

Frequentieregeling op hoge netspanning

Voor industriële laagspanningsinstallaties is de netspanning in Europa 400 V

wisselspanning. Sommige grote bedrijven gebruiken echter 690 V wisselspanning.

Waarom? Bij frequentieregelde aandrijvingen is het even opletten.

Arie Mol

In de VS is een netspanning van 120 V gebruikelijk. Dat is min of meer veilig bij huishoudelijk gebruik: een onverhoopte aanraking is niet dodelijk. Het elektriciteitsbedrijf en de industriële eindgebruikers hebben liever een hogere spanning. Hoe hoger de spanning, des te lager de stroom bij een gegeven vermogen. Dat betekent dunnere kabels en compacter schakelmateriaal, een lagere kostprijs voor het distributiesysteem en minder energieverliezen in het elektriciteitsnetwerk. Die koperverliezen moeten gