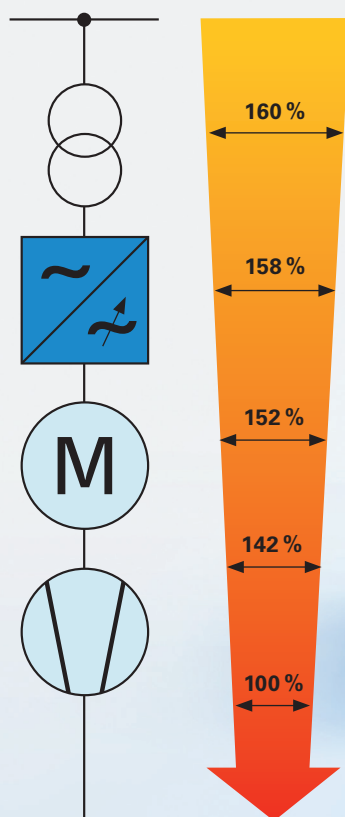


Succesvolle implementatie van de Richtlijn energiegerelateerde producten (ErP-richtlijn)

Verliezen beperken door middel van snelheidsregeling



Whitepaper

Dipl.-Ing. Heribert Joachim
1e editie, 2013



Powering Business Worldwide

Energie-efficiëntie in industriële toepassing

– potentiële besparingen in elektrische aandrijftechniek benutten

Inleiding

Energie-efficiëntie staat sterk in de belangstelling. De afgelopen jaren hebben de politiek en het bedrijfsleven er alles aan gedaan om energie te besparen in productiesystemen en CO₂-emissies in de industriële sector te verlagen. Op veel gebieden zijn opmerkelijke successen geboekt, maar het is nog veel te vroeg om op onze lauweren te rusten. Er is nog steeds veel potentieel voor energiebesparing, vooral in de elektrische aandrijftechniek. Dit potentieel kan het effectiefst benut worden door het intelligente gebruik van automatiseringstechnologie in combinatie met motorstarters of frequentie-omvormers. De belangrijkste factor is hierbij het kiezen van de juiste oplossing voor elke toepassing.

De Duitse industrie is verantwoordelijk voor ongeveer 30% van het totale finale energieverbruik in het land (zie fig. 1). Tweederde van het verbruik in deze figuur wordt voor procesverwarming gebruikt. Een kwart van het verbruik gaat op aan mechanische energie, terwijl verwarming van ruimtes verantwoordelijk is voor slechts een klein aandeel van het totale verbruik¹. 54% van de finale energievraag in de industrie is afkomstig van de maakindustrie². Volgens de Duitse brancheorganisatie voor fabrikanten van elektrische en elektronische apparatuur (ZVEI) zouden alleen al in de fabrieken van de Duitse proces- en maakindustrie energiebesparingen van 10% tot 25% behaald kunnen worden door efficiëntere automatiseringstechnologie te gebruiken. Dit is gelijk aan 88 miljard kilowattuur energie-equivalenten. Hiermee zou jaarlijks 7 miljard bespaard kunnen worden op de energiekosten.³

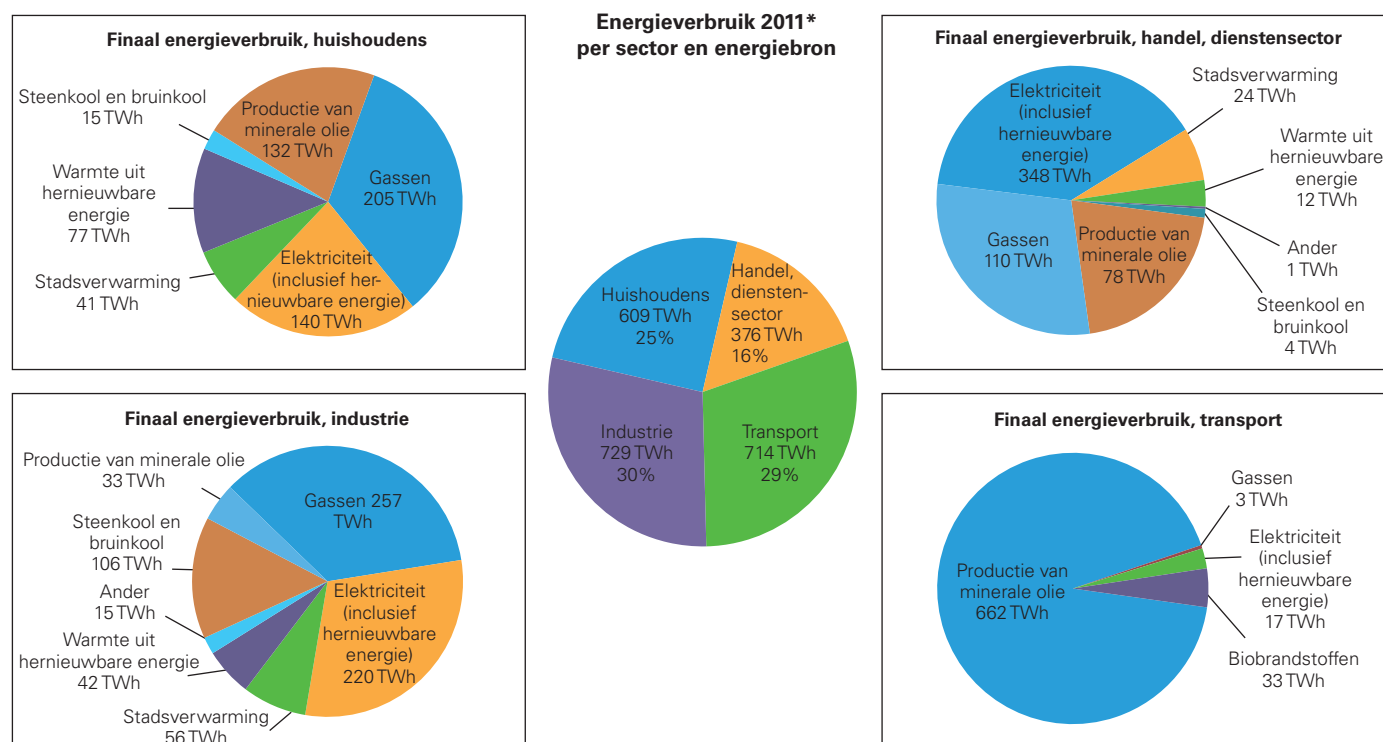


Fig. 1 Energieverbruik in Duitsland (2011) per sector en energiebron, bron: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Federal Environment Agency

- 1 Federal Environment Agency, energy consumption by source and sector, maart 2013, <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?modelident=5978> [in het Duits]
- 2 VDMA / Roland Berger: Der Beitrag des Maschinen- und Anlagenbaus zur Energieeffizienz, 2009
- 3 ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010

Industriële automatisering biedt ook een enorm potentieel wanneer het gaat om broeikasgassen. 37% (378 miljoen ton CO₂e (CO₂e = CO₂-equivalent) van alle broeikasgasemissies in Duitsland (1025 miljoen ton CO₂e) is afkomstig uit de industriële sector, en dit cijfer zal de komende 20 jaar naar verwachting sterk stijgen. Het is echter nog steeds mogelijk om deze ontwikkeling af te remmen. Een toenemend gebruik van intelligente milieutechnologieën, in het bijzonder automatiseringsoplossingen, zou deze stijging kunnen vertragen en deels zelfs kunnen ombuigen⁴. In de industrie zouden besparingen van 43 miljoen CO₂-equivalenten kunnen worden bereikt wat betreft broeikasgassen (ongeveer 11% van alle emissies in de industriële sector). Dit staat gelijk aan de jaarlijkse CO₂-emissies van zeven willekeurige kolengestookte elektriciteitscentrales (elk van 2000 MW)⁵.

Binnen de industriële productie nemen elektrische aandrijvingen het leeuwendeel voor hun rekening van ongeveer tweederde van het elektriciteitsverbruik⁶. Verbetering van de efficiëntie door de juiste aandrijftechniek te gebruiken, speelt daarom een bijzondere rol. Alleen al in Duitsland zou, volgens schattingen van de Federal Environment Agency, een efficiëntere aandrijftechniek, inclusief intelligente automatiseringsoplossingen, het verbruik in de periode tot 2020 met ongeveer 27 miljard kilowatt kunnen verlagen, waarbij ook nog eens 16 miljoen ton CO₂-emissies voorkomen worden⁷. Het besparingspotentieel in de elektrische aandrijftechniek wordt nog opvallender wanneer rekening gehouden wordt met het feit dat energiekosten verreweg het grootste deel uitmaken van de algemene kosten gedurende de levenscyclus van een elektromotor (zie fig. 2).

Op basis van deze bevindingen is in de Europese Unie een aantal initiatieven gestart om ecologisch ontwerp in producten te stimuleren. Aan de basis van deze voorstellen ligt de ErP-richtlijn 2009/125/EG voor “**E**nergy related **P**roducts”⁸, die een vervanging en uitbreiding is van het toepassingsgebied van ErP-richtlijn 2005/32/EG⁹. De richtlijn zet een kader op voor het definiëren van algemene vereisten voor het ecologische ontwerp van producten die energie verbruiken en stelt criteria vast waaraan de betreffende producten moeten voldoen om in aanmerking te komen voor gebruik in Europa. De vereisten met betrekking tot afzonderlijke productgroepen worden in afzonderlijke uitvoeringsrichtlijnen uiteengezet, bijvoorbeeld Verordening EG 640/2009 voor elektromotoren¹⁰.

Hierbij kunnen echter een aantal vragen worden gesteld: wat zijn precies de nieuwe vereisten voor elektromotoren en welke typen vallen onder de verordening? Hoe kunnen bedrijven het besparingspotentieel in elektrische aandrijftechniek zo effectief mogelijk benutten? Welke automatiseringsoplossing is het meest geschikt voor welke toepassing? Welke implementatiestrategieën zijn er? Hoe hoog zijn de investeringen voor technische modernisering? In deze whitepaper wordt getracht deze vragen te beantwoorden en richtlijnen te geven voor machinetechnici, bouwers van besturingskasten en exploitanten van installaties voor het gebruik van geschikte automatiseringsoplossingen om de energie-efficiëntie en de milieu-eigenschappen van hun productieprocessen in elektrische aandrijftechniek te verbeteren.

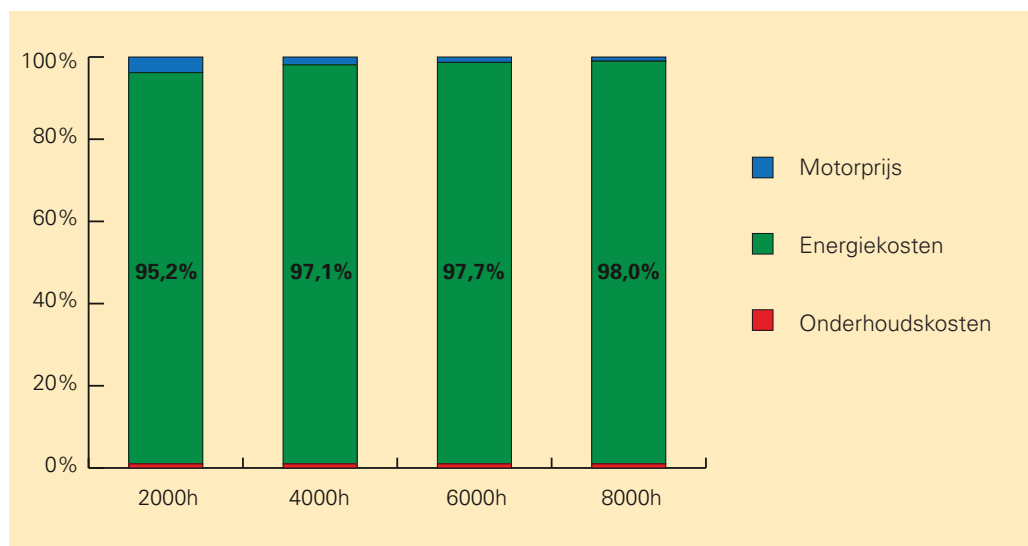


Fig. 2: Kosten gedurende de levenscyclus (excl. installatie- en verwijderingskosten) van een motor van 11 kW met een levensduur van 15 jaar (of eventueel ZVEI-motoren en aandrijvingen met een closed-loop regeling, pagina 14), Bron: diam-consult*

* Uit Almeida, A.T.Ferreira, Fong, J., Fonseca, P., EUP Lot 11 Motors; ISR-University of Coimbra, februari 2008

4 ZVEI, op basis van McKinsey & Company, Inc. “Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany”, industrierapport 2007
 5 ZVEI, Measuring Technology and Process Automation Division, in: ZVEI: Automation, with high-tech for environmental and climate protection – Automation: We make it energy efficient!, 2010
 6 ZVEI, Motors and closed-loop controlled drives – standards and legal requirements for low voltage three-phase motors, 2013 [in het Duits]
 7 Federal Environment Agency, persinformatienr. 53/2009, Energy efficiency in electric motors, 2009 <http://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/energy-efficiency-in-electric-motors>

8 Richtlijn 2009/125/EG betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energieregerelateerde producten
 9 Richtlijn 2005/32/EG betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energieverbruikende producten
 10 Verordening (EG) Nr. 640/2009 van de Commissie van 22 juli 2009 tot uitvoering van Richtlijn 2005/32/EG van het Europees Parlement en de Raad betreffende eisen inzake ecologisch ontwerp voor elektromotoren

Wettelijke kaders

EG-richtlijnen zijn wettelijk bindend voor alle lidstaten van de Europese Unie en worden van kracht kort na publicatie in het Publicatieblad van de Europese Unie. De ErP-richtlijn 2009/125/EG zet een kader op voor het vaststellen van algemene vereisten voor het ecologisch ontwerp van energiegerelateerde producten. Hiertoe behoren elektromotorsystemen en HVAC-toepassingen zoals instant waterverwarmingstoestellen, waterkokers, commerciële koelkasten and vriesinstallaties, airconditioning-systemen, pompen, ventilatoren en compressoren.

Verordening EG 640/2009 definieert verplichte minimum-efficiëntieklassen voor verschillende efficiëntieniveaus van driefasige asynchroonmotoren op laagspanning (zie fig. 3 voor toepassingsgebieden). Dit type motor wordt op grote schaal gebruikt in de industrie en was in 2005 verantwoordelijk voor bijna 90% van het energieverbruik door elektromotoren in de 27 lidstaten van de EU¹¹. In deze context werden de voormalige vrijwillige EFF-klassen, uitgegeven door de CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics), vervangen door IE-klassen (International Efficiency) zoals uiteengezet in IEC 60034-30 voor inductiemotoren. Dit zijn IE1 (standaardefficiëntie), IE2 (hoge efficiëntie) en IE3 (premium efficiëntie). De efficiëntieclassificatie wordt nu op basis van nieuwe methoden berekend (volgens IEC 60034-2-1: 2007), en wel als volgt:

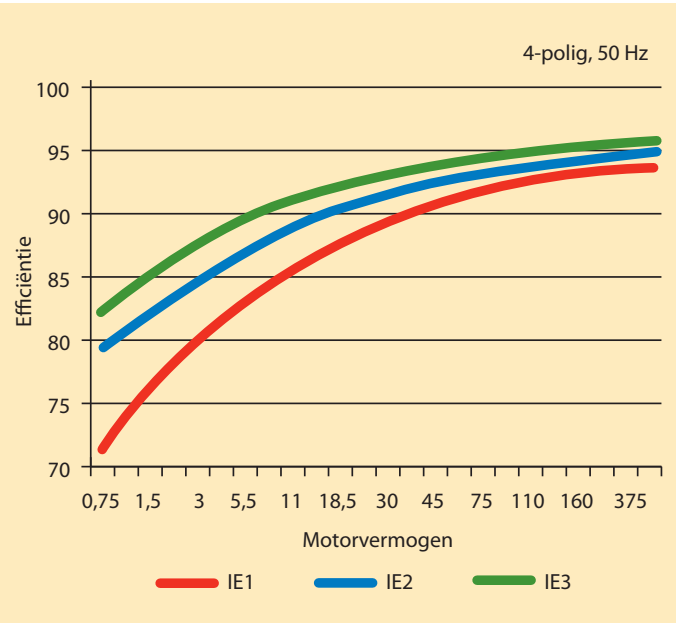


Fig. 4: Globale efficiëntiecurven (IE-code) van standaard asynchroonmotoren, bron: ZVEI

	Welke motor valt binnen welk geldigheidsgebied?	Norm IEC 60034-30: 2008 Klassenamen: IE1, IE2, IE3	ErP-richtlijn/Verordening 640/2009 Minimaal wettelijk vereiste
1	Standaard driefasige asynchroonmotor 0,75-375 kW 2-, 4-, 6-polig, continu gebruik S1 (Opmerking: geldt ook als de motor in een machine is geïnstalleerd)	Ja Opmerking: aanvullende bedrijfsmodus S3 (werkcyclus ≥ 80 %)	Ja
2	Standaard driefasige asynchroonmotor met hulpstukken (asafdichtingen, anti-omschakelsystemen, roterende encoders enz.) 0,75-375 kW 2, 4, 6-polig, continu gebruik S1 (Opmerking: efficiëntiemeting zonder hulpstukken)	Ja Opmerking: aanvullende bedrijfsmodus S3 (werkcyclus ≥ 80 %)	Ja
3	Tandwielmotor	Ja	Ja
4	Explosieveilige motor	Ja	Nee
5	Remmotor Een motor met een elektromechanisch remsysteem dat rechtstreeks op de aandrijf-as werkt, zonder koppeling.	Ja	Nee
6	Motoren die geheel in een machine geïntegreerd zijn (bijvoorbeeld pompen, ventilatoren, tandwielkasten en compressoren) en waarvan de efficiëntie niet onafhankelijk van deze machine kan worden gemeten.	Nee	Nee
7	Andere motortypen (bijvoorbeeld motoren met permanente magneet, poolomschakelmotoren, motoren voor schakelmodi, bijvoorbeeld servomotoren)	Nee	Nee

Fig. 3: Vergelijking van geldigheidsgebieden in de IEC/EU-motorrichtlijn, bron: ZVEI

11 Federal Environment Agency, persinformatienr. 53/2009, Energy efficiency in electric motors, 2009

Energy Savings Estimator

Step 1. Customer Information | Step 2. Utility Information | Step 3. Define System | **Step 4. Energy Estimation** | Step 5. Final Report

Step 4 Energy Estimation

Project Identification: Umbau Küche Fa. Müller Weight Units: Metric

System	Energy Usage	System	Estimated Carbon Footprint
Present System:	18 MWh	Present System:	12,80 Ton(s)
AFD System:	7 MWh	AFD System:	5,18 Ton(s)
Energy Saved:	11 MWh	CO2 Savings:	7,62 Ton(s)

Project Cost/Rebates

Total Equipment Cost:	€ 1.360
Total Installation Cost:	€ 4.000
Total Utility Rebates:	€ 0

Estimated Savings

Estimated Savings	All Systems
Yearly Energy Savings:	€ 1.945

Payback Estimation

Estimated Payback Time: 2,755 Years

Carbon Dioxide (CO₂) savings estimation based on electricity produced from Coal at 0,705 of CO₂/Kg

Defined Systems

Abluft

Edit/View System | System Calculation

Duty Cycle | Payback | Power Required | Energy Usage | Energy Savings | CO₂ Emissions

Calculator | Help | Go Back | Continue

Fig. 5: Energy Saving Estimator-software om het besparingspotentieel in elektronische systemen vast te stellen, bron: Eaton

Als gevolg van deze hervorming zal het geldigheidsgebied dat onder de Motorrichtlijn valt, de komende jaren stapsgewijs worden uitgebreid, met als doel om nog meer energie te besparen in de industriële aandrijftechniek. Het wettelijke kader voor standaard asynchroonmotoren is als volgt:

Verordening EG 640/2009, artikel 3 (samengevat)

- Vanaf 16 juni 2011 moeten motoren minstens aan het IE2-efficiëntieniveau beantwoorden.
- Vanaf 1 januari 2015: motoren met een nominaal vermogen van 7,5–375 kW moeten minstens aan het IE3-efficiëntieniveau beantwoorden [...] ofwel aan het IE2-efficiëntieniveau beantwoorden [...] en zijn uitgerust met een snelheidsvariator.
- Vanaf 1 januari 2017: motoren met een nominaal vermogen van 0,75–375 kW moeten minstens aan het IE3-efficiëntieniveau beantwoorden [...] ofwel aan het IE2-efficiëntieniveau beantwoorden [...] en zijn uitgerust met een snelheidsvariator.

Deze nieuwe wettelijke kaders zouden de bewustwording van de energie-efficiëntieproblematiek in de industrie verder moeten uitbreiden. Zonder automatiseringstechnologie zal de industrie niet in staat zijn om aan de steeds strengere efficiëntievereisten en klimaatdoelen te voldoen. Het toenemende belang van automatiseringstechnologie is op de markt terug te zien: Volgens schattingen van ZVEI zal de wereldwijde markt voor meet-technologie en procesautomatisering groeien van € 113 miljard (2007) tot € 213 miljard (2020), wat overeenkomt met een jaarlijkse groei van ongeveer 5%. Belangrijke factoren die bijdragen aan deze ontwikkeling (ten minste 25% van de

marktwaarde van meettechnologie en procesautomatisering) zijn groene producten en systemen of hebben te maken met energie-efficiëntie- en klimaatbeschermingsactiviteiten. Dit cijfer zal naar verwachting in 2020 van 35% tot 40% gestegen zijn¹².

Energie besparen, maar hoe?

Er zijn drie belangrijke manieren om het energieverbruik van een systeem te verlagen. Elk van deze manieren biedt verschillende besparingsmogelijkheden (in procenten tussen haakjes): verbetering van de efficiëntie van de motor op basis van de nieuwe IE-niveaus (1,4–3%), snelheidsregeling met een variabele aandrijving in plaats van een mechanische smookklep (8–10%) of algemene optimalisatie van het systeem (15–20%)¹³.

Uit deze cijfers blijkt dat het voor een effectieve verhoging van de efficiëntie van een systeem niet voldoende is om alleen individuele onderdelen door efficiëntere producten te vervangen. Het systeem moet juist als geheel worden gezien. Optimale resultaten zijn uitsluitend bereikbaar in de perfecte wisselwerking van alle onderdelen en door de juiste automatiseringsoplossing te kiezen voor de betreffende toepassing. Deze gewijzigde aanpak, waarbij van het onderdeel

¹² ZVEI, Economics and statistics, 2009, in ZVEI: Automation, with high-tech for environmental and climate protection – Automation: We do it energy efficiently!, 2010

¹³ Prof. Andreas Binder, lezing getiteld "Saving Costs and Energy with Efficient Electrical Drives", IHK Nuremberg, 20 januari 2009 [in het Duits]

op het systeem wordt overgestapt, is de oplossing voor de toekomst. Dit blijkt ook uit het feit dat een werkgroep van CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) momenteel al werkt aan een nieuwe norm waarmee de meest energie-efficiënte oplossing voor een integrale toepassing (motor, schakelsystemen, variabele aandrijving) kan worden vastgesteld, inclusief de vereiste testmethoden (CENELEC-norm "Energy Efficiency and Ecodesign Requirements for Power Electronics, Switchgear, Controlgear and Power Drive Systems, and their Industrial Applications").

De geïntegreerde aanpak betekent ook dat een uitgebreide energieverbruiksanalyse van het complete systeem en alle onderdelen ervan vereist is om efficiëntietekorten vast te stellen, evenals de juiste middelen om deze tekorten op te heffen. Aangezien dit een zeer complex proces kan zijn, bieden veel fabrikanten van automatiseringscomponenten praktische softwarematige oplossingen om gebruikers te ondersteunen bij het genereren van gedetailleerde energieverbruiksgegevens van hun machine of installatie (zie fig. 5). Met een programma van dit type is het mogelijk om van tevoren potentiële besparingen te berekenen. Gebruikers kunnen dus vermijdbare risico's voorkomen en zelfs de periode berekenen waarin de kosten voor nieuwe apparatuur afgeschreven kunnen worden, rekening houdend met energiebesparingen. Machineteknici moeten daarom niet terugschrikken voor hoge aanschafkosten voor

geavanceerde technologie, maar juist rekening houden met wat hun geld oplevert in de totale levenscyclus van het apparaat dat ze willen aanschaffen (levenscycluskosten). In het merendeel van de gevallen wordt een investering in automatiseringscomponenten die de efficiëntie van een systeem verbeteren, in een opmerkelijk korte tijd terugverdiend.

Twee manieren van aanpak, één doel

Er zijn twee effectieve methoden voor het optimaal benutten van het energiebesparingspotentieel in elektrische aandrijftechniek: motorstarters en frequentie-omvormers. In beide gevallen leveren de onderdelen alleen de gewenste resultaten op als ze op de juiste manier worden gebruikt. Hieronder worden daarom de verschillen, toepassingsgebieden en gebruiksscenario's beschreven van de vier belangrijkste en bekendste methoden voor het starten en besturen van driefasige asynchroonmotoren in de praktijk.

A) Motorstarters: kenmerkend voor de driefasenmotor is de hoge stroombelasting op de netvoeding bij het starten met directe inschakeling. Er wordt een hoge start- en overspanningsstroom gegenereerd wanneer de volledige spanning wordt toegepast, wat leidt tot problematische spanningsdalingen in de netvoeding en transiënte koppel-effecten in mechanische systemen. Daarom worden

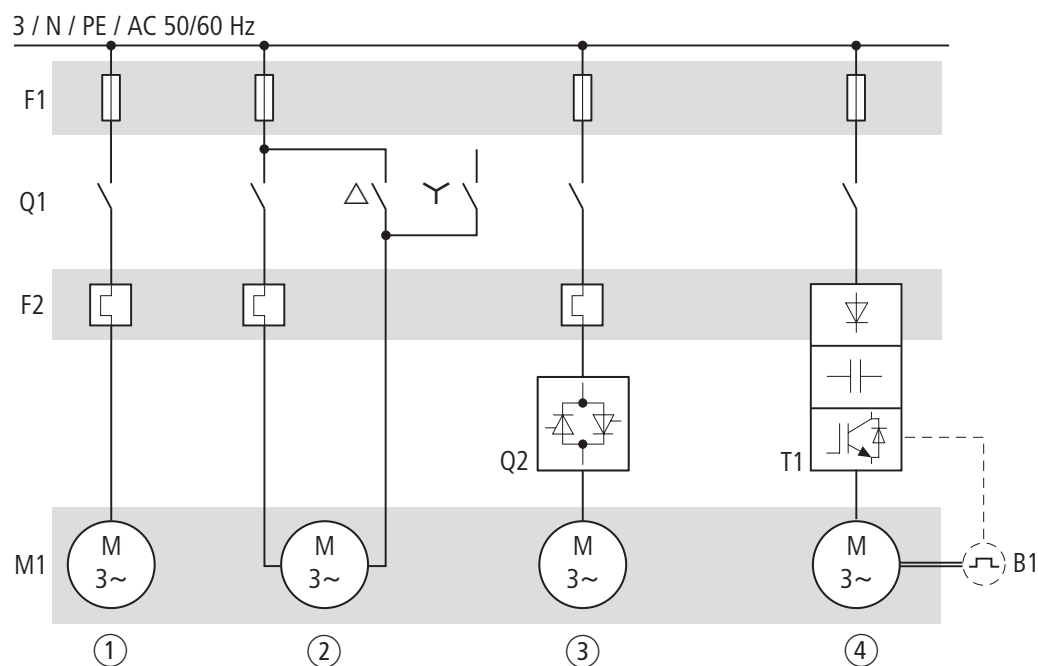


Fig. 6: Motorstartvarianten

F1 = smeltveiligheid (kortsluit- en lijnbeveiliging)

Q1 = schakeling (magneetschakelaars)

F2 = motorbeveiliging (beveiliging tegen thermische overbelasting, overbelastingsrelais)

M1 = driefasige asynchroonmotor

① Motorstart met directe inschakeling.

② Ster-driehoekstarter, de bekendste en meest gebruikte startvariant.

③ Statische aanzetter (Softstarter) (Q2), de continue en traploze motorstart. Een modern, elektronisch alternatief voor de ster-driehoekstarter.

④ Aandrijving met variabele frequentie (T1), geregelde, traploze motorstart met koppel op basis van nominale belasting. Door middel van frequentie-omvormers is ook een traploze toerentalregeling mogelijk en deze zijn uitgerust met geïntegreerde elektronische motorbeveiliging (I²t). Afhankelijk van de eigenschappen maken ze ook exacte toerentalregeling mogelijk (optie, impulsgenerator B1) op de anders slipafhankelijke asynchroonmotoren.

vaak automatiseringsoplossingen toegepast om deze parasitaire effecten op te heffen en het energieverbruik te verlagen.¹⁴ (Fig. 6: functiediagrammen van verschillende soorten motorstarters, bron: Eaton)

- I. **Starter met directe inschakeling** De motorstart met directe inschakeling is de eenvoudigste methode voor het starten van driefasige asynchroonmotoren. De statorwikkelingen zijn rechtstreeks op de netvoeding aangesloten in een enkel schakelproces. Starten met directe inschakeling is ideaal voor aandrijvingen in sterke netten waarin een hoge startstroom (hoog koppel) is toegestaan. (Fig. 7: starter met directe inschakeling, bron: Eaton)

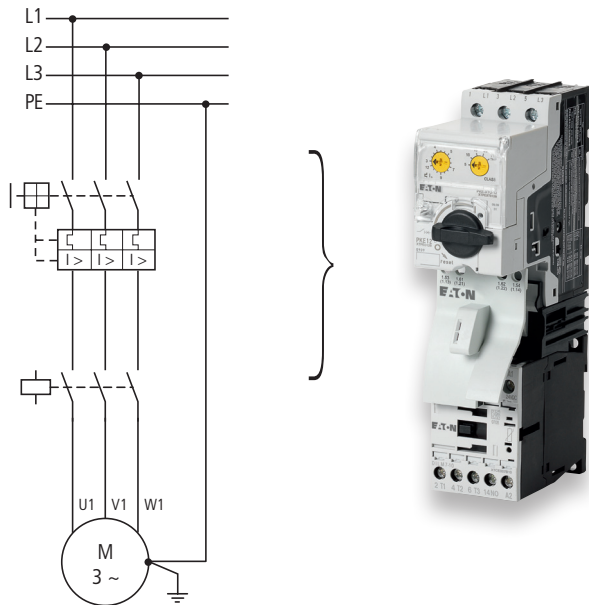


Fig. 7: motorvoeding, starter met directe inschakeling, draaiing rechtsom, voorbeeld van MSC

- II. **Ster-driehoekstarter:** Bij een ster-driehoekstart wordt het starten van de driefasige asynchroonmotor tot stand gebracht door een omschakeling van de wikkelingen. De jumpers in de klemmenkast van de motor zijn weggelaten en alle zes de wikkelingsaansluitingen zijn op de netvoeding aangesloten met wat een ster-driehoekschakelaar wordt genoemd (handmatig geactiveerde schakelaar of automatisch contactorcircuit). Bij een steraansluiting worden de netvoeding (U_{LN}) en de stroom op de afzonderlijke motorwikkelingen verlaagd met een factor van $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58$), waardoor het startkoppel wordt verlaagd tot ongeveer een derde van de waarde voor de driehoeksaansluiting. Vanwege het verlaagde startkoppel is de ster-driehoekconfiguratie geschikt voor aandrijvingen met kleinere lastkoppels of lastkoppels (ML) die toenemen naarmate het toerental toeneemt, zoals het geval is bij pompen en ventilatoren (blazers). Deze starters worden ook gebruikt wanneer de aandrijving pas wordt belast nadat deze tot een bepaalde snelheid is geaccelereerd, bijvoorbeeld bij persen en centrifuges. (Fig. 8: ster-driehoekstarter, bron: Eaton)

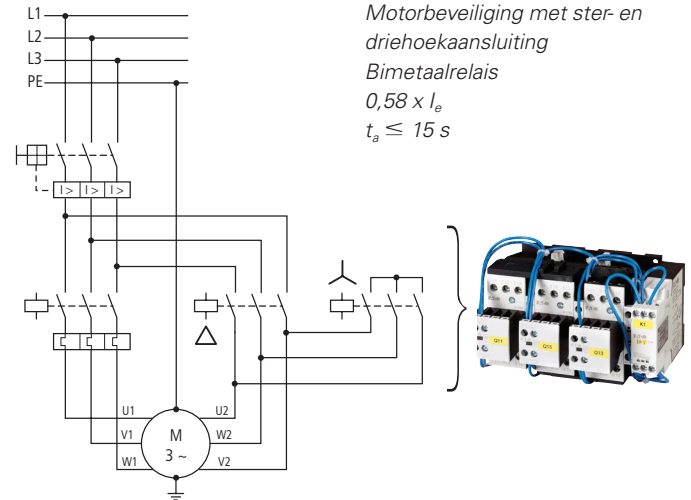


Fig. 8: motorvoeding, ster-driehoekstarter, draaiing rechtsom, voorbeeld van SDAINL

- III. **Statische aanzetters:** In veel gevallen zijn de start met directe inschakeling en de gefaseerde ster-driehoekstart van de driefasige asynchroonmotor niet de beste oplossing, aangezien hoge piekstromen de stroomtoevoer beïnvloeden en koppelpieken de mechanische onderdelen van de machine of het systeem aan hoge spanningsniveaus blootstellen. Hiervoor is de

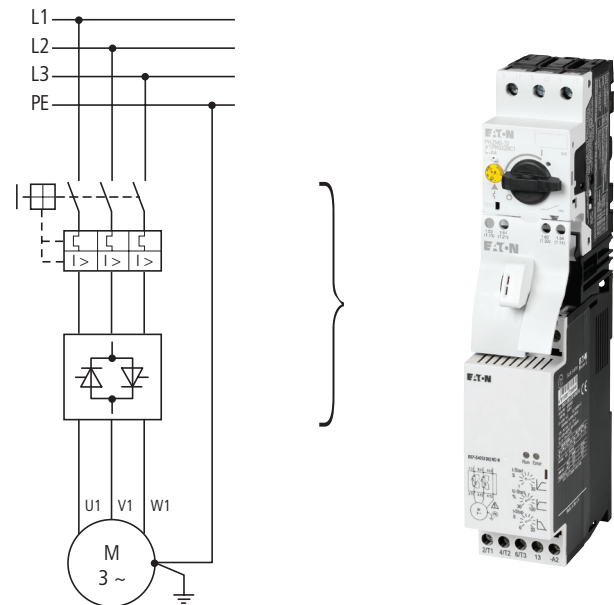


Fig. 9: motorvoeding, statische aanzetter DS7, in lijn-configuratie, in combinatie met PKZM0

statische aanzetter een oplossing. (Fig. 9, statische aanzetter (softstarter), bron: Eaton). Met de statische aanzetter is een continue en piekrijke toename van het koppel mogelijk, evenals een selectieve verlaging van de startstroom. De motorspanning wordt verhoogd binnen de instelbare starttijd vanaf een gekozen startspanning tot de nominale motorspanning. De statische aanzetter kan ook het uitlopen van de aandrijving regelen door de spanning te verlagen. Statische aanzetters zijn ideaal voor aandrijvingen waarbij de karakteristiek van een zacht koppel of een stroomverlaging nodig is. Vooral voor toepassingen met starten onder belasting (de belasting kan niet na het starten worden aangesloten), dient aan dit systeem de voorkeur te worden gegeven boven de ster-driehoekconfiguratie. Om economische redenen en

14 Jörg Randermann, Starting and Controlling Three-Phase Asynchronous Motors, 2010 [in het Duits]

rekening houdend met het energiebesparingspotentieel is dit de optimale oplossing voor aandrijvingen met een hoog vermogen. Of gebruikers nu drukpieken in pompsystemen willen voorkomen, de startstroom willen verlagen bij grote centrifugale massa's of een schokvrije start van hun transportbandsystemen willen garanderen, statische aanzetters bieden een soepel alternatief voor een schokvrije motorstart waarbij het voedingssysteem beschermd wordt (zie fig. 10).

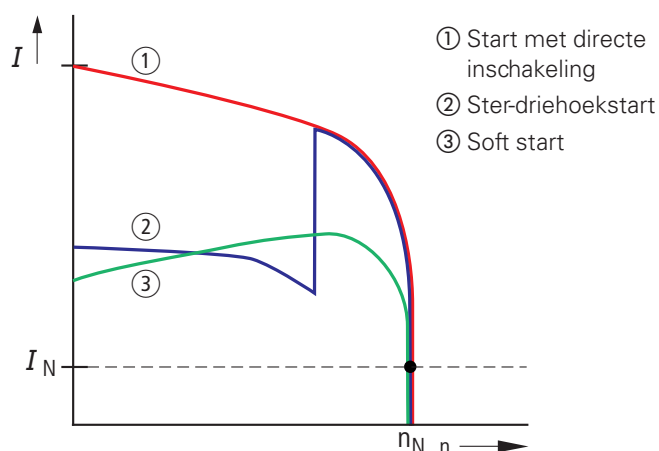


Fig. 10: Statische aanzetters met instelbare stroombegrenzing verminderen de belasting op de netspanning bij een hoge inschakelstroom, zoals bij starten met directe inschakeling of stroompieken zoals in het geval van ster-driehoekstarts, en voorkomen zo parasitaire effecten zoals spanningsdalingen. Bron: Eaton (homepage)

Welke van de drie motorstartervarianten het meeste geschikt is voor de specifieke toepassing van de gebruiker, kan alleen duidelijk worden vastgesteld na gedetailleerde analyse van de systeemparameters (bijvoorbeeld projectspecificaties, belastingsprofiel, fysieke afmetingen), functionele vereisten (voeding, nettobelastbaarheid, investeringskosten) en bedrijfsomstandigheden (productiviteit van de installatie, proceskwaliteit, bedrijfskosten).¹⁵ Vooral voor toepassingen met vaste toerentallen zijn motorstarters niet alleen de betaalbare oplossing, maar ook een efficiëntere oplossing vergeleken met frequentie-omvormers, zelfs als geen rekening wordt gehouden met het IE-niveau van de motor (IE2/IE3). Om de beste automatiseringsoplossing te bereiken, is het dan ook altijd belangrijk rekening te houden met alle systeemgerelateerde factoren. Het is zeker niet zo, zoals sommigen beweren, dat contactors of motorstarters al snel uit de industriële automatisering zullen verdwijnen. Een combinatie van een IE3-motor en een contactor is namelijk aanzienlijk goedkoper dan een IE2-apparaat met een aandrijving met een variabele frequentie. Verder zal het merendeel van de aandrijvingen met een gesloten lus-regeling voorzien blijven worden van een netvoedingscontactor.

Samenvatting: Van de verschillende typen motorstarters zijn statische aanzetters het meest geschikt voor vermindering

van piekbelastingen in elektrische aandrijvingen met een vast toerental of met een lage schakelfrequentie. Enkele voorbeeldtoepassingen zijn onder andere pompen in waterreservoirs, roerinrichtingen in waterzuiveringsinstallaties en transportbandsystemen met een constante belasting.

B) Frequentie-omvormers: Bij verhoging van de efficiëntie van een systeem moet altijd een combinatie worden toegepast van verbetering van de energie-efficiëntie van individuele componenten en een productonafhankelijke analyse van het totale systeem.¹⁶

Gedurende tientallen jaren waren mechanische methoden voor regeling van het debiet van vloeistoffen en gasen de enige manier om de toevoersnelheid aan de vereisten van het respectievelijke proces aan te passen. Hierbij werkt de motor bijna continu op de nominale snelheid die vereist is voor de maximale toevoersnelheid. De kleppen en smookkleppen die voor de mechanische regeling worden gebruikt, zijn bronnen van conversieverlies, doorgaans in de vorm van warmte. Tegenwoordig kan de snelheid van een aandrijving rechtstreeks worden geregeld door middel van een aandrijving met een variabele frequentie, zodat het debiet van een vloeistof of gas aangepast kan worden aan de directe vraag.¹⁷ Ondanks hun eigen warmteverliezen verbeteren frequentie-omvormers doorgaans de gemiddelde efficiëntie van een toepassing over het gehele werkbereik.

De instelbare stroombegrenzing voorkomt hoge stroompieken in de netvoeding en abrupte belastingen in de mechanische onderdelen van machines en systemen. Naast de soepele start maakt de aandrijving met variabele frequentie ook een traploze snelheidsregeling

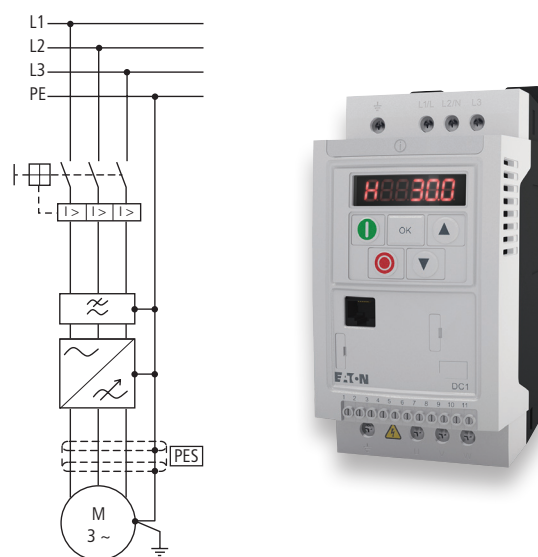


Fig. 11: Motorvoeding, aandrijving met variabele frequentie

¹⁵ Capiel (European Low Voltage Switchgear and Controlgear Manufacturers Association) Journal, What about control gear? Electric motor system efficiency, 2011, http://capiel.eu/data/Journal_CAPIEL_MOTEUR-2_EN.pdf

¹⁶ Capiel (European Low Voltage Switchgear and Controlgear Manufacturers Association) Journal, What about control gear? Electric motor system efficiency, 2011

¹⁷ Alfred Mörx, lezing getiteld "Increasing Energy Efficiency in Drive Engineering in the Light of European Directives and Regulations", Eaton Wenen, 2013 [in het Duits]

(frequentieregeling) van de driefasige asynchroonmotor mogelijk. Terwijl motoren die rechtstreeks op de netvoeding zijn aangesloten, alleen de ideale bedrijfsomstandigheden kunnen bereiken in het bedrijfspunt in stabiele toestand (= specificaties op de typeplaat), kunnen ze door middel van frequentieregeling over het gehele toerentalbereik gebruikt worden. De constante verhouding tussen spanning en frequentie (U/f) garandeert onafhankelijke bedrijfspunten met een nominaal lastkoppel (M_N). Door de draaisnelheid af te stemmen op het productieproces en de compensatie voor externe interferentie, garandeert de aandrijving met frequentieregeling een langere levensduur en functionele zekerheid.¹⁸

Het energiebesparingspotentieel van het gebruik van frequentie-omvormers is afhankelijk van de volgende factoren: type aangedreven last, mate van optimalisatie van de efficiëntie van de machine door de aandrijving met variabele frequentie en de tijd gedurende welke het complete systeem gedeeltelijk belast draait. Frequentie-omvormers zijn vooral effectief in toepassingen met een wisselende belasting of variabele snelheden.

De karakteristiekkrommen voor motor en machine (bijvoorbeeld een pomp) worden over het algemeen weergegeven als een wisselwerking tussen snelheid (n) of koppel (M) en vermogen (P). Wanneer frequentieomvormers voor energiebesparing worden gebruikt, zijn machines en systemen waarin de relatie tussen snelheid (n) en koppel (M) kwadratisch is met een meer dan lineaire relatie tot het vermogen (P), vooral van belang. Hiertoe behoren toepassingen zoals centrifugaalpomp en ventilatoren. In de wereld van de aandrijftechniek staan deze bekend als machines met een continue stroming. De belangrijkste factor voor energiebesparing is in dit geval de kubieke relatie tussen snelheid en vermogen (P in verhouding tot n^3), die bijvoorbeeld een pomp oplevert die werkt op 50% van zijn maximumsnelheid en slechts 1/8 nodig heeft van de energie die bij volle snelheid nodig zou zijn. Dit betekent dat een kleine snelheidsverlaging al voldoende is om grote besparingen op te leveren. Een snelheidsverlaging van 20%

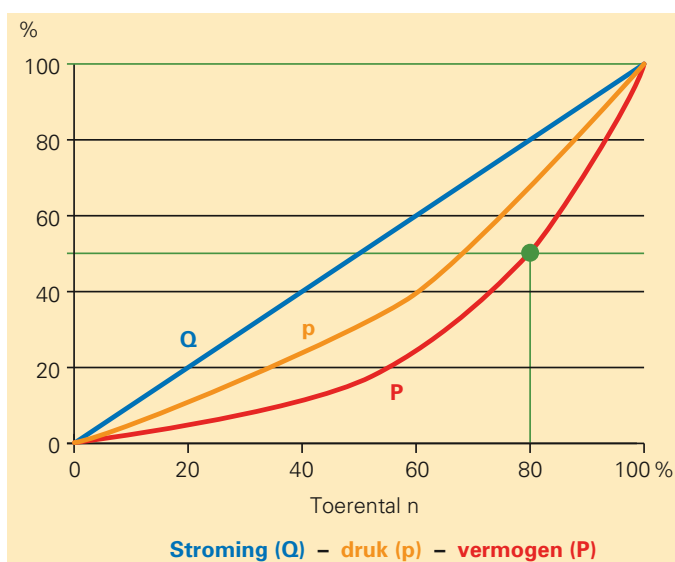


Fig. 12: Verhouding (in procenten) tussen stroming (Q), druk (p), vermogen (P) en toerental (n) in machines met een continue stroming (schema), bron: diam-consult

18 Jörg Randermann, Starting and Control of Three-Phase Asynchronous Motors, 2010

levert een besparing op van 50% (zie fig. 12), omdat het energieverbruik van de motor nauwkeurig wordt aangepast aan de werkelijke behoeften van het proces.¹⁹

Op het eerste gezicht lijkt de aandrijving met variabele frequentie de duurste manier te zijn om de snelheid van asynchroonmotoren te regelen. De hogere aanschafkosten vergeleken met motorstarters en de extra installatieprocedures (afgeschermd motorkabels en RFI-filters voor elektromagnetische compatibiliteit (EMC)) zijn de belangrijkste oorzaken hiervan. Maar in ieder geval tijdens bedrijf geeft de zachte motorstart in combinatie met de energie-efficiëntie en procesoptimalisatie blijk van zijn economische voordelen²⁰. Dit geldt vooral voor pompen en ventilatoren, zoals te zien is in het volgende voorbeeld:

Een variabel debiet is in een pompsysteem vereist. Het debiet kan als volgt worden gewijzigd: (a) door een motor met een constante snelheid en een smookklep te gebruiken om het debiet aan te passen of (b) door een aandrijving met gesloten lus-regeling te gebruiken die het pomptoeental aan de behoefte aanpast. De cyclus van een pompsysteem is doorgaans als volgt: 100% debiet 6% van de tijd, 75% debiet 15% van de tijd, 50% debiet 35% van de tijd, 25% debiet 44% van de tijd. Regeling van de pomp door middel van een smookklep leidt tot hoge verliezen en een lage efficiëntie in het systeem als geheel. Met lastafhankelijke toerentalregeling door middel van een aandrijving met variabele frequentie kunnen deze verliezen aanzienlijk beperkt worden, wat leidt tot grote energiebesparingen en een aanzienlijke verlaging van de bedrijfskosten (zie fig. 13).

In dit voorbeeld is het effectieve vermogen van de pomp altijd 100%. Wanneer smookkleppen worden toegepast, moet een hoeveelheid energie van 2,85 keer het effectieve vermogen worden geleverd. Met een elektronische toerentalregeling is dit slechts 1,6 keer het vermogen.

Samenvatting: Het verhogen van de efficiëntie door frequentie-omvormers te gebruiken, is ideaal voor toepassingen met variabele toerentalen of belastingen. Lastafhankelijke toerentalregeling kan toegepast worden om aanzienlijke besparingen te realiseren. Voorbeeldtoepassingen zijn pomp- en ventilatorsystemen in een gesloten lus zonder smookklep, transportbandsystemen met variabele belasting, eindcontrole-elementen in gereedschapsmachines.²¹

19 Alfred Mörx, lezing getiteld "Increasing Energy Efficiency in Drive Engineering in the Light of European Directives and Regulations", Eaton Wenen, 2013 [in het Duits]

20 Jörg Randermann, Starting and Control of Three-Phase Asynchronous Motors, 2010

21 Het onderscheid dat hier wordt gemaakt tussen toepassingen met constante en met variabele toerentalen/belastingen, is een vereenvoudigde versie en wordt alleen gebruikt ter illustratie van het onderwerp energie-efficiëntie. In complexere systemen, zoals HVAC-toepassingen in grote gebouwen, in de material handling-techniek of bij de watervoorziening worden uiteraard combinaties van allerlei verschillende regelapparaten gebruikt. Deze complexe combinatiesystemen spelen echter een ondergeschikte rol in de huidige context en zullen daarom niet uitgebreider worden onderzocht.

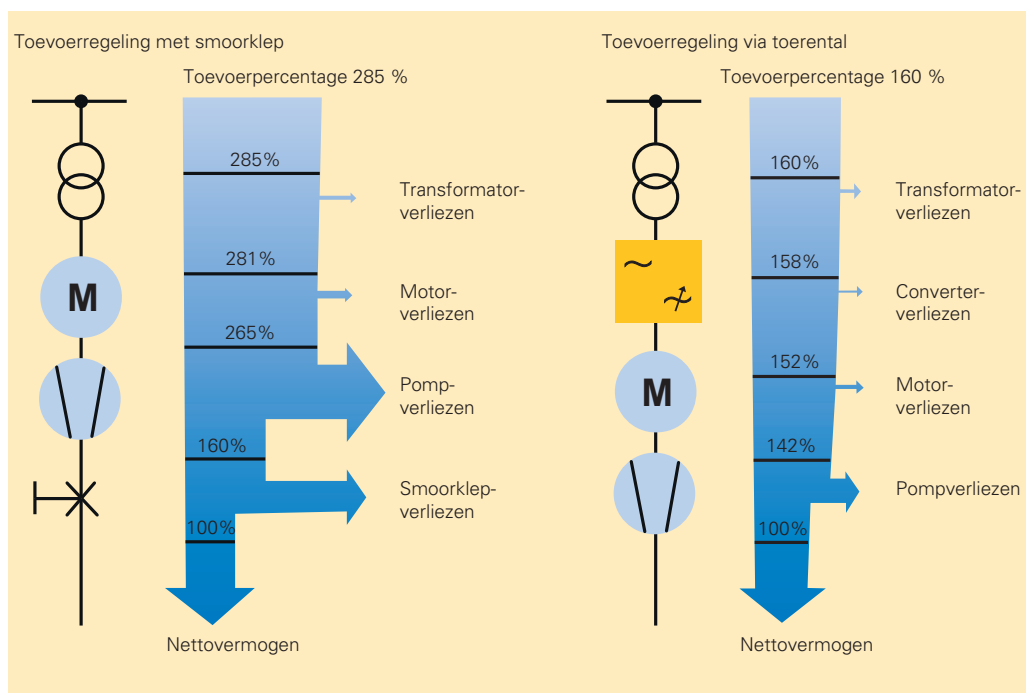


Fig. 13: Vergelijking van pompsysteemregeling met mechanische smoorkleppen en elektrische toerentalregeling, bron: ZVEI



Fig. 14: De nieuwe PowerXL aandrijvingen met variabele frequentie van Eaton

Conclusie:

Op zijn laatst op het moment van aanname van de ErP-richtlijn 2009/125/EG door de Europese Unie worden bedrijven in de industrie steeds meer verplicht om hun energieverbruik verder te verlagen, en daarmee ook hun CO₂-emissies, vooral in elektrische aandrijftechniek. Automatiseringsoplossingen zoals motorstarters en frequentie-omvormers kunnen hieraan een aanzienlijke bijdrage leveren, mits ze op de juiste manier ingezet worden. Gebruikers zouden de volgende drie punten in overweging moeten nemen als ze effectief een besparingspotentieel willen bereiken in elektronische aandrijftechniek:

1. **De keuze van de juiste aandrijftechniek is een essentiële succesfactor.** Er zijn in wezen twee verschillende soorten toepassingen in de elektrische aandrijftechniek, elk met eigen automatiseringsoplossingen.

- Motorstarters zijn de meest energie-efficiënte oplossing voor toepassingen met vaste toerentalen of lage schakelfrequenties.
- Elektrische regeling van het motortoerental door middel van een aandrijving met variabele frequentie is de betere keuze voor toepassingen met variabele toerentalen of sterk wisselende belastingen.

2. **Van het onderdeel tot het systeem:** energie-efficiëntie moet altijd worden gezien als een wisselwerking tussen alle onderdelen en niet aan één apparaat worden toegeschreven. Het gebruik van meer energie-efficiënte onderdelen is een goed idee op zich, maar niet voldoende om de efficiëntie van het gehele systeem te maximaliseren. Daarom is een uitgebreide energieverbruiksanalyse van het complete systeem een eerste vereiste om de beste oplossing vast te stellen voor verhoging van de energie-efficiëntie in de toepassing van de gebruiker: aandrijving met variabele frequentie of motorstarter. Alleen dan kunnen de automatiseringsoplossing die de efficiëntie van het totale systeem het beste verhoogt, en de mate van het besparingspotentieel, met zekerheid worden vastgesteld.

3. **Van denken op de korte naar denken op de lange termijn**
Het is het waard om te investeren in energie-efficiënte technologieën zoals IE3-motoren. Zelfs als het moderniseren van een systeem in eerste instantie duur lijkt, verdient het gebruik van aandrijfonderdelen zoals frequentie-omvormers en statische aanzetters zich vaak snel terug in termen van gerealiseerde besparingen. Als de totale kosten voor de hele levensduur van het apparaat in overweging worden genomen, wordt de investering over het algemeen in relatief korte tijd terugverdiend. Hoewel het nog niet in de wet wordt voorgeschreven, loont het om te investeren in IE3-technologie in combinatie met omvormers of motorstarters, omdat de compatibiliteit met toekomstige wijzigingen in het systeem hierdoor verbeterd wordt.

Auteur: Heribert Joachim, Senior Project Manager Drives bij Eaton in Bonn

Geraadpleegde werken

- Alfred Mörx, "Increasing Energy Efficiency in Drive Engineering in the Light of European Directives and Regulations", Eaton Wenen, 2013 [in het Duits]
- Almeida, A. T. Ferreira, Fong, J. , Fonseca, P. , EUP Lot 11 Motors; ISR-University of Coimbra, februari 2008
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen AGEB: energy balance evaluation tables from 1990 to 2011. [in het Duits]
- Capiel (European Low Voltage Switchgear and Controlgear Manufacturers Association) Journal, What about control gear? Electric motor system efficiency, 2011, http://capiel.eu/data/Journal_CAPIEL_MOTEUR-2_EN.pdf
- Jörg Randermann, Starting and Controlling Three-Phase Asynchronous Motors, 2010 [in het Duits]
- Richtlijn 2005/32/EG betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energieverbruikende producten
- Richtlijn 2009/125/EG betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energieverbruikende producten
- Federal Environment Agency, energy consumption by source and sector, maart 2013, <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=5978>
- Federal Environment Agency, persinformatienr. 53/2009, Energy efficiency in electric motors, 2009 http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2009/pd09-053_energieeffizienz_bei_elektromotoren.htm
- Prof. Andreas Binder, "Saving Costs and Energy with Efficient Electrical Drives", IHK Nuremberg, 20 januari 2009 [in het Duits]
- VDMA / Roland Berger: How the engineering sector contributes to energy efficiency, 2009 [in het Duits]
- Verordening (EG) Nr. 640/2009 van de Commissie van 22 juli 2009 tot uitvoering van Richtlijn 2005/32/EG van het Europees Parlement en de Raad betreffende eisen inzake ecologisch ontwerp voor elektromotoren
- ZVEI, op basis van McKinsey & Company, Inc. "Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany", industrieraapport 2007
- ZVEI, Measuring Technology and Process Automation Division, in: ZVEI: Automation, with high-tech for environmental and climate protection – Automation: We make it energy efficient!, 2010 [in het Duits]
- ZVEI, Economics and statistics, 2009, in ZVEI: Automation, with high-tech for environmental and climate protection – Automation: We make it energy efficient!, 2010 [in het Duits]
- ZVEI, Motors and closed-loop controlled drives – standards and legal requirements for low voltage three-phase motors, 2013 [in het Duits]
- ZVEI: Automation, with high-tech for environmental and climate protection – Automation: We make it energy efficient!, 2010 [in het Duits]

Eaton staat ervoor garant dat betrouwbare, efficiënte en veilige stroom beschikbaar is wanneer deze het hardst nodig is. De deskundigen bij Eaton, die beschikken over ongeëvenaarde kennis op het gebied van elektriciteitsbeheer in verschillende bedrijfstakken, leveren geïntegreerde oplossingen op maat om de grootste problemen bij klanten op te lossen.

Wij richten ons op het aanbieden van de juiste oplossing voor de toepassing. Besluitvormers vragen echter om meer dan alleen maar innovatieve producten. Ze wenden zich tot Eaton omdat we altijd persoonlijke ondersteuning bieden en omdat het succes van de klant bij ons de hoogste prioriteit heeft. Ga voor meer informatie naar **www.eaton.nl/electrical**.

Ga naar www.eaton.nl/electrical/customersupport om contact op te nemen met een Eaton-verkoopmedewerker of lokale distributeur/vertegenwoordiger.