



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

BEST PRACTICE ELEKTRISCHE AANDRIJVINGEN INDUSTRIE

APRIL 2023

>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal Ondernemen

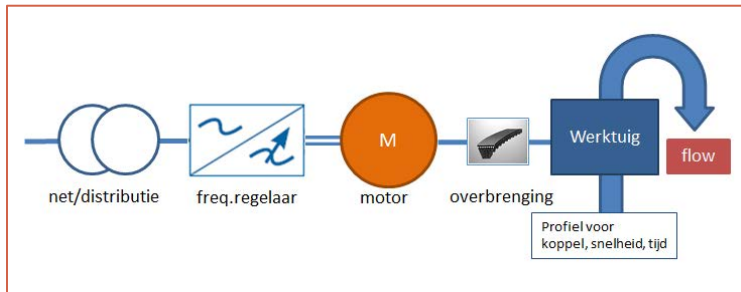
1. Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen	3-4
2. Efficiënte Elektromotoren - Technologie	5-6
Elektromotoren – Aanbevelingen	7
Economie – rekenvoorbeeld motoren	8
3. Regeling / Toerenregeling - Aanbevelingen	9
Regeling / Toerenregeling - Technologie	10-11
4. Overbrengingen - Aanbevelingen	12
5. Pompsystemen - Aanbevelingen	13-14
6. Onderhoud - Aanbevelingen	15
7. Optimaliseren – rekenen met het Motor Systems Tool	16-17
Referenties	18

1. EFFICIËNTE ELEKTRISCHE AANDRIJFSYSTEMEN

In de industrie gaat ongeveer 70% van het elektriciteitsverbruik naar elektrisch aangedreven systemen. Verbetering van de efficiency van deze systemen verlaagt de bedrijfskosten, bespaart energie en verbetert de productiviteit. Investeren in efficiëntere aandrijfsystemen biedt tot 20% tot 30% lagere gebruikskosten, biedt langere levensduur en hogere betrouwbaarheid van de aandrijvingen. Voor een aantal componenten van het aandrijfsysteem zijn Europese minimum energie efficiency eisen van kracht: voor de elektromotor, pomp, ventilator, frequentieregelaar (FR), en in enkele gevallen ook voor combinaties zoals bij circulatiepompen en ventilatie-units.

Aandrijfsysteem

Een aandrijfsysteem bestaat uit een twee hoofd componenten: de elektromotor en het gedreven apparaat, met soms componenten als een frequentieregelaar en overbrenging. Voorbeelden zijn pompen, ventilatoren, compressoren, of productiemachines of transportsystemen voor processen als mengen, verkleinen of intern transport, zie de figuur.



De kosten van een elektromotor over de hele levensduur bestaan voor 90% tot 97% uit energiekosten, met daarnaast de overige procenten aan aanschaf- en onderhoudskosten. Focus op lagere energiekosten over de gehele levensduur levert de meest kostenefficiënte oplossing met doorgaans korte terugverdientijden (<1 tot 5 jaar). De beste resultaten zijn bereikbaar bij optimalisatie van het gehele aandrijfsysteem.

Systematische aanpak

Industriële bedrijven hebben grote aantallen elektrische aandrijfsystemen in bedrijf. Een systematische aanpak van energiebesparing biedt hier veel voordelen. Het management kan dit faciliteren en borgen door de focus te leggen op

- periodiek de gegevens van de belangrijkste energie verbruikende elektrische aandrijfsystemen actualiseren.
- periodiek de mogelijkheden om de efficiency en het energieverbruik van de aandrijfsystemen te verbeteren onderzoeken, waarbij in ieder geval wordt gekeken naar:
- er een onderhouds- en vervangingsstrategie is, waarin is opgenomen:
- of er specifiek beleid geformuleerd is m.b.t. investeringen in energiebesparing van aandrijfsystemen met terugverdientijden langer dan vijf jaar.

EU Richtlijn Elektromotoren en Frequentieregelaars (EU 2019/1781)

Op 1 juli 2021 is de nieuwe Richtlijn 2019/1781 met minimum energie efficiency eisen voor elektromotoren¹ en frequentieomvormers van 0,12 tot 1'000 kW van kracht geworden. De eerste Richtlijn voor elektromotoren uit 2009 (het grootste verbruikssegment van elektrische apparatuur) is zo naar een modern efficiency niveau van technologie en economie gebracht.

In de aandacht springen de vereisten voor nieuwe kleinere motoren (van 120 Watt) en grote motoren (tot 1.000 kW) in het oog. Voor de meeste vermogens is de Premium klasse IE3 vereist. In de tweede stap vanaf 1 juli 2023 is voor middelgrote motoren (75 - 200 kW) de hogere efficiency klasse Super Premium IE4 vereist, zie de tabel voor meer details. De EU is de eerste regio wereldwijd met dergelijke uitgebreide en ambitieuze minimum vereisten voor motorefficiency.

Nieuwe vereisten – informatie, anti-ontwijking, vrijstellingen

- Extra informatie-eisen voor zowel motoren als frequentieregelaars, inclusief de efficiencies op extra werkpunten om een 'extended product approach' mogelijk te maken.
- Anti-ontwijkingsbepalingen (vergelijkbaar met andere nieuwe & herziene Richtlijnen) bijvoorbeeld de fabrikant mag geen producten in de handel brengen die zijn ontworpen om te kunnen detecteren dat ze worden getest.
- Gerichte vrijstellingen, inclusief 7 jaar vrijstelling voor motoren die identieke motoren vervangen die in producten zijn geïntegreerd (reserveonderdelen).

Energie-, kosten- en CO2-besparing

De EU schat dat elektromotoren voor pompen, ventilatoren, compressoren, enz. ongeveer de helft van het totale elektriciteitsverbruik van de EU vertegenwoordigen. Met de nieuwe verordening kunnen de strengere eisen van elektromotoren jaarlijks extra kosten van 1,2 miljard euro en 10 TWh / jaar elektrische energie besparen en 3 miljoen ton CO₂-uitstoot verminderen.

Vergemakkelijken inspectie van grote motoren 375 tot 1 000 kW

Bevoegd gezag kan besluiten om de verificatieprocedure bij fabrikanten uit te voeren met behulp van eigen testapparatuur. Als fabrieksacceptatietests zijn gepland, kan bevoegd gezag besluiten om tijdens deze fabrieksacceptatietests getuige-testen te

gebruiken om testresultaten te verzamelen die kunnen worden gebruikt om de naleving te verifiëren. Bevoegd gezag kan een fabrikant vragen informatie vrij te geven over geplande fabrieksacceptatietests die relevant zijn voor getuige-testen.

