggestørrelser overholder IEC standarden. Mindre byggestørrelser er også tilgængelige.

## Frekvensomformerdrift

Synkronreluktansmotorer har behov for en frekvensomformer til drift, med undtagelse af direkte startende versioner, som kan tilsluttes direkte til netforsyningen.

## Variant for direkte start på netforsyningen

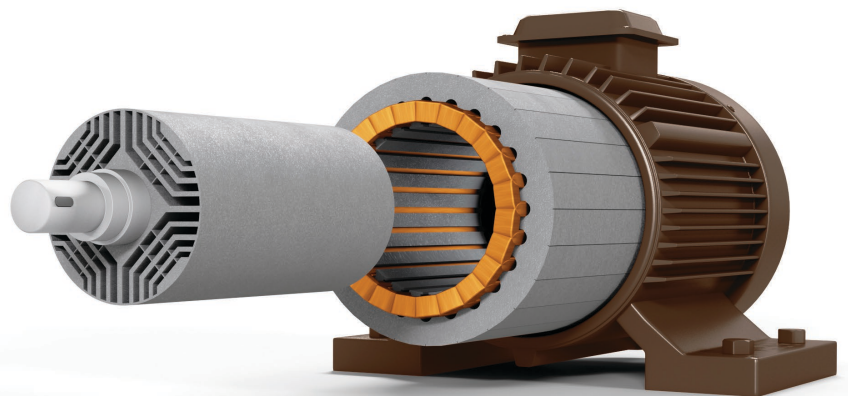
Som for direkte startende PM motorer, kombinerer producenten i princippet rotoren fra en synkronreluktansmotor med rotoren fra en asynkronmotor. For at gøre det, udfyldes hulrummene

i rotoren med aluminiumsstave som kortsluttes ved begge ender. På denne måde kan motoren starte direkte på nettet. Det giver samtidig en bedre faseforskydnings faktor (Cos Phi) ved nominal hastighed.

Ulempen ved denne variant er, at rotorens hjælpevikling forårsager større tab i motoren.

## Særlige aspekter

De åbne felter i rotorlamineringer, som er nødvendige på grund af konstruktionen medfører en forringelse af effektfaktoren (Cos Phi). Det kan medføre en overdimensionering af frekvensomformerer, da motoren trækker en højere strøm i forhold til asynkronmotoren. Der ses normalt ingen ustabilitet på grund af det specielle rotordesign. Der skal tages højde for de nævnte begrænsninger på virkningsgraden under delastforhold.



Synkronreluktansmotor

# EC motorer

Der findes mange forskellige typer af EC motorer i praksis, såsom små servomotorer med effektstørrelse på få watt op til større motorer i byggeautomationssystemer. De har ry for at være ekstremt højeffektive. Det er fuldt ud fortjent, i særdeleshed for meget små motorer/drev (det normale anvendelsesområde for disse motorer) hvor de er udpræget bedre end 1 fase universelle- eller skyggepol motorer (med virkningsgrad på omkring 30 %).

## Teknologi

Som for PM motorer er rotoren udstyret med permanente magneter. EC motorer bygget efter det originale koncept styres med en kommuteret DC spænding. Derfor også benævnt børsteløse DC motorer (BLDC) eller elektronisk kommuterede motorer (ECM).

I forhold til teknologi, er BLDC motorer AC motorer, så termen BLDC kan være forholdsvis forvirrende.

For at imødekomme ulemperne ved BLDC-begrebet, såsom relativ høje fasestrømme og et drejemoment med rippel, har producenterne udviklet bedre kontrolalgoritmer. For eksempel fås nu også sensorløse EC motorsystemer.

I applikationer inden for bygningsautomation, varierer EC motorer fra de tidligere beskrevne PM motorer, primært i deres konstruktion. Vha. et specielt design har man byttet om på placeringen af rotoren og statoren, hvilket betyder at ydersiden af motoren roterer, mens statoren sidder indvendigt. Denne type bruges typisk i ventilationssystemer.

## Opnåelige IE klasser

Effektiviteten af nuværende EC motorer ligger pt. mellem IE2 og IE4, afhængigt af modellen.

## IEC byggestørrelser

EC motorer er forholdsvis sjældent kompatible med standard IEC byggestørrelser. EC motorer i relativt høj effektstørrelse (mere end et par

hundrede watt) bruges primært i ventilations- og blæserapplikationer.

## Frekvensomformerdrift

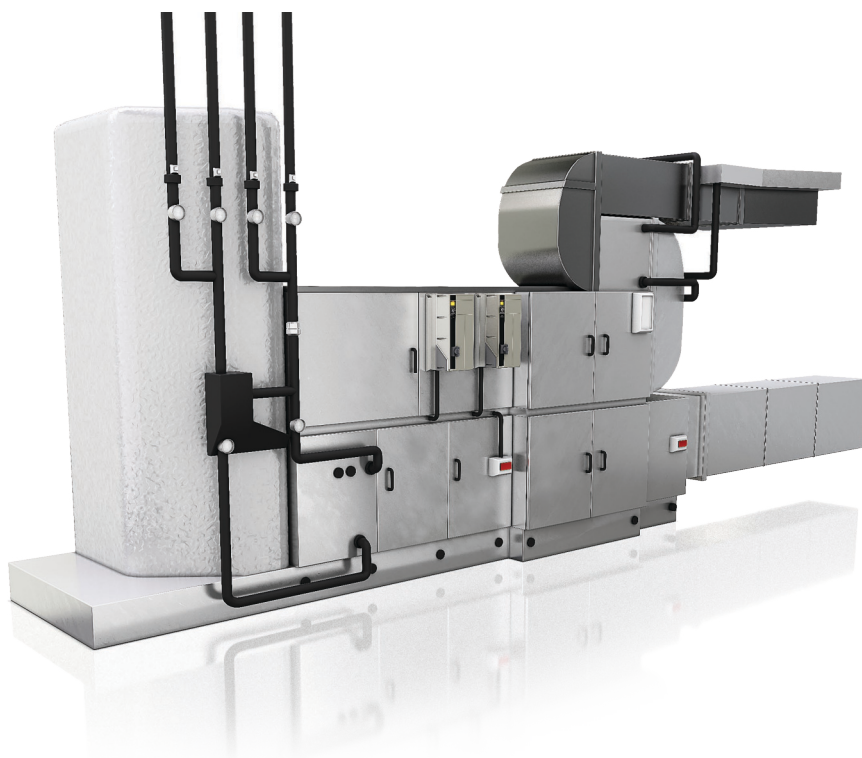
EC motorer har altid brug for elektroniske styreenheder, uanset om de styres efter det originale (kommuteret DC spænding) koncept eller det nyere optimerede koncept.

## Typiske applikationer

EC motorer bruges ofte i ventilatorer og blæsere til bygningsservices, sædvanligvis i form af udvendig rotormotorer, og som servomotorer med relativt små effektstørrelser.

## Særlige aspekter

Begrebet "EC motorer" bruges ofte for en del forskellige koncepter. For brugere bliver det sværere at skelne mellem konventionelle BLDC motorer og forbedrede typer med højere virkningsgrader, som minder om PM motorer. Grundet brugen af permanente magneter er EC motorer underlagt de samme forhold angående sjældne jordarter, som PM motorer.





# Systemoptimering: systemanalyse og potentiale

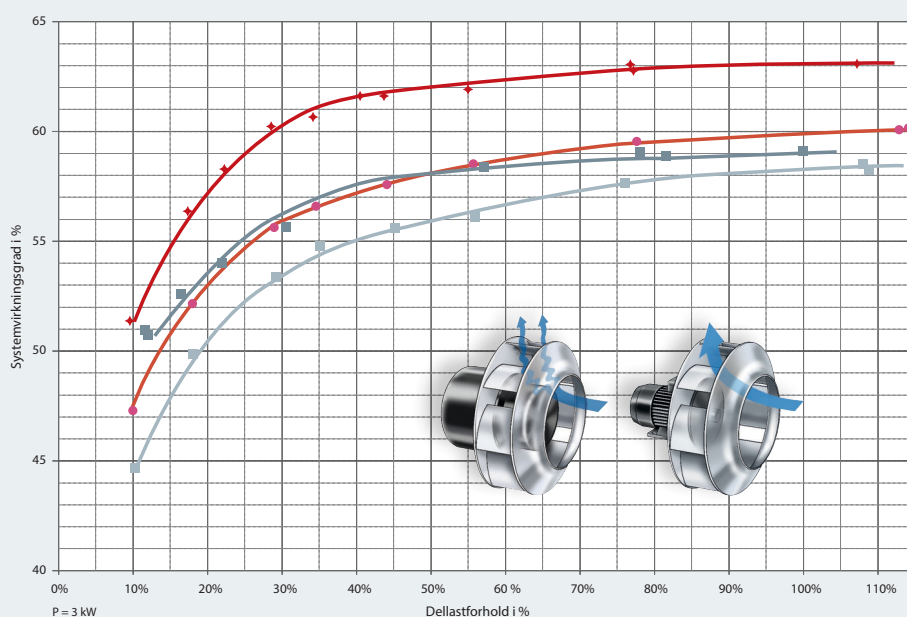
Ifølge German Association of Electrical and Electronics Manufacturers (ZVEI) kan ca. 10 % af de potentielle besparelser i drevsystemer opnås ved hjælp af motorer med højere virkningsgrader. Variabel hastighedsdrift giver potentielle besparelser på omkring 30 %. Dog er den største kilde til potentielle besparelser (ca. 60 %) optimering af det samlede system. Konsekvensen deraf er, at operatøren bør overveje indvirkningen på det samlede system og kontrollere, om forskellige tilgange til at reducere energiforbruget kan kombineres. Det omfatter optimeret rørføring under ombygninger og renoveringer, samt muligheden for anvendelse af softwarefunktioner, som f.eks. "Automatisk Energooptimering (AEO)" og "Automatisk Motor Adaption (AMA)", i moderne frekvensomformere.

De potentielle besparelser varierer betydeligt fra den ene sektor til den anden, da forskellige former for energi gør sig gældende. For eksempel har den industrielle sektor en væsentlig større efterspørgsel efter procesvarme end handels- og kontorsektoren. Det største besparelspotentiale findes normalt i området med det højeste forbrug. For eksempel står den industrielle sektor for ca. 43 % af elektricitetsforbruget, mens handels-, forretnings- og servicesektoren forbrug kun udgør 23 %.

En nøjagtig viden om systemet og dets teknologi er afgørende for at bestemme de potentielle besparelser i de forskellige sektorer. Først da er det muligt at vurdere, hvorvidt specifikke foranstaltninger er omkostningseffektive.

Uanset om det drejer sig om nye eller eksisterende anlæg eller maskiner, bør operatører først analysere den aktuelle status af det samlede system, før der tages foranstaltninger til at reducere energiforbruget. Dette gør det muligt for dem bedre at kunne identificere løsninger og dokumentere efterfølgende verifikation af, hvorvidt de gennemførte foranstaltninger er effektive og dermed opnå de ønskede besparelser.

## Samlet systemeffektivitet er en teamindsats



- + EC+ ventilator med PM motor
- EC ventilator
- Ventilator med standard asynkronmotor (IE3)
- Ventilator med standard asynkronmotor (IE2)

Målinger foretaget på Institute of Air Handling and Refrigeration bekræfter, at maksimal systemeffektivitet kun kan opnås ved at kombinere de bedst mulige komponenter. For eksempel reducerer Danfoss EC+ konceptet energiforbruget i en ventilatorapplikation med op til 11 % med en optimal kombination af frekvensomformer, motor og ventilatorhjul. EC ventilatorens gode motoreffektivitet modvirkes af blæserhjulets mindre gunstige geometri, hvilket resulterer i en systemvirkningsgrad, som er 3 til 5 % lavere.

# Opsummering

Beskrivelserne af de forskellige motortyper har vist, at juridiske og kommercielle krav om højere energieffektivitet i høj grad har motiveret motormarkedet. Mange forskellige motortyper, der anvender konventionelle såvel som nye teknologier indtræder på markedet og konkurrerer om at være den foretrukne løsning hos brugerne. Det bliver meget spændende at se, hvilken teknologi eller hvilke teknologier, der formår at sejre på lang sigt.

Motorevolutionen er slet ikke færdig. For eksempel er producenter allerede

i gang med at eksperimentere med ferritmateriale i stedet for konventionelle magneter. Resultaterne af de første tests er meget lovende.

For brugere, er det vigtigt at undersøge hver situation nøje, for at se, om brug af højvirkningsgradsmotorer er det hele værd. For eksempel er IE4 ikke altid det rigtige valg på grund af de dermed forbundne høje omkostninger eller, i tilfælde af applikationer med mange start / stop cyklusser, hvor den højere inert i motorens roterende dele endda kan resultere i et større effektforbrug.

Endelig er det vigtigt at huske, at nogle af de nævnte ulemper for de forskellige motorer kan minimeres ved optimeringsforanstaltninger, såsom opstartsprocedure ved direkte start af PM motorer. Dog kan sådanne foranstaltninger til gengæld give anledning til andre ulemper. Formålet med denne brochure er, at gøre det lettere for brugerne at diskutere motorvalg med producenter med henblik på i fællesskab at finde eller udvikle den bedste drevløsning for den pågældende applikation.

Motor	Opnåelig effektivitet	IEC type	Frekvensomformerdrift	Applikationer	Kommentarer
ASM*	IE3/IE4	IE3 eller over er nogle gange svært	Ingen besværligheder.	Næsten alle applikationer.	IE3/IE4 kan muligvis ikke overholde std. IEC byggestørrelser.
ASM med lavimpedansrotor	IE3/IE4	Kompatibel. Kan også være mindre.	Ingen besværligheder.	Næsten alle applikationer.	Højere startstrøm og andre startmomenter sammenlignet med ASM. Skal tages højde for i systemdesign og eftermontering.
PM	IE3/IE4	Kompatibel. Kan også være mindre	Skal altid bruge styreenhed. Nogle frekvensomformere kræver positions-feedback. Bedre effektivitet ved lav hastighed end ASM.	Næsten alle applikationer.	Lejlighedsvis høje priser for påkrævede, sjældne jordarter. Nuværende pristrend er nedadgående.
LSPM	IE3/IE4	Kompatibel. Kan også være mindre	Mulig. Effektivitet ca. 5 til 10 % lavere end net drift.	Kan ikke starte under høj belastning, lav dynamisk ydeevne, problemer med svag netforsyning og belastningsryk.	Meget god motoreffektivitet, hvis begrænsninger er acceptable i applikationen. Sjældne jordartsforhold ligesom for rene PM motorer.
EC	IE3/IE4	Nej	Skal altid bruge styreenhed.	Lav effekt, EC ventilatorer, servomotorer.	Højere effektivitet end andre teknologier ved relativt lav effekt (under 750 W). Systemvirkningsgrad forringes ofte af centrifugal ventilatorens designs med motoren integreret i ventilatorens nav. Sjældne jordartsforhold ligesom for PM motorer.
SynRM	IE2-IE4	Kompatibel. Kan også være mindre.	Skal altid bruge styreenhed. Bedre virkningsgrad ved motoreffekter over ca. 11-15 kW; sammenlignelig med PM ved relativt lave hastigheder. Større frekvensomformer ofte nødvendig pga. dårlig faseforskydning.	Pt primært pumpe- og ventilatorapplikationer fra omkring 11 til 15 kW.	Motorer stadig relativt nye på markedet. Fordele primært i området over 11-15 kW for nuværende.

\*ASM Trefaset asynkronmotor  
 PM Permanentmagnet motor  
 LSPM Direkte startende PM motor  
 EC Elektronisk kommuteret DC motor  
 SynRM Synkronreluktans motor  
 FC Frekvensomformer

# Motordrift med frekvensomformer

## Egnethed, effektivitet, optimering

### Hvorfor bruge frekvensomformere?

Brugen af motorer med højere virkningsgrad medfører endnu et aspekt ved brugen af frekvensomformere. For det første giver den opnåelige hastighedskontrol ved anvendelse af en frekvensomformer et enormt potentiale for at nedbringe energiforbruget og omkostningerne. For det andet kan nogle af motorteknologierne kun anvendes med frekvensomformer.

### Hvilke motorer er egnet til frekvensomformerdrift?

Den største belastning for motoren er den pulserende udgangsspænding fra frekvensomformeren, som er nødvendig for at tilføre den korrekte spænding til motoren i hele reguleringsområdet. Kurveformen på udgangsspændingen giver en belastning på motorens viklingsisolation. I løbet af de sidste 10-15 år har denne belastning ikke været et større problem, fordi moderne isolering modstår disse spændingsspidser. Når der benyttes ældre motorer, kan belastningen på viklingerne føre til fejl, medmindre passende udgangsfilter anvendes mellem frekvensomformeren og motoren. I dette tilfælde anbefales dU/dt- eller sinusfiltere til at reducere spændingsspidser og beskytte motorens viklingsisolation.

### Termisk stress

Mange moderne frekvensomformere, såsom dem fra Danfoss, er også i stand til at levere den samme udgangsspænding som tilslutningsspændingen. Derfor er motoropvarmningen i standardmotorer (op til byggestørrelse 315), ubetydeligt større end ved netdrift. For eksempel anbefales, for frekvensomformere

med en smal DC mellemkreds, som normalt ikke er i stand til at generere den fulde udgangsspænding ved nominal frekvens, en højere motorisoleringsklasse, da motortemperaturen kan stige med op til 10 grader.

### Lejebelastning

Ugunstige forhold (netspænding, jordforbindelse, afskærmning, ...) kan forårsage at frekvensstyrede motorer nedbrydes grundet lejeskader forårsaget af lejestrømme. For eksempel kan dette ske ved afladningsstrømme gennem lejets smørende fedtfilm, og beskadige lejerne over tid. Simple foranstaltninger (god jordforbindelse, skærmede motorkabler, isolerede lejer, særligt lejefedt ...) reducerer lejestrømme og dermed risikoen for fejl. I det tilfælde, hvor lejestrømme har et skadeligt niveau og frekvensomformer- og motor installationsanbefalingerne er overholdt, kan lejestrømme mindskes vha. et Danfoss VLT® Common Mode Filter MCC 105 (HFCM). Filtret virker som en spole, der reducerer højfrekvente common-mode strømme. En reduktion af disse strømme er med til at reducere lejestrømme effektivt.

### Drevsystemdesign

Ved dimensionering af frekvensomformer og motor, er motorens effektdata i kW et umiddelbart valgkriterie. For korrekt dimensionering skal motorens fuldlaststrøm matches (dette er især tilfældet for synkronreluktansmotorer og mange-polede motorer). Det er vigtigt, at frekvensomformeren er i stand til at afgive den nødvendige strøm også set i forhold til motorens nødvendige startmoment. Det er typisk 110 % for centrifugalventilatorer og -pumper,

og 160 % for transportbånd og øvrige industriapplikationer.

### Optimering

Hvis en frekvensomformer, der er én størrelse større end nødvendigt, anvendes til en applikation, for eksempel for at tillade en højere overbelastning, har det ikke en negativ effekt på energiforbruget på grund af den høje belastningsmulighed. Det er anderledes for en motor, hvor overdimensionering har en betydeligt højere indflydelse. Afhængig af motorens design, kan virkningsgraden ved applikationens driftspunkt endda være højere end ved fuld belastning, hvis der vælges en større motor.

Frekvensomformere, med kontrolmetoder tilpasset til motorteknologien, giver ideel magnetisering under drift, herunder ved delbelastning. Dette er også tilfældet for (stærkt) varierende belastninger. For eksempel følger Danfoss frekvensomformere til PM-motorer MTPA (maksimalt drejningsmoment pr. ampere) konceptet, som tillader den bedst mulige energieffektivitet til hvert motordesign.

### Mere information

Majoriteten af standard trefasede motorer på markedet kører helt problemfrit med moderne frekvensomformere. Under udvælgelses- og installationsprocessen bør brugere være opmærksomme på de respektive karakteristika ved de forskellige teknologier. Dette vil dog ikke være en stor udfordring for fagfolk. De tidligere sektioner gav et kort resumé af emnet. Kontakt dit lokale salgskontor for mere information om sikker og energieffektiv design af drevløsninger.

# Visionen bag VLT®

Danfoss er markedsleder inden for udvikling og produktion af frekvensomformere og betjener dagligt nye kunder.

## Miljøansvar

### Danfoss VLT® produkter – tager hensyn til mennesker og miljøet

Alle produktionsfaciliteter for VLT frekvensomformere er ISO 14001 eller ISO 9001 certificeret.

Danfoss tager i alle sine aktiviteter hensyn til både medarbejdere, jobs og miljøet. I produktionsprocesserne tages der højde for miljøet, derfor er der blandt andet et minimum af støj og udledning. Yderligere forsøger Danfoss at beskytte miljøet i forbindelse med afskaffelse af affald og gamle produkter.

### UN Global Compact

Ved at underskrive UN Global Compact har Danfoss vist sit engagement for social ansvarlighed. Vores datterselskaber er klar over at vi har et ansvar for at respektere lokale forhold og praksisser.

### Energibesparelse ved hjælp af VLT®

Energibesparelsen for den årlige produktion af VLT® frekvensomformere er lige så stor som den energibesparelse, store kraftværker genererer hvert år. Optimeret proceskontrol forbedrer produktkvaliteten og reducerer spild og slid på produktionslinjerne.



## Dedikeret til frekvensomformere

Danfoss VLT er en global leder, når det kommer til udvikling og fremstilling af frekvensomformere. Danfoss introducerede i 1968 verdens første masseproducerede frekvensomformere til tre-fasede motorer, og har sidenhen specialiseret sig i frekvensomformerløsninger. I dag står VLT® for pålidelig teknologi, innovation og ekspertise inden for frekvensomformere til mange forskellige brancher og industrier.

## Innovative og intelligente frekvensomformere

Danfoss VLT Drives har hovedkvarter i Gråsten og her er ansat 2500 medarbejdere inden for udvikling, produktion, rådgivning, salg og vedligeholdelse af Danfoss frekvensomformerløsninger i over 100 lande.

De modulære frekvensomformere fremstilles ud fra kundens behov og leveres fuldt samlet. Dette sikrer, at hver VLT® er en state-of-the-art enhed, når den leveres.

## Tillid og ekspertise

For at sikre en konsistent høj kvalitet af vores produkter, kontrollerer og overvåger Danfoss VLT® Drives hvert enkelt produktelement. Danfoss VLT® har både sin egen forsknings- og softwareudviklingsafdeling samt moderne produktionsfaciliteter for hardware, motorer, printkort og tilbehør.

VLT® frekvensomformere benyttes i forskellige applikationer verden rundt. Vores eksperter kan med deres specialiserede viden hjælpe dig med specifikke applikationer. Omfattende rådgivning og en hurtig service sikrer en optimal løsning med høj pålidelighed og tilgængelighed.

Et projekt er først gennemført når du er helt tilfreds med din frekvensomformerløsning.

