

VAKGROEP ELEKTROMECHANISCH ONDERHOUD



InfoTech 15 Motorrendement en arbeidsfactor



© UNETO-VNI, Zoetermeer 2013

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van UNETO-VNI.

Disclaimer

Dit artikel is oorspronkelijk gepubliceerd in EASA, maart 1986 en herzien in 1995. UNETO-VNI heeft veel zorg besteed aan de samenstelling van deze uitgave. Desondanks kunnen er fouten en/of onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Gegevens en waarden in dit document kunnen onderzocht achterhaald zijn. De technische principes erachter zijn echter nog steeds geldig. UNETO-VNI en de rapporteur zijn niet aansprakelijk voor de gevolgen van fouten en/of onvolledigheden.

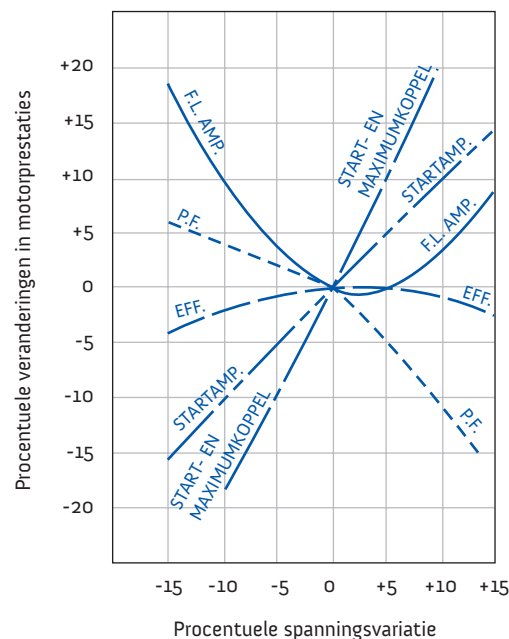
Motorrendement en arbeidsfactor

Motorrendement en arbeidsfactor zijn gebaseerd op eenvoudige principes. De toepassing van die principes kan echter verrassend ingewikkeld zijn. Onder Literatuur worden enkele artikelen genoemd die hier inzicht in verschaffen. Het belangrijkste uitgangspunt is altijd de motorvoeding.

Ingangsspanning

De National Electrical Manufacturers Association (NEMA) heeft standaardvoorwaarden voor netvoeding voor motoren in NEMA MG 1-10.301 vastgelegd. Standaardlijn-naar-lijn-driefasenspanningen zijn 115, 200, 230, 460, 575, 2300, 4000, 4600 en 6600 V bij 60 Hz, en 220 en 380 V bij 50 Hz. Volgens MG 1-12.44 moet een wisselspanningsmotor een afwijking van deze standaard voedingsspanningen van plus of min 10% aankunnen.

In figuur 1 toont de gestreepte lijn 'START- EN MAXIMUMKOPPEL' een daling in het koppel van 20% (PROCENTUELE VERANDERINGEN IN MOTORPRESTATIES) bij 10% minder spanning (PROCENTUELE SPANNINGSVARIATIE). De ononderbroken lijn 'F.L. Amp' daarentegen laat een toename van 10% in de lijnstroom zien, met een spanningsafname van 10%. Een motor met een belasting die moeilijk start of in één hoge omgevingstemperatuur draait, kan het door die 10% te weinig spanning laten afweten.

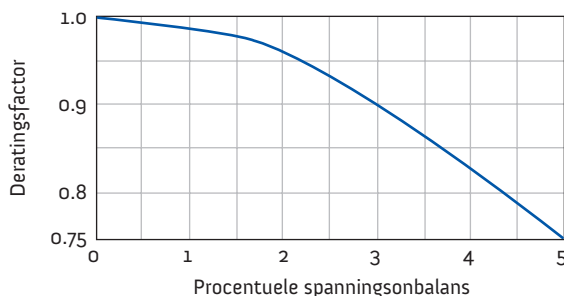


Figuur 1. Effect van spanningsvariatie op de karakteristieken van een inductiemotor.

Een gevaarlijkere situatie voor driefasemotoren is een spanningsonbalans. Op pagina's 3-68 en 3-69 van deze handleiding wordt het effect van een spanningsonbalans (zie figuur 2) beschreven. Bij een onbalans van meer dan 1% moet het nominale vermogen van de motor worden verlaagd (derating). (In NEMA MG 1-12 wordt gewaarschuwd tegen het gebruik van een motor bij een onbalans van meer dan 1%. De motor zelf overleeft het misschien wel, vooral als het nominale vermogen wordt verlaagd zoals aangegeven in figuur 2. De keuze van de juiste beveiligingsinrichtingen kan echter een groot probleem worden.). Aangezien de toegestane fout bij de meeste spanningsmeters ten minste 1% van de gehele schaal bedraagt, is bijna nooit met zekerheid te zeggen of de spanningen bij een lijn-naar-lijnmotor in balans zijn.

Als er bij een motor in vollastbedrijf in de drie lijn-naar-lijnspanningen verschillen van meer dan 1% worden gemeten (bijvoorbeeld +/- 10 V bij 460 V), moet de klant worden gewaarschuwd dat dit kan resulteren in een motorstoring. Als de motor bij een spanningsonbalans draait, kunnen hierdoor ongebalanceerde verhitting, pulserend koppel (en toerental), mechanische trillingen en abnormaal geluid optreden.^{2,3,4}

Toelichting: Door de spanningsonbalans gaat de motor denken dat hij een kleiner tweelingbroertje heeft dat tegengesteld gaat draaien. Het resultaat van de 2 tegengestelde motoren is het beschikbare koppel op de as. Het overige gedeelte wordt omgezet in warmte en trilling.



$$\text{Procentuele spanningsonbalans} = 100 \times \frac{\text{max. spanningsafwijking van gemiddelde spanning}}{\text{gemiddelde spanning}}$$

Voorbeeld: Bij spanningen van 460, 467 en 450 bedraagt de gemiddelde spanning 459. De maximale afwijking van het gemiddelde is 9 en de procentuele onbalans = $100 \times (9:459) = 1,96$ procent.

Bron: NEMA Normen MG 1-14.35.

Figuur 2. Gemiddelde motorderatingsfactor vanwege spanningsonbalans.

Ingangsstroom

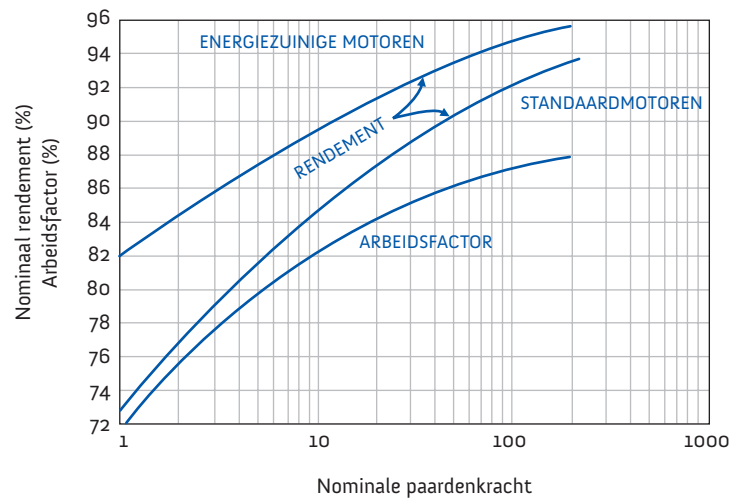
Op pagina 3-50 van deze handleiding staan de gangbare motorlijnstromen uit tabel 430-150 van de National Electrical Codes vermeld. (Bij veel motoren wijkt de stroom echter aanzienlijk van deze waarden af.). Met behulp van deze waarden kan een elektricien de afmetingen van de bekabeling en grootte van de stroomonderbrekers voor de motorstroomkring bepalen. **Er zijn geen normen vastgesteld voor de stroom voor motoren in vollastbedrijf**, maar volgens MG 1-12.47 mag het daadwerkelijke ingangsimpèrage niet meer dan 10% afwijken van de op de typeplaat aangegeven waarden als de motor op de nominale spanning, frequentie en belasting draait. In MG 1-14.35.5 wordt gesteld dat de onbalans in lijnstroom ongeveer 6 tot 10 maal zo groot is als de spanningsonbalans. Bij een toelaatbare spanningsonbalans van 1% kan de stroomonbalans dus 6 tot 10% bedragen. De door een stroomonbalans gegenereerde warmte is een van de oorzaken van de storingen die hierboven onder spanningsproblemen worden vermeld.

Motorarbeidsfactor (cosinus phi)

Als de stroom bij een motor in vollastbedrijf hoger is dan normaal, is de arbeidsfactor van de motor vaak laag. Een apparaat met een lage arbeidsfactor trekt vaak meer stroom die geen nuttige arbeid verricht. De arbeidsfactor voor een driefasenbelasting wordt op pagina 12-2 van deze handleiding bepaald als:

$$\text{Driefasenarbeidsfactor} = \text{ingangswattage} : (1,732 \times \text{volt} \times \text{ampère})$$

De arbeidsfactor van een motor is onafhankelijk van de voeding. Als er condensatoren worden toegevoegd om de arbeidsfactor van een installatie te verhogen, verhogen deze condensatoren niet de arbeidsfactor van de motor. In figuur 3 worden de normale arbeidsfactoren voor motoren in vollastbedrijf gegeven. In de praktijk is de nullaststroom (magnetiserende stroom) van een motor omgekeerd evenredig aan de arbeidsfactor van de motor. Doordat de nullaststroom stijgt als de spanning wordt verhoogd, daalt de arbeidsfactor als de spanning wordt verhoogd (zie figuur 1). Ook door het verminderen van het aantal windingen om het koppel van de motor te verhogen, wordt de arbeidsfactor verlaagd. De bedrijfsarbeidsfactor stijgt naarmate de belasting van de motor toeneemt. Voor een goed begrip van de motorbelasting moeten we naar het mechanische of asvermogen van de motor kijken.



Figuur 3. Nominaal rendement van NEMA Motoren Ontwerp B, Vierpolig

Uitgangskoppel motor

De trekkracht van een motor of askoppel wordt gewoonlijk gemeten in pond per voet. In het metrische systeem wordt het koppel gemeten in Newton per meter. De formules zijn als volgt:

$$\text{Koppel (Newton per meter)} = (\text{Kilowatt} \times 9550) : \text{toerental}$$

$$\text{Kilowatt} = (\text{koppel [Newton per meter]} \times \text{toerental}) : 9550$$

Aangezien vermogen direct gekoppeld is aan koppel en toerental, moeten alle motoren in vol- lastbedrijf het nominale koppel bereiken. Incidenteel kan een motor meer stroom trekken dan aangegeven op de typeplaat als deze het nominale koppel levert, maar daarbij mag de nominale temperatuurstijging niet worden overschreven.

Volgens MG 1-12.38 varieert het vereiste minimumaanloopkoppel van ontwerp A- en ontwerp B-motoren naar gelang het nominale toerental en de nominale paardenkracht. Een motor van 1 pk met een toerental van 1800 omwentelingen per minuut (rpm) moet een minimumaanloopkoppel hebben van 275% van het vollastkoppel. Het minimumaanloopkoppel van een 200 pk motor met hetzelfde toerental moet gelijk zijn aan het nominale vollastkoppel (100%).

Volgens MG 1-12.39 wordt het doorslagkoppel van standaardmotoren (ontwerp A en B) bepaald door paardenkracht en toerental. Voor motoren tot 200 pk moet het maximumkoppel meer dan tweemaal zoveel zijn als het nominale vollastkoppel (200%).

Uitgangstoerental motor

In de hierboven aangegeven koppel- en vermogensformules speelt het in omwentelingen per mi- nuut aangegeven toerental altijd een rol. Synchrone toerentalen worden ingesteld door de polen van de motor en de voedingsfrequentie. Het vollasttoerental van een inductiemotor ligt een paar procent onder het synchrone toerental. Een vierpolige 60 Hz motor heeft normaliter een type- plaattoerental van 1750 rpm (2,8% slip).

Volgens MG 1-12.46 mag het sliptoerental bij vollastbedrijf niet meer dan 20% afwijken. Derhalve moet het vollasttoerental van een motor met een typeplaattoerental van 1750 rpm bij vollast- bedrijf 1740 tot 1760 rpm bedragen. De toegestane afwijking van plus of min 10 rpm is 20% van 1800-1750.

Rendement

Let op, dit is zuiver indicatief, niet conform huidige normeringen!

Onder het rendement van een systeem wordt verstaan het uitgangsvermogen gedeeld door het ingangsvermogen.⁷ Als de hierboven ontwikkelde formules worden toegepast:

Rendement = (431 x paardenkracht) : (volt x amp x arbeidsfactor [in decimalen])

Rendement = (asvermogen) : (1,73 x volt x amp x arbeidsfactor)

Colofon

Opdrachtgever

Vakgroep Elektromechanisch Onderhoud, UNETO-VNI

Contactpersoon

Terry Heemskerck

Auteur(s)

Edward Jenkins jr.

Jenkins Electric Company Inc. Charlotte, North Carolina, VS

www.uneto-vni.nl