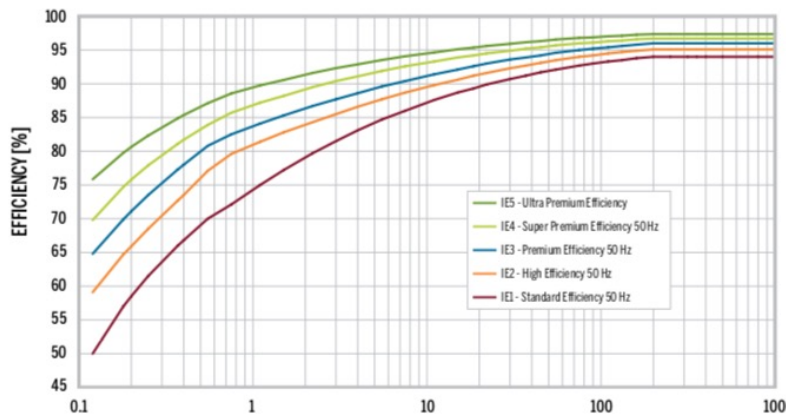
EU Richtlijn (2019/1781)	Minimum efficiency requirements	
Induction motor ≥ 50 V and ≤ 1 000V	Vanaf 1 juli 2021	Vanaf 1 juli 2023
≥ 0,12 ... < 0,75 kW 3-phase, 2/4/6/8 pole	IE2 ¹	
≥ 0,75 ... < 75 kW 3-phase, 2/4/6/8 pole	IE3 ¹	
≥ 75 ... ≤ 200 kW	3-phase, 2/4/6 pole	IE3 ¹
	3-phase, 8 pole	IE4 ²
> 200 ... ≤ 1 000 kW 3-phase, 2/4/6/8 pole	IE3 ¹	
≥ 0,12 ... ≤ 1 000 kW motors for explosive atmospheres Ex eb, 2/4/6/8 pole	-	IE2
≥ 0,12 kW ... 1-phase, 2/4/6/8 pole	-	IE2
High voltage motors, Direct current motors, Group I Mining Motors, pole changing motors, Totally Enclosed Non Ventilated (TENV) motors, Servo motors	Excluded	
¹ Including: Brake motors; Motors for explosive atmospheres Ex ec, Ex tb, Ex tc, Ex db and Ex dc; Motors rated for duty class: S1, S3 ≥ 80%, S6 ≥ 80% and Totally Enclosed Air Over (TEAO) motors		
² Exemption: ATEX motors regarding 2014/34/EU (for explosive atmospheres), Brake Motors		
Variable Speed Drives ≥ 100V and ≤ 1 000V	Vanaf 1 juli 2021	Vanaf 1 juli 2023
≥ 0,12 ... ≤ 1 000 kW	IE2 ³	
Regenerative drives, Low harmonic drives (THD < 10%), 1-phase drives, AC drives with multiple AC outputs, High voltage drives; Direct current drives	Excluded	
³ IE classification similar to IEC 61800-9-2		

¹ Driefasige kooianker motoren van 50 Hz of 50/60 Hz met vast toerental, zie voor de volledige tekst van de Richtlijn 2019/1781: www.keea.nl

2. EFFICIËNTE ELEKTROMOTOREN - TECHNOLOGIE

Efficiency klassen

Voor de efficiency van elektromotoren zijn vier klassen gedefinieerd: IE4 super-premium, IE3 premium, IE2 hoog, IE1 standaard. De IE classificatie is gedefinieerd in IEC 60034-30-1:2014. Hoe groter het vermogen van de motor, hoe hoger het rendement en hoe kleiner de verschillen in rendement tussen de klassen, zie figuur 1.



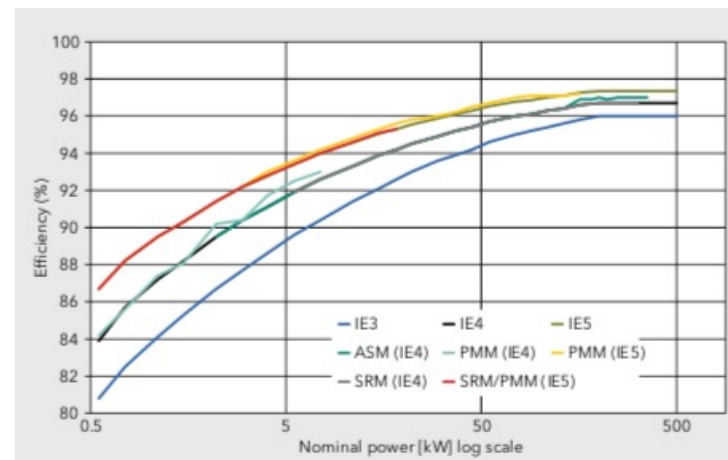
Figuur 1 IE-classificatie efficiency als functie van motorvermogen, 4-polig 50 Hz

Technologieën

Hoog tot zeer hoog efficiënte elektromotoren als IE4 en IE5 motoren zijn commercieel beschikbaar van klein tot middelgroot vermogen, zie figuur 2. De toegepaste motortechnologieën verschillen: inductiemotor met aluminium of koperen rotor, als line start permanent magneet motor (PMM) en als synchroon reluctantiemotor (SRM). De PMM en SRM motoren zijn altijd gecombineerd met een frequentieregelaar. Elke type elektromotor heeft specifieke kenmerken bijvoorbeeld qua koppel en aanloopstroom. Deze motoren zijn op basis van Total Cost of Ownership (TCO) al rendabel in toepassingen vanaf 2'000 uur.

Kernpunten

1. Het is cruciaal dat de motor de juiste afmeting heeft en goed is geïntegreerd in het totale aandrijfsysteem.
2. Asynchrone motoren met hoge efficiency (IE3 of IE4) zijn het meest geschikt voor hoge bedrijfstijden of continu bedrijf met een constante snelheid.
3. Voor aandrijfsystemen waarbij het vermogen of het toerental verandert: gebruik een VFD (variable frequency drive) en een zeer efficiënte motor (IE3 of IE4).
4. Voor aandrijfsystemen waarbij het vermogen snel verandert: gebruik een permanente magneetmotor (PMM) met een hoog rendement (IE3 of IE4) of een synchroon reluctantiemotor (SRM).
5. Hybride PMM's en SRM's die zelf starten vanuit het netwerk zijn ook beschikbaar. Deze zijn zeer efficiënt tijdens nominale werking.

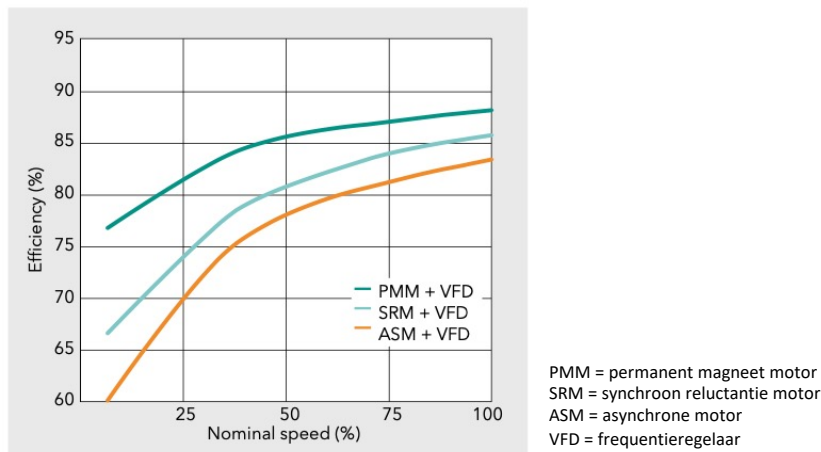


Figuur 2 Efficiency van commercieel leverbare IE4 en IE5 motoren tov IE3

EFFICIËNTE ELEKTROMOTOREN - TECHNOLOGIE

Efficiency bij lagere snelheden

Aanpassing van de rotatiesnelheid van de elektromotor aan veranderende belastingen met behulp van een toerenregeling kan aanzienlijke besparingen opleveren. Er moet echter gezegd worden dat een toerenregeling (frequentieregelaar of magneetkoppeling) op zichzelf geen energie bespaart - integendeel zelfs. Zoals elke component in een motorsysteem, heeft een toerenregeling ook intrinsieke verliezen, die een negatief effect hebben op de energie-efficiency. Het is daarom noodzakelijk om de energiebesparing door de lagere snelheid groter te laten zijn dan het meerverbruik van de toerenregeling zelf. Dat kan heel goed, omdat juist in stromings-systemen zoals ventilatiesystemen of pompcircuits een vermindering van de snelheid een besparingseffect heeft op het vermogen met de 3e macht. Figuur 3 toont het resultaat van metingen aan 2,2 kW-motoren met verschillende motortechnologieën. De verschillen in efficiëntie zijn kleiner als de nominale output groter is.



Figuur 3 IE-classificatie efficiency als functie van motorvermogen, 4-polig 50 Hz

Bron: Topmotors.ch

Aandachtpunten

- Snelheid: met de hogere efficiency van de elektromotor stijgt de nominale snelheid licht voor asynchrone motoren en permanent magneet motoren. Dit komt door de lagere slip tussen voedingsfrequentie en rotorsnelheid. Wanneer een oude motor over de hele linie wordt vervangen door een nieuwe motor van vergelijkbare grootte (zonder VFD-werking), moet worden opgemerkt dat bijvoorbeeld pompen en ventilatoren met een iets hogere snelheid werken en dus meer lucht of water verplaatsen. Ondanks efficiëntere motoren kan dit leiden tot een hoger elektrisch stroomverbruik (de snelheid is in blokjes). Dit effect kan worden voorkomen door de transmissie (overbrengingsverhouding) aan te passen of een VFD te gebruiken.
- Systeem: een optimalisatie moet betrekking hebben op het gehele aandrijfsysteem (motor, overbrenging, regelaar en toepassing). Een hoog efficiënte motor alleen is niet voldoende om een betere efficiëntie in het hele systeem te bereiken, en andere maatregelen kunnen een goedkopere manier zijn om de algehele systeemefficiëntie te verbeteren, zie volgende pagina.
- Let bij elektromotor vervanging op of
 - de efficiëntere motor voldoet aan de IEC-montageafmetingen of dat ontwerpwijzigingen nodig zijn.
 - Andere voorzieningen nodig zijn in de bekabeling, regeling en beveiliging. Hoog efficiënte motoren kunnen hogere aanloopstromen geven - door lagere weerstanden in de motor, en een beduidend ander koppelkarakteristiek hebben in de start-aanloop.

Elektromotoren - AANBEVELINGEN

Wanneer dien ik de aanschaf van een hoog efficiënte motor te overwegen?

Dit geldt voor alle nieuwe installaties; Bij het kopen van apparatuur zoals compressoren, HVAC-systemen, pompen, ventilatoren, machines; Bij het ontwerpen van grote wijzigingen in faciliteiten of processen; Voor het vervangen van te grote motoren; Als onderdeel van een programma voor preventief onderhoud of energiebesparing.

- Kies standaard een IE3 motor - ook in combinatie met een frequentieregelaar (IE3 is per 1 juli 2021 verplicht, zie EC 2019/1781) én overweeg bij draaiuren vanaf 2.000 uur per jaar een IE4 motor, de meerprijs verdient u in korte tijd terug.
- Pas de juiste grootte toe: het rendement van een elektromotor daalt sterk bij gebruik onder de 50% van de nominale capaciteit. Bij bestaande situatie: beoordeel of het vermogen van de motor past bij het proces – dit kan eenvoudig door bijvoorbeeld de belasting over een bepaalde tijdsduur te meten.
- Reken bij aanschaf van een elektromotor met de ‘total cost of ownership’ in plaats van eenvoudige terugverdientijd. Daarmee maakt u de besparingen over de gebruiksduur zichtbaar. De investeringskosten bedragen bij een gebruiksduur van 15 jaar slechts 3% tot 10% van de totale kosten; de energie- en onderhoudskosten bedragen tot ruim 90% van deze totale kosten.
- Nieuwe motoren zijn aanzienlijk efficiënter (3% tot 10%) en betrouwbaarder, en bieden lagere kosten voor (energie)gebruik en onderhoud. Reparaties als herwikkelen maken dit verschil in rendement en gebruikskosten alleen maar groter omdat herwikkelen doorgaans tot een lagere efficiency leidt.
- Zijn de renovatiekosten van een motor meer dan circa 20% van de aanschafkosten van een nieuwe motor: vervangen is goede optie. Vergelijk bij deze afweging (nieuw of reparatie) steeds de totale kosten tijdens gebruiksduur.

Survey uw motoren – richt u in eerste instantie op motoren met minimale grootte en bedrijfsduur, vanaf 10 kW en 2.000 uur:

- a. Verzamel naamplaatinformatie (leeftijd, spanning- en stroomsterkte, aantal polen, IE-efficiency, en belasting (constant, variabel). Doe veldmetingen onder normale bedrijfsomstandigheden (spanning, stroomsterkte, arbeidsfactor, toerental).
- b. Leg gegevens van het gedreven apparaat vast, met de wijze van regeling (aan/uit, is er sprake van variabel bedrijf, frequentieregelaar, bypasses, smookkleppen), het type overbrenging.

Deel ze in in 3 categorieën

1. *Vervang direct / na check op systeem-optimalisatie* – Hoog efficiënte motoren (IE3, IE4, IE5) besparen energie en leveren direct financieel rendement. Criteria zijn leeftijd van de motor en draaiuren: direct vervangen vanaf 15 jaar en ouder en vanaf 2.000 draaiuren per jaar.
2. *Vervang op moment van falen/stilstand – na check op systeem-optimalisatie*: vervanging levert ook hier direct geld op door een energie efficiënt model te installeren. Tref voorbereidingen voor vervanging bij de eerstvolgende (on)geplande stop.
3. *Geen actie*: dit zijn al redelijk efficiënte motoren en/of motoren met een beperkte draaiuren, minder dan 2.000 uur.

ECONOMIE – REKENVOORBEELD MOTOREN

Bij vervanging van oudere elektromotoren voor een nieuw hoog efficiënt exemplaar ontstaat soms aarzeling, omdat de meerprijs van een zeer efficiënt exemplaar niet voldoende op waarde wordt geschat, dan wel omdat reparatie of het plaatsen van een oudere vervangingsmotor lagere kapitaalskosten (investering/Capex) geeft. De hoogte van de operationele kosten (Opex) worden dan niet goed meegewogen. Bij deze afwegingen is het belangrijk om zowel Capex als Opex in de beslissing mee te nemen. Een super premium elektromotor blijkt dan vrij goedkoop te zijn in vergelijking met de kosten voor zijn elektriciteitsverbruik.

Energiebesparing

De efficiency van elektromotoren is gedefinieerd in de kwaliteitsklassen IE1 tot en met IE4. De energie- en kostenbesparingen kunnen met een eenvoudige berekening worden gemaakt, op basis van rendementen, bedrijfstijden, de belasting en het elektriciteitstarief

$$\text{Energiebesparing per jaar} = P \times LF \times B \frac{\text{uren}}{\text{jaar}} \times \left(\frac{100\%}{\eta_{\text{motor1}}} - \frac{100\%}{\eta_{\text{motor2}}} \right) \times \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Met:

- P = nominaal vermogen van de motor in kW
- LF = load factor (%), de actuele belasting gedeeld door de nominale belasting, over een bepaalde periode (jaar)
- B = bedrijfstijd van de motor in uren per jaar
- $\eta_{\text{motor 1, 2}}$ = motorrendementen motor 1 en 2
- €/kWh = het gemiddelde elektriciteitstarief in € per kWh

Bedrijfstijden

De tabel geeft gemiddelde bedrijfstijden per vermogensklasse

Vermogen kW	Bedrijfstijd uur/jaar	Vermogen kW	Bedrijfstijd uur/jaar
0,75-4	2.750	38-75	5.350
5-15	3.400	76-150	5.200
16-37	4.050	151-375	6.100

Bron: CEE, 2011, manufacturing industry estimates

Type plaatje

De rendementen van de elektromotoren kunt u aflezen van het typeplaatje, of berekenen op basis van de norm gegevens van de motor. Daarna kan de besparing worden berekend (zie formule). Let op: bij oudere motoren (>15 jaar) is de vermelde efficiency op het typeplaatje niet direct vergelijkbaar met de IE-classificatie en efficiencies. Voor de IE-classificatie is een nieuwe testmethode van toepassing, waarmee de oude vermelde efficiencies hoger, optimistischer zijn dan in werkelijkheid (IE-getest) het geval is. Bij veel oude motoren staat er geen informatie over efficiency op het typeplaatje. De gegevens van nominaal vermogen, nominale spanning, nominale stroom en arbeidsfactor kunnen worden gebruikt om de efficiency van de elektromotor te berekenen. Als de motor niet te groot is (geen overdimensionering), biedt de efficiency een goede indicatie voor het evalueren van de energie-efficiency.

Motor Systems Tool

U kunt de gegevens ook direct gebruiken in het merk-onafhankelijke rekentool Motor Systems Tool (www.iea-4e.org/emsa/our-work/emsa-tools/). Met dit tool zijn de elektromotor en andere componenten en het systeemrendement direct te berekenen en te vergelijken.



3. REGELING / TOERENREGELING - AANBEVELINGEN

Goede regeling van de aandrijving afgestemd op de vraag is een eerste vereiste voor een optimale bedrijfsvoering.

Er zijn meerdere redenen en voordelen om het toerental van een toepassing te regelen:

- Energie besparen en het rendement van systemen verbeteren
- Het toerental van de elektromotor aanpassen aan de procesvereisten
- Het koppel of vermogen van een elektromotor aanpassen aan de procesvereisten
- Het werkklimaat verbeteren
- De mechanische belasting van machines beperken
- Geluidsniveaus verlagen, bijvoorbeeld bij ventilatoren en pompen.

Welk voordeel het meest bepalend is, hangt af van de toepassing.

De drie hoofdtechnologieën voor toerenregeling in de industrie zijn:

- Hydraulisch. Deze worden vaak in transportbandtoepassingen toegepast, met name voor grondverzet- en mijnuitrustingen, vanwege de inherente softstartmogelijkheid.
- Mechanisch, zoals riem- en kettingaandrijvingen (met instelbare diameters), frictieaandrijvingen (metaal) en variabele reducties zoals magneetkoppelingen.
- Elektrisch: frequentieregelaar met elektromotor, servosystemen (bijvoorbeeld servoversterker en servo-PM-motor), gelijkstroommotor met besturingselektronica, Sleepringmotor (slipregeling met een inductiemotor met gewikkelde rotor).

Aanbevelingen bij het toepassen van toerenregeling:

1. Zorg dat motoren niet draaien als er geen 'vraag' is, door automatische aan/uit-afschakeling
 - Bij productiemachines en bij utilities als koelwaterpompen, ventilatiesystemen, luchtbehandelingskasten.
 - In geval van cascade regeling, bij handmatig bij-/afschakelen: stap over op automatisch bij-/afschakelen.
2. Bij stromingsmachines als pompen en ventilatoren zijn aanzienlijke besparingen mogelijk via de inzet van toerenregeling, door
 - Vervangen van smoorregeling → toepassen van toerenregeling
 - Vervangen van bypassregeling → toepassen van toerenregeling en uitschakelen van de bypass
 - Bij parallelle pompen (slecht werkpunt) → inzet van de pomp(en) op het juiste werkpunt(en), eventueel met toerenregeling

-> en stel steeds de regeling in op de juiste condities/toerental.

Bij een proces met een wisselende belasting, bij draaiuren vanaf 1500 uur per jaar, is toerenregeling al snel rendabel, afhankelijk van de precieze belastingvariaties op uur, week en jaarbasis.

3. REGELING / TOERENREGELING - TECHNOLOGIE

Frequentieregelaar

Een frequentieregelaar biedt een continue elektronische regeling van voor lagere en hogere snelheden (25% tot ongeveer 150%), afhankelijk van de toepassing. Moderne asynchrone motoren kunnen eenvoudig exact worden geregeld.

Een frequentieregelaar is een elektronische toerenregeling die het toerental en koppel van de elektromotor nauwkeurig regelt. De regelaar zet de ingaande net-wisselspanning en netfrequentie om in een wisselspanning variabel in frequentie en amplitude, om zo exact de snelheid en het koppel van de elektromotor te regelen.

Zo kan de frequentieregelaar als besturingssysteem met sensoren voor druk, temperatuur e.d. worden opgezet, die op het juiste moment het vereiste (en alleen het vereiste) vermogen levert voor een volumestroom van een pomp, een ventilator e.d. In deze toepassingen zijn grote energiebesparingen mogelijk.

Een frequentieregelaar voegt een bijkomend verlies toe aan het systeem, ter grootte van ongeveer 5%. De omvormingen in de regelaar leveren ook een extra verlies aan efficiency van ongeveer 1% op voor de motor. Om deze reden moeten de voor- en nadelen van de toepassing van een regelaar zorgvuldig worden overwogen.

Een aantal super premium motoren (IE4 en hoger) zoals PM motoren, SynRM en EC motoren hebben standaard een frequentieregelaar nodig. De efficiency van frequentieregelaars is vastgelegd in de standaard IEC 61800-9-2 en volgt die van motoren: IE1, IE2.

Per 1 juli 2021 gelden er de minimum efficiency vereiste van IE2 voor frequentieregelaars volgens de EU Richtlijn 2019/1781.

Wanneer u een frequentieregelaar wilt vervangen of toevoegen in een bestaande situatie: controleer of de elektromotor geschikt is voor het gekozen type frequentieregelaar (denk aan resonantiefrequenties, smering, materiaalmoetheid door versnellen en vertragen). Oudere motoren kunnen niet altijd met een frequentieregelaar worden uitgerust, vanwege risico's voor schade aan wikkelingen en lagers als gevolg van overspanningen.

Voordelen

- **Energiebesparing**
Met centrifugaalpompinstallaties is in veel installaties een besparing van tussen 30% en 50% gerealiseerd door VFD's te installeren. Wanneer PD-pompen worden gebruikt, is het energieverbruik meestal evenredig met het gepompte volume en kunnen besparingen gemakkelijk worden gekwantificeerd.
- **Verbeterde procescontrole**
Door de uitvoerstroom of druk van de pomp direct aan de procesvereisten aan te passen, kunnen kleine variaties sneller worden gecorrigeerd door een frequentieregelaar dan door andere besturingsvormen, wat de procesprestaties verbetert.
- **Betere systeembetrouwbaarheid**
Elke snelheidsvermindering die wordt bereikt door het gebruik van een frequentieregelaar, heeft grote voordelen bij het verminderen van pompslijtage, met name in lagers en afdichtingen.
- **Bij terugkerende bewegingen van een aandrijving is het mogelijk om de remenergie terug te voeren aan het net.** De frequentieregelaar moet daarvoor met een speciale filter worden uitgerust (active front end).

3. REGELING / TOERENREGELING - TECHNOLOGIE

Alternatieven voor frequentieregeling zijn een variabele magnetische koppeling en toerenregeling met een meersnelheden elektromotor:

- Een variabele magnetische koppeling regelt het toerental en koppel van de elektromotor door de afstand tussen de schijven te variëren. De slip tussen de twee magnetische schijven geeft een zeker verlies. Door zijn mechanische eenvoud en het ontbreken van contact tussen motor en gedreven apparaat heeft de koppeling een laag niveau van trillingen en onderhoud(skosten).
- Motoren met meerdere snelheden bevatten voor elke motorsnelheid een andere set windingen; bijgevolg zijn ze duurder en minder efficiënt dan motoren met één snelheid.
- Voor hoog koppel/laag toerental toepassingen zijn andere regelcomponenten toepasbaar als bijvoorbeeld de hydraulische koppeling of mechanische variator.

Magneetkoppeling

- De variabele magneetkoppeling heeft slipverliezen en afhankelijk van de mate van slip varieert de toerenreductie van 5% tot 50%. De koppeling is in speciale productie-omgevingen zoals ATEX en stof kansrijk ten opzichte van een frequentieregelaar, vanwege voordelen in aanlegkosten voor bekabeling en behuizing, en eenvoud. Deze mechanische eenvoud biedt tevens zicht op een lange levensduur en lage onderhoudskosten, voor de koppeling en het gedreven apparaat, door het verminderen van pompslijtage met name in de lagers en afdichtingen. Bij toepassing voor stromingsmachines levert de magneetkoppeling tot 75% tot 90% van de besparingen mogelijk met een frequentieregelaar. De investeringskosten voor magneetkoppeling en frequentieregelaar liggen op een vergelijkbaar niveau.

Power Quality

Power quality staat voor de kwaliteit van de stroom en spanningskwaliteit met bijvoorbeeld spanning, frequentie, asymmetrie, harmonischen en blindvermogen.

- Bewaak – vooral bij grote vermogens frequentieregelaars – de Elektromagnetische Compabiliteit (EMC), en voorkom daarmee verstoringen in het elektriciteitsnet.
- Monitor de arbeidsfactor ($\cos \varphi$, Displacement Power Factor DPF). Toepassing van een frequentieregelaar verbetert de $\cos \varphi$ (DPF), maar door harmonische verstoringen - uitgedrukt in THD (Total Harmonic Distortion) - kan de overall power factor verslechteren. Extra voorzieningen in de frequentieregelaar middels actieve filters kunnen dit voorkomen/verbeteren.
Power Factor = $DPF1 + THD2$
- Zolang de $\cos \varphi$ boven de 0,85 blijft is $\cos \varphi$ -regeling niet nodig. Wees kritisch naar voorgespiegelde besparingen door $\cos \varphi$ -compensatie.
- Power Quality is regelbaar en beheersbaar en start met een goede aarding, de inzet van goede installatie-technici, en het gebruik van goede componenten.

4. Overbrengingen - AANBEVELINGEN

- Pas waar mogelijk alleen directe aandrijving toe, d.w.z. zonder transmissie, zonder riemen.
- Kies bij riemoverbrenging voor getande riemen, niet voor V-snaren. Het rendement is respectievelijk 96% - 98% bij getande riemen tegenover 92% - 94% bij V-snaren.
- Tandriemen (synchrone riemen) hebben overigens geen schokdempende eigenschappen, V-snaren wel.
- Zorg daarbij voor een goede snaarspanning; een te lage spanning geeft al snel een verdubbeling van de verliezen.
- Onderzoek of bestaande riemoverbrengingen goed zijn. Overdimensionering leidt tot onnodige energieverliezen. Gebruik hiervoor het rekentool Motor System Tool (zie par. 7) waarin de verschillende type riemoverbrengingen zijn ingebracht en kunnen worden doorgerekend op efficiency.
- Kies bij tandwiel-overbrengingen voor efficiënte uitvoeringen, en pas geen wormwielen en gekruiste schroefwielen toe; daar kunnen de verliezen zeer hoog oplopen. Spiraal en conische overbrengingen hebben rendementen van 88% - 98%, tegen wormwielen 65% - 85%.
- Een magneetkoppeling met een vast instelbare toerenreductie stelt tegenover de hogere verliezen (slip van minimaal 5%) in vergelijking met riemoverbrenging andere voordelen: de koppeling geeft minder trillingen, heeft een minder kritische uitlijning en geeft geen vervuiling van de omgeving door slijtagedelen (riem). De onderhoudskosten zijn daardoor zeer laag. De investeringskosten liggen circa op het niveau van de specifieke kosten van een elektromotor. Analyse van de TCO (total cost of ownership = kosten over de gebruiksduur) levert het juiste beeld op.

5. Pomp- en Ventilatorsystemen

Bij veel pompsystemen brengen smookkleppen het teveel aan pompcapaciteit omlaag. Vervanging van een smookklep door toerenregeling bespaart dan veel energie: met het opheffen van een smoring van 20% is een besparing van 25-33% mogelijk.

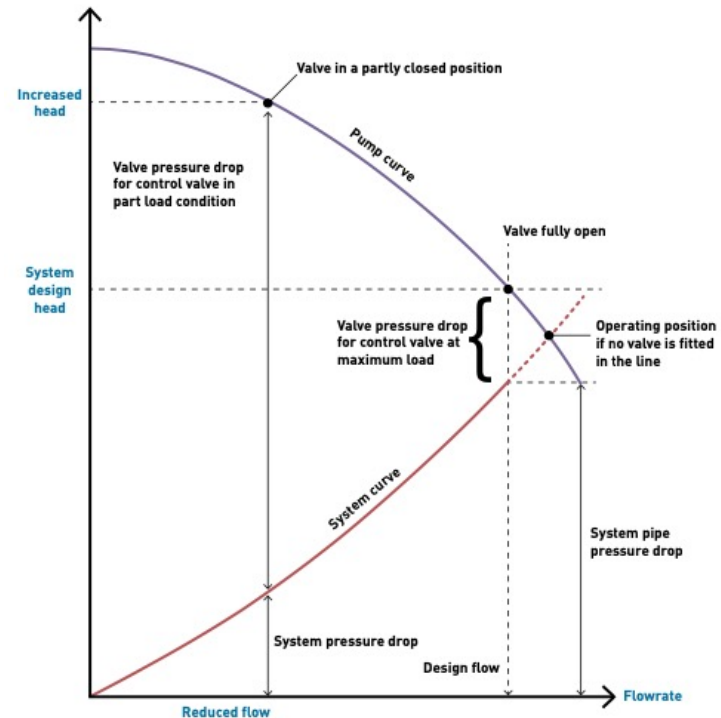
Pompsystemen zijn grootverbruikers van elektriciteit in de industrie. Circa 2/3 van het industriële elektriciteitsverbruik 'zit' in aandrijvingen en 30% daarvan wordt door pompsystemen opgenomen. Alle reden om hier goed naar te kijken.

Pompen zijn onderverdeeld in twee hoofdcategorieën: centrifugaal pompen en positieve verplaatsing (PD) pompen. In een centrifugaal pomp zorgt een roterende waaier voor het verhogen van de vloeistofdruk. De vloeistof komt de pompwaaier binnen langs of dichtbij de roterende as en stroomt versneld door de rotor radiaal naar buiten via een diffusor of slakkenhuis (behuizing). Deze pompen hebben een variabel koppel, waarbij toepassen van toerenregeling het grootste effect oplevert.

Pompcurve en systeemcurve

De pompcurve geeft de prestaties van een centrifugaal pomp grafisch weer in figuur 4 middels het verloop van de opvoerhoogte ($H = \text{head}$) en bijhorende opbrengst per tijdseenheid ($Q = \text{flowrate}$). De curve laat zien dat de opvoerhoogte (H) geleidelijk daalt met een toenemende flow Q . Voor een PD-pomp is de stroom vrijwel constant, ongeacht de hoogte. De 'curve' is een rechte lijn die sterk schuin afloopt.

De systeemcurve wordt bepaald door de vorm en weerstand van het leidingwerk inclusief regelkleppen e.d. Wanneer een pomp in een systeem is geïnstalleerd, komen pomp- en systeemcurve samen in het werkpunt, het punt waar de twee curven elkaar kruisen.



Figuur 4 Pompcurve en systeemcurve centrifugaal pomp

Wanneer de klep (valve) wordt gesloten, zal de flow afnemen en de druk voor de klep toenemen. Wanneer de klep wordt gedeeltelijk wordt dichtgedraaid om de opbrengst te verlagen, zal de opvoerhoogte stijgen, de flow afnemen, en het door de pomp verbruikte vermogen slechts licht afnemen. Een aanzienlijk efficiëntere manier om de flow te regelen is het aanpassen van de pompsnelheid.

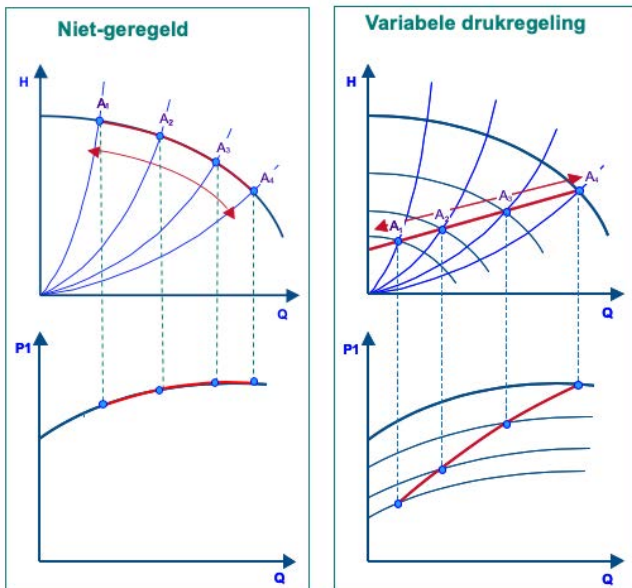
5. Pompsystemen - AANBEVELINGEN

Efficiency van pompen

Aanpassing van de pompsnelheid biedt de meest efficiënte manier om de pompopbrengst, flow en opvoerhoogte, te regelen. Door het pomptoeental te verlagen, wordt minder energie aan het systeem/de vloeistof toegevoerd en hoeft er geen energie te worden gesmoord.

In de figuur 5 is te zien hoe bij de niet toerengeregelde (centrifugaal) pomp de werkpunten langs de pompcurve lopen, met licht variërende vermogensopname (P1). Bij de variabele drukregeling (toerengeregelde pomp) neemt bij lagere flows het opgenomen vermogen aanzienlijk af.

Technologieën voor toerenregeling zijn toegelicht in paragraaf 3.



Figuur 5 Effect van toerenregeling op pompvermogen

Aanbevelingen

- Elimineer onnodig gebruik
 - Schakel de pompen uit zodra dat mogelijk is
 - Vermijd (onnodige) recirculatie via bypasses
- Minimaliseer smoren (met een smoor-, regelklep)
- Beoordeel de geschiktheid van het pompsysteem voor de huidige toepassing.

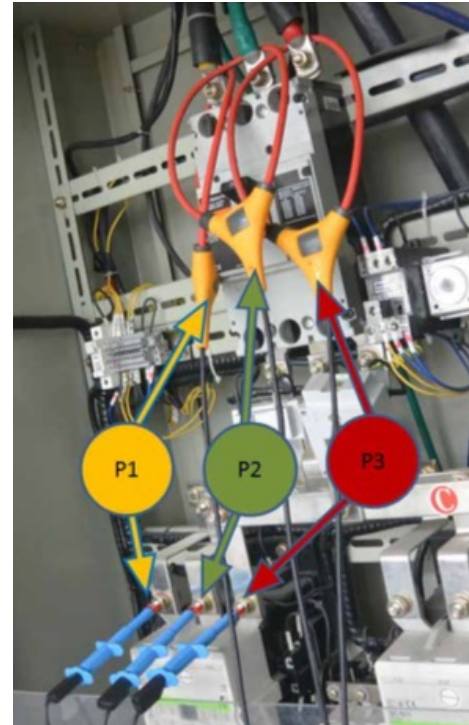
Veel geïnstalleerde systemen zijn te groot gedimensioneerd en bieden de mogelijkheid voor:

 - Installeren van een grote (volledige) waaier in combinatie met toerenregeling
 - Vervangen van versleten waaiers
 - Toepassen van een kleinere pomp
 - Installeren van een kleinere en/of een efficiëntere pompmotor
- Verlaag het pomptoeental door
 - Een lage toerenmotor toe te passen, of
 - Een toerenregeling: frequentieregelaar of magneetkoppeling

Let op: dit geldt voor zowel constant toerenal toepassingen (niet geregeld, aan/uit) als voor toepassingen met een variabele vraag (geregeld).
- Verbeter de configuratie van de leidingen
 - Elimineer onnodige bochten, kleppen, accessoires
 - Optimaliseer de inlaat- en uitlaatleidingen van de pomp

6. Onderhoud - AANBEVELINGEN

- Bepaal per aandrijving de vereiste onderhoudsacties: het preventieve onderhoud (visueel, akoestisch, thermografisch) en de te ondernemen interventies bij uitval.
- Zorg voor goede balancerings, uitlijning en smering. Elk aspect afzonderlijk kan besparingen in de orde van 5% opleveren.
- V-snaren regelmatig opnieuw aanspannen, anders daalt de efficiëntie.
- Controleer van tijd tot tijd de inregeling van de frequentieregelaar op procescondities, d.w.z. toerental, vermogen, tijden.
- Vervang periodiek, bv. elke vijf jaar de lagers, riemen e.d., en zorg voor goede uitlijning en smering.
- Onderzoek de systemen die een hoge onderhoudsfrequentie hebben, bijvoorbeeld minder dan 2 jaar. Vaak wijst dit op een verkeerde systeemparameters.
- Bijvoorbeeld reserve-exemplaar gereed houden (zelf of bij servicebedrijf); direct vervangen door nieuwe (super) premium motor, en daarbij op 75% dimensioneren, evt. een frequentieregelaar erbij plaatsen, en eventueel een verbeterde pomp, ventilator of compressor installeren.
- Installeer voor cruciale aandrijvingen sensoren voor monitoring en analyse van het systeem. Technologieën voor sensors op de motor, de pomp/apparaat, tandwielkast en aansluitkast zijn beschikbaar, en continu in ontwikkeling. Frequentieregelaars zijn in toenemende mate ook geschikt om in deze sensing (intelligentie) te voorzien.



7. OPTIMALISEREN: REKENEN MET HET MOTOR SYSTEMS TOOL

De vijf belangrijkste aspecten van systeemoptimalisatie:

1. Het aandrijfsysteem op de juiste manier aanpassen aan / afstemmen op de vraag
2. Gebruik moderne, efficiënte componenten
3. Bediening van het systeem op basis van belasting - geen beperking (smoren) of bypass
4. Bewaken en interpreteren van energieverbruik (en andere kerngegevens)

Met het Motor Systems Tool kunt u alle componenten van een aandrijfsysteem precies specificeren, een belastingprofiel definiëren en vervolgens systeem rendement en energieverbruik doorrekenen. Effecten van andere hoog efficiënte elektromotoren en componenten doorrekenen en vergelijken.

