

Frequentieregelaar met ster-driehoektruc

Bij veel pomp aandrijvingen met een frequentieregelaar ligt het toerentalgebied onder de maximale uitgangsfrequentie van 50 Hz. Dit biedt bij gerenoveerde gemalen een optimaal werkgebied. De ster-driehoektruc kan een aanzienlijke besparing opleveren.

Arie Mol

Elektromotoren kunnen aanlopen op het net via de welbekende ster-driehoekschakeling. Wanneer elektromotoren direct op het net worden ingeschakeld, loopt er kortstondig een hoge aanloopstroom. Die is doorgaans zes- tot achtmaal hoger dan de nominale stroom bij vollast. De spanningsdip van de 'direct-online' inschakeling is vaak ongewenst. Het alternatief is eerst inschakelen met de driefasenwikkelingen in een stersschakeling. De aanloopstroom is dan drievoudig lager, net als aanloopkoppel; daardoor duurt de aanloop wel langer. Bij ongeveer 90% van het nominale toerental wordt vervolgens overgeschakeld naar een driehoekschakeling van de motorwikkelingen, waarna de aanloop wordt voltooid.

AANLOOPTIJD

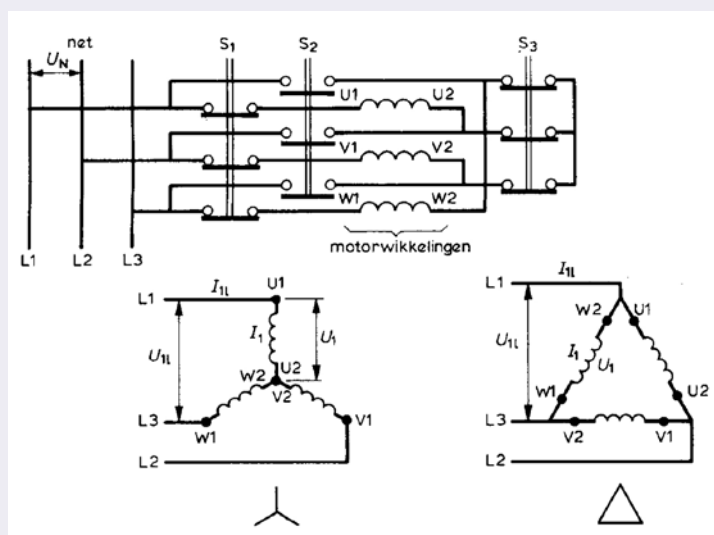
Om zo'n ster-driehoekaanloop mogelijk te maken, leggen de fabrikanten de wikkeling zo uit dat de nominale wikkelingspanning 400 V bedraagt (uitgaande van een fabrieksnet van 400 V) en met de driefasen wikkelingen in driehoekschakeling. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, is een ster-driehoekaanloop niet bedoeld om de motor te ontlasten. De aanloopstroom is weliswaar drievoudig lager, maar, afhankelijk van het tegenkoppel van het werktuig, is de aanlooptijd meer dan negen keer zo lang. De thermische belasting in termen van het $\{I^2 \cdot t\}$ product is hoger dan bij direct-online inschakeling. Een ster-driehoekschakeling ontziet het net, niet

niet hoog is? Dat kan inderdaad met een 'hoogohmige' rotor; de koper verliezen zijn dan alleen in de motor bij normaal bedrijf weer hoger, en een verlaagd rendement is niet populair.

DE TRUC

Stel in een gegeven toepassing zal de uitgangsfrequentie van de frequentieregelaar niet hoger worden dan 28,9 Hz. Deze keuze is geen toeval, 28,9 is gelijk aan $50/\sqrt{3}$. Bij frequentieregeling gaat de spanning over de motor altijd lineair mee met de frequentie. De 'volt per Hz verhouding' blijft gelijk, wat nodig is om het magnetisch veld in de luchtspleet op de nominale waarde te houden. De spanning over de in driehoekgeschakelde wikkelingen van de motor zal dan niet hoger worden dan $400/\sqrt{3} = 230$ V. In dit geval loont het de driefasenwikkelingen van de motor in ster te schakelen en de V/Hz-waarde van de frequentieregelaar te verhogen met een factor $\sqrt{3}$. De V/Hz waarde wordt dan niet $400/50 = 8,0$ maar $400/28,9 = 13,8$. De wikkelingspanning in de stersschakeling blijft 230 V bij 28,9 Hz, dus gelijk aan de nominale V/Hz-waarde. De clou is natuurlijk dat onder normale bedrijfsomstandigheden de motorstroom een factor $\sqrt{3}$ lager wordt. Aangezien de prijs van een frequentieregelaar vooral wordt bepaald door de uitgangsstroom, ligt hierin een prijsvoordeel besloten. Dit is de kern van de ster-

Schema ster-driehoekschakeling. (Bron: H. Klufft, Wisselstroommachines)



Sleepringankermotor voor 'slip recovery drive'



driehoektruc. Bovendien kunnen kabeldiktes kleiner worden en kan het schakelmateriaal ook voor een $\sqrt{3}$ lagere stroomwaarde worden uitgelegd.

De ster-driehoektruc in combinatie met een frequentieregelaar moet de uitgangsstroom van de frequentieregelaar onder normale bedrijfsomstandigheden reduceren, niet de aanloopstroom. De frequentieregelaar voorziet al in een beperking van de aanloopstroom tot maximaal de nominale stroom en ontziet daarmee het net. Maar net als bij ster-driehoekaanloop geldt hier, afhankelijk van koppeltorenkarakteristiek van de motor, dat de motor thermisch zwaarder wordt belast, met name bij frequent start-stopbedrijf.

NADELEN

Elk voordeel heeft ook hier zijn nadeel. Een daarvan ligt besloten in de bedrijfszekerheid van de installatie. Als de frequentieregelaar uitvalt, kan niet gevluht worden naar direct op het net schakelen. De pomp draait dan een $\sqrt{3}$ hoger toerental. Met een pompvermogen dat met de derde macht van het toerental toeneemt, zal de motor meteen uitvallen door overbelasting, ook al omdat de motor een te lage V/Hz waarde 'ziet', waardoor bij gegeven koppel de stroom nog hoger wordt. Om dit nadeel te omzeilen, zal geïnvesteerd moeten worden in parallelbedrijf van meerdere pompopstellingen. Als de thermische reserve

van de motor het toelaat, kan de frequentie worden opgevoerd tot boven 28,9 Hz. De motorstroom zal echter snel toenemen, vooral omdat het pompvermogen snel toeneemt. Ook speelt een rol dat bij een vaste netspanning van 400 V vóór de frequentieregelaar de uitgangsspanning na de frequentieregelaar niet met de uitgangsfrequentie mee kan oplopen boven 400 V. De V/Hz waarde daalt en de afnemende magnetisering moet gecompenseerd worden met een evenredig hogere motorstroom.

VARIANTEN

Bij een pomptoepassing met een gegeven toerental van 333 r/min zijn enkele varianten mogelijk.

Variant 1: 18-polige motor, frequentie 50 Hz, vast synchroon toerental 333 r/min.

Variant 2: 8-polige motor, met frequentieregelaar maximaal 22,2 Hz met ster-driehoektruc, toerental maximaal 333 r/min.

Variant 3: 'Klassieke' uitvoering: vierpolige motor, frequentie 50 Hz, tandwielkast met overbrenging 1500 : 333 ($i = 4,5 : 1$).

Variant 4: 18-polige sleepringankermotor en energierugwinning, toerentalregeling en aanloopstroombegrenzing door frequentieregelaar in rotorcircuit.

Afwegingen die de revue kunnen passeren, zijn:

- Variant 3 is niet 'olievrij'.
- Variant 3 heeft goedkope standaard 4-polige motor maar extra kosten voor tandwielkast.
- Variant 3 heeft een relatief lange, smalle topzware motor met toegenomen kans op mechanische resonantieproblemen.
- Het lage, brede frame van de motor van variant 1 is robuust, praktisch resonantievrij. Hij is het onderhoudsvriendelijkst en heeft de hoogste bedrijfszekerheid.
- Variant 4 is het vriendelijkst voor de netbeheerder.
- Onderlinge verschillen in rendement zijn niet zo heel groot. Het is sowieso niet zo zinvol om te focussen op rendement van de elektrische machine zo lang verliezen in andere machines in de keten veel groter zijn.
- Variant 4 is robuust. De frequentieregelaar is veel kleiner dan het nominale motorvermogen omdat alleen de rotorverliezen worden geregeld.
- Het prijsniveau in investering en onderhoud (total cost of ownership) wordt voor de klassieke variant 3 steeds minder aantrekkelijk.