

EMO InfoTech No. 1

Grondbeginselen van nullaststroom:
praktische richtlijnen om deze te bepalen

Grondbeginselen van nullaststroom: praktische richtlijnen om deze te bepalen

Door Chuck Yung

Deskundige Technische Ondersteuning EASA

Hoeveel nullaststroom kan ik verwachten als ik een motor test? We willen graag een nullastampèrage/vollastampèrageverhouding hebben voor kwaliteitsbeheersingsdoeleinden.

Vaak wordt aangenomen dat een motor in nullast ongeveer 1/3 van de nominale stroom trekt, wanneer deze op ons proefveld op nominale spanning werkt. Dat is - meestal - een goede vuistregel. Er zijn weliswaar veel uitzonderingen, maar de meeste zijn te voorspellen. Om deze vuistregel en de uitzonderingen uit te leggen, gebruiken we enkele termen die bij de meeste lezers wel bekend zullen:

I_{fl} = full load amps = vollastampèrage

I_o = no-load amps = nullastampèrage; dit is magnetiserende stroom plus enkele verliezen (vooral door luchtweerstand)

Flux = aantal lijnen magnetische kracht

AGD = airgap density = luchtspleetdichtheid, in lijnen flux per eenheidsoppervlak

U = aangelegde spanning

Hieronder volgen enkele - mogelijk herkenbare - uitzonderingen:

- Hoe hoger de fluxdichtheid, des te hoger de nullaststroom als percentage van de I_{fl}.
- Hoe lager het toerental, des te hoger I_o als percentage van I_{fl}.
- De verhouding I_o/I_{fl} is omgekeerd (maar niet direct) evenredig aan het aantal kW's).

Praktische richtlijnen

In dit artikel wordt uitgelegd waarom bovenstaande stellingen kloppen en ondertussen een aantal praktische richtlijnen gegeven voor het bepalen van de nullaststroom. Velen van ons passen deze principes dagelijks toe.

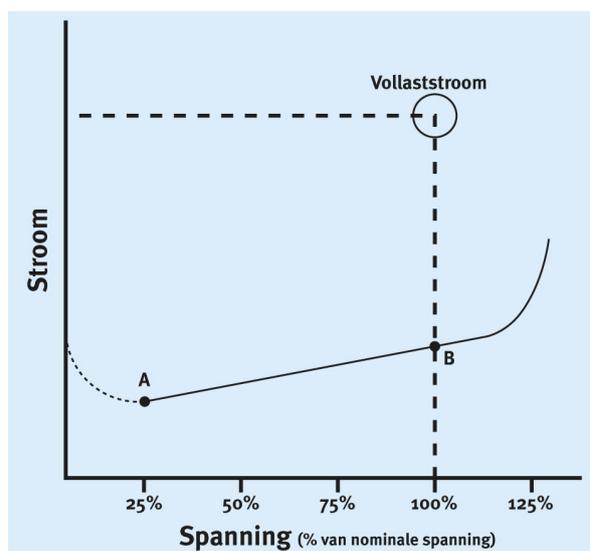
Voordat we overgaan tot de eenvoudige tabel met 'verwachte' nullaststroomwaarden, leggen we enkele hulpmiddelen uit die ons helpen de uitzonderingen op de vuistregel van '1/3 I_{fl}' te begrijpen.

Eerst kijken we naar de verhouding tussen koppel, flux en spanning:

$$T_e : AGD^2 : U^2$$

Effecten van aangelegde spanning

Bij elke motor verandert de fluxdichtheid evenredig aan de aangelegde spanning (AGD : U). Het door de motor geproduceerde koppel verandert als *kwadraat* van de flux. ($T_e : AGD^2$) Als we de op de motor aangelegde spanning veranderen, gaan we er vanuit dat de stroom proportioneel mee verandert (U:I). Dit principe passen we telkens toe als we een motor op verlaagde spanning starten. Herinnert u zich de motor nog die te groot was om op ons proefveld direct te worden gestart? Deze werd gewoon met een fractie van de nominale spanning op toeren gebracht. Vervolgens kon de spanning tot de nominale waarde worden verhoogd.



Figuur 1. Grafiek van aangelegde spanning versus stroom

Vollaststroom

Stroom

Spanning (% van nominale spanning)

In figuur 1 is te zien wat er gebeurt als we een losgekoppelde motor op verschillende spanningen laten draaien. Zolang de motor op toeren blijft, kan de spanning worden verlaagd en verwachten we een min of meer lineaire verandering in de stroom.

Om dit aan te tonen, nemen we een motor zonder externe ventilator. Laat de motor op nominale spanning draaien en noteer de stroom. Verlaag de spanning langzaam en noteer zowel de spanning als de stroom. Geef de resultaten in een grafiek weer en het resultaat zal vergelijkbaar zijn met figuur 1. Op het rechte deel van de lijn verandert de flux evenredig aan de aangelegde spanning. Daarom valt te verwachten dat de stroom - tot op zekere hoogte - ook evenredig verandert.

Als de aangelegde spanning te laag is, gaat de motor langzamer draaien en stijgt de stroom (links van punt A in figuur 1), terwijl de motor probeert voldoende koppel te ontwikkelen om te blijven draaien. Het toerental daalt omdat het koppel te laag is om de verliezen als gevolg van wrijving en luchtweerstand te compenseren.

Slip : $(1/AGD^2) : (1/U^2)$

Verhoog nu langzaam de spanning tot boven de nominale spanning en noteer wederom de spanning en stroom. Naarmate de spanning stijgt, blijft de stroom lineair toenemen totdat we het verzadigingspunt (punt B in figuur 1) bereiken. Als de statorkern verzadigd raakt, trekt hij onevenredig veel stroom om het fluxniveau te verhogen.

De tussen punt A en B getrokken lijn die de stroom weergeeft, is min of meer lineair. Dat is een van de redenen waarom we alle gerepareerde motoren op nominale spanning moeten laten proefdraaien, en de spanning en stroom op alle fasekabels moeten noteren. In nullastbedrijf proefdraaien is een *kritische* stap in de kwaliteitsborging.

Sommige fabrikanten zijn bij de constructie van motoren extreem zuinig met het gebruik van actieve massa (per slot van rekening kosten staal en koper geld) en sommige toepassingen vereisen veel nominale kW in een klein pakket.

Uit figuur 1 hebben we geleerd dat een dergelijke 'hoge flux'-motor betrekkelijk veel nullaststroom zal trekken. Hij is ook gevoeliger voor een hogere dan nominale spanning - waardoor de kern verzadigd kan raken.

Aan de andere kant is de motor bij onderspanningsomstandigheden vaak toleranter dan een wat spaarzamer met flux toebedeelde motor. Te verwachten valt dat motorontwerpen die op of vlakbij de knik van de verzadigingscurve draaien meer nullaststroom trekken dan ontwerpen die op de lineaire lijn van de curve draaien.

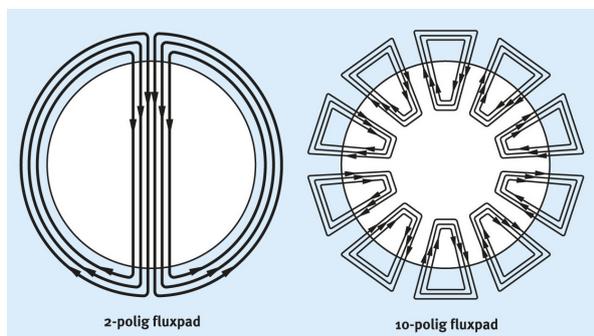
Hoe zit het met conservatieve ontwerpen zoals de oudere U-frame machines?

Zowel oudere U-frame machines als tweepolige machines zijn ontworpen voor bedrijf bij hoge omgevingstemperaturen (bijvoorbeeld ovenmotoren) of gebruik op grote hoogte. Daarom is de flux ervan bewust laag gehouden. Dat wil zeggen dat zij ver beneden de knik in de fluxcurve kunnen draaien. Daarvan moeten we een betrekkelijk lage nullaststroom verwachten. Deze motoren kunnen goed tegen een hoge spanning, maar zijn gevoeliger voor lage-spanningsomstandigheden.

Verskillende ontwerpen hebben invloed op de regel

Vierpolige machines worden het meest gebruikt, dus de regel van '1/3 lfl' is op hen van toepassing. Een vierpolige motor kan om verschillende redenen een conservatief ontwerp worden genoemd, maar bij andere machines is de flux mogelijk hoger. Van de conservatief ontworpen motor kunnen we dus verwachten dat hij iets minder stroom trekt dan onze vuistregel aangeeft. En een ontwerp met hoge flux zal waarschijnlijk dus wat meer stroom trekken dan de '1/3 lfl'-regel.

Nu we weten welke invloed de fluxdichtheid heeft, kunnen we overgaan tot het evalueren van motoren die van onze verwachtingen afwijken.



Figuur 2. Tweepolige en tienpolige fluxpadverbinding
tweepolig fluxpad tienpolig fluxpad

Flux en luchtspleet

Omdat motoren met een zeer laag toerental minder gebruikelijk zijn, valt een motor die driekwart van de nominale stroom trekt ons op. Deze afwijking laat zich gemakkelijk verklaren: **Er is meer stroom nodig om flux door de lucht te voeren dan door staal.**

Dit kan worden aangetoond door middel van een in de industrie gebruikelijke test, de zogenaamde open-statortest:

Op een open stator zetten we een zesde van de nominale spanning, met de verwachting dat hij bijna de nominale stroom zal trekken. Waarom trekt hij vollaststroom bij slechts een fractie van de nominale spanning? Er is geen rotor om het fluxpad af te leggen, dus de flux moet zich door de lucht verplaatsen. Daarvoor is veel meer stroom nodig. Daarom wordt voor de test de lagere spanning gebruikt.

Opm.: Sommige reparatiebedrijven gebruiken een spanning van meer dan een zesde van de nominale spanning en verwachten een hoger ampèrage dan het vollastampèrage. Maar als een open-statortest bij een hogere spanning wordt uitgevoerd, zijn de resultaten moeilijker te interpreteren.

Hoe groter de afstand die de flux door een niet non-ferromedium moet afleggen, des de hoger de vereiste stroom. Voor elke omloop rond een stator moet de flux in elke fase de luchtspleet

tweemaal per pool oversteken. Vergelijk in dit verband een tweepolige machine met een tienpolige (figuur 2). Voor elke omloop rond de stator moet de tienpolige flux de luchtspleet 20 maal oversteken, terwijl een tweepolige flux dit slechts viermaal hoeft te doen. *Er is meer stroom nodig om de flux door een luchtspleet te voeren dan door een stalen kern.*

Denk na over aantal polen

Het is niet zo verrassend dat lagetoerenmachines een betrekkelijk hoge nullaststroom trekken. De nullaststroom neemt incrementeel toe met het aantal polen. (Wellicht ten overvloede, maar meer polen betekent een hogere magnetiserende stroom.) Om dit effect tot een minimum te beperken, worden machines met meer polen ontworpen met een nauwere luchtspleet tussen de rotor en de stator.

De verhouding I_0/I_{fl} is omgekeerd evenredig aan de grootte van de motor en de nominale kW-waarde. Afhankelijk van het ontwerp kan de verhouding voor een 11 kW motor tweemaal zo groot zijn als voor een 315 kW motor van hetzelfde merk.

Denk na over schaal en fabricagetolerantie

Een deel van de verklaring schuilt in de schaal en de fabricagetolerantie. De gemiddelde boring van een achtpolige 315 kW motor is vijfmaal zo groot als de boring van een normale achtpolige 11 kW motor. De 315 kW motor heeft een luchtspleet van ongeveer 1 mm. Als alles op schaal zou zijn, zou de luchtspleet bij de achtpolige 11 kW motor maar 0,2 mm zijn.

We weten dat de luchtspleet binnen een marge van 10% gelijkvormig moet zijn om te voorkomen dat elektrische ruis optreedt en de rotor opzij getrokken wordt. Tien procent van 0,2 mm is slechts 0,02 mm - niet echt praktisch. Zelfs lagers hebben nog meer interne speling. De fabrikant heeft maar één keus en dat is een hogere magnetiserende stroom met een bredere luchtspleet. Met deze wetenschap kunnen we rekening houden met de I_0 -afwijking op basis van zowel de nominale kW's als het aantal polen.

(Het is ook onpraktisch om speciaal voor lage toerentallen kleine kernen te ontwerpen. Daarom wordt een vierpolige kern gebruikt.). Omdat er veel meer vierpolige machines in de industrie worden gebruikt dan machines met andere toerentallen, zijn we eraan gewend dat de nullastmotor ongeveer een derde van de I_{fl} trekt als deze in nullast op de nominale spanning draait.

Door dit op het proefveld te verifiëren kan ook meteen een snelle kwaliteitscontrole worden uitgevoerd.

Als een motor verkeerd is aangesloten, kunnen we dat zien door de nullaststroom te meten.

Onder 'nullast' verstaan wij hier 'losgekoppeld', wat inhoudt dat de motor zonder mechanische koppelingen staat te draaien. In tegenstelling tot veel van onze klanten die bij nullast denken aan een "lege" applicatie, bijvoorbeeld een niet met stenen geladen kilometers lange lopende band. Dat is heel iets anders...

Tabel 1

Aantal polen op een driefaseninductiemotor	Verwachte nullaststroom	Geschat percentage van I _{fl}
2	lo = 1/4 tot 1/3 I _{fl}	25-33
4	lo = 1/3 tot >3/8 I _{fl}	33-40
6	lo = 1/3 tot <1/2 I _{fl}	33-45
8	lo = 1/3 tot >5/8 I _{fl}	33-65
10 of meer	lo = 3/5 tot > I _{fl}	60-110

Na de berekening van de fluxdichtheden kunnen we de verhouding tussen nullast- en vollaststroom beter bepalen. Hoe hoger de fluxdichtheid, des te hoger de verhouding waarschijnlijk zal zijn.

- Hoe hoger de fluxdichtheid, des te hoger de nullaststroom als percentage van de I_{fl}
- Hoe lager het toerental, des te hoger de nullaststroom als percentage van de I_{fl}.

- De verhouding lo/I_{fl} is omgekeerd (maar niet direct) evenredig aan het aantal pk's.

Tabel 1 toont de te verwachten nullaststroom voor het beoordelen van motoren die wij losgekoppeld testen. De besproken uitzonderingen kunnen worden gebruikt om elke motor te evalueren, zodat we redelijk goed kunnen bepalen of eventuele testresultaten die buiten deze richtlijnen vallen toch kunnen kloppen.

Na de berekening van de fluxdichtheden kunnen we de verhouding tussen nullast- en vollaststroom beter bepalen. Hoe hoger de fluxdichtheid, des te hoger de verwachte verhouding waarschijnlijk zal zijn.

Uitzonderingen op elke regel

We moeten niet vergeten dat er op elke regel uitzonderingen zijn. **Tabel 1** geeft een kort overzicht van de verwachte waarden, maar elke motor moet apart worden bekeken. In het algemeen verwachten we bij motoren met meer polen, vooral de kleinere, een hogere nullaststroom.

Bij twijfel kunnen de resultaten met eerdere documentatie van tests met identieke motoren worden vergeleken.

Tot slot wordt de l_0 beïnvloed door de kwaliteit van staal, uitgloeijing en kleine afwijkingen in de luchtspleet. Een door de fabrikant opgegeven l_0 kan 25% of meer afwijken.

In sporadische gevallen kan een motor in nullastbedrijf meer stroom trekken dan bij nominale belasting (wordt ook veroorzaakt door blindstroom, denk aan $\cos \phi$). In het geval van een tienpolige motor kan dat wel, maar bij een tweepolige motor leidt dit geheid tot problemen.

Houd deze principes dus in gedachten als u weer eens een motor met afwijkende testresultaten heeft.