Het Motor Systems Tool is geschikt voor alle technisch geïnteresseerde mensen, zoals gebruikers, planners, installateurs, energieconsulenten, enz. die te maken hebben met (systeem)analyses van industriële elektrische aandrijfsystemen.

Het Motor Systems Tool is ontworpen door DTI (Danish Technological Institute) en vrij te downloaden via <https://www.iea-4e.org/ems/our-work/ems-tools/>

Het is een fabrikant-onafhankelijke softwaretool dat systematisch gegevens verzamelt en analyseert over door elektromotoren aangedreven systemen. De productdatabases zijn aangepast aan de bijgewerkte IEC-normen (IEC 60034-30-1 en IEC 61800-9-2) en bevatten ook nieuwe motortechnologieën zoals permanent magneet en synchroon reluctantie, evenals rendementsgegevens van riemoverbrengingen.

De MST is geschikt voor alle gebruikscasussen van elektromotor aangedreven eenheden. Op de volgende bladzijde wordt een voorbeeld berekening gegeven van een ventilatiesysteem. Een uitgebreide handleiding is beschikbaar via de bovenstaande link.

De huidige versie van de MST bevat de volgende componenten, inclusief de bijbehorende gegevens:

Motor

Standaard inductiemotor, Permanent-magneetmotor, Synchroon reluctantiemotor, IEC-61800-9-2 referentiemotor

Verbindingsmethode

Direct online, Softstarter, Frequentie omzetter

Transmissie

Riemen: V-snaar, Cogged V-riem, V-riem, Tandriem, Platte riem
Gears: Wormwiel, Kegeltandwiel, Spiraaluitrusting

Toepassing (werkmachine)

Ventilator, Waterpomp, Hydraulische pomp, Luchtcompressor, Koelcompressor, Andere toepassingen

De Motor Systems Tool kan alle relevante parameters, zoals vermogen en vermogen, koppel en snelheid, berekenen op vier selecteerbare werkpunten in het aandrijfsysteem:

- P1 - Ingangsvermogen motor
- P2 - Aandrijfkracht motor
- P3 - Ingang belasting
- P4 - Uitgangsvermogen belasting

MOTOR SYSTEMS TOOL - VOORBEELD

Dit voorbeeld illustreert de optimalisatie van een bestaand ventilatiesysteem dat dezelfde druk en hetzelfde luchtvolume voor en na de optimalisering weergeeft. Het ventilatiesysteem in dit voorbeeld is een systeem met een variabele volumetrisch debiet. Naast de ventilator omvat dit systeem een transmissie, een motor en een frequentieregelaar.

Gegevens startsituatie: $p_t = 2200$ Pa, de ventilator heeft een backward-curved vanes met capaciteit van $4,0$ m³/s. Uit het diagram is af te lezen dat voor dit werkpunt de efficiency 84% is, zie figuur 6. De figuur laat ook zien dat de ventilator rond 1840 rpm draait om het gemeten luchtvolume bij de gedefinieerde druk te leveren.

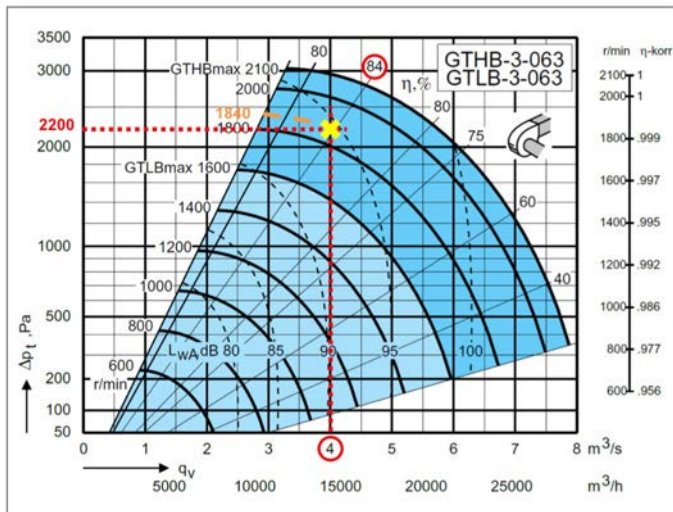
De totale systeemefficiëntie is het product van de individuele efficiëntieniveaus:

$$\eta_{\text{Systeem}} = \eta_{\text{Load}} \cdot \eta_{\text{Transmissie}} \cdot \eta_{\text{Motor \& FC}}$$

$$\eta_{\text{Systeem}} = 84,0\% \cdot 87,3\% \cdot 84,9\% = 62,2\%$$

Met de Motor Systems Tool kunt u nu componenten of werkpunten wijzigen. Het effect van deze wijzigingen op het vermogen, de efficiëntie en de snelheid worden onmiddellijk weergegeven.

De tool berekent de 'Jaarlijkse kosten' van elektriciteit en stelt de gebruiker ook in staat om verschillende varianten en optimalisatie-instellingen te vergelijken en te contrasteren. Door op het geldpictogram te klikken, kan de gebruiker de jaarlijkse draaiuren, de kWh-prijs en de valuta individueel aanpassen.



Figuur 6 Grafiek van de 'Centrimaster GT3' ventilator



REFERENTIES

Verdere informatie

- www.keea.nl/ (Kennisnetwerk Efficiënte Elektrische Aandrijvingen)
- www.iea-4e.org/emsa (IEA 4E EMSA)
- www.rvo.nl/onderwerpen/energie-besparen-industrie/elektrische-aandrijvingen
- www.rvo.nl/onderwerpen/energiebesparingsplicht-2023/onderzoeksplicht

Bronnen

- IEA 4E EMSA, diverse publicaties, o.a. Policy Guidelines for Motor Driven Units, 2016, 2018; www.iea-4e.org/emsa
- Factsheets Topmotors.ch
- IEA 4E EMSA Audit Guide for motor systems, 2019
- Frequentieregeling, RVO, januari 2016
- Vergelijk van magneetkoppeling (MK) en frequentieregelaar (FR), RVO, 2015
- Presentaties EEMODS en MotorSummit
- Communicaties met bedrijven

Standaarden

- IEC 60034-30-1:2014 Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code).
- IEC 61800-9-2:2017 Adjustable speed electrical power drive systems – Part 9-2: Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics and their driven applications – Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters.

Dit is een publicatie van: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht
T +31 (0) 88 042 42 42 | E klantcontact@rvo.nl | www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie. RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | april 2023

De informatie uit deze brochure is vrij bruikbaar, mits er een duidelijke bronvermelding wordt opgenomen naar deze publicatie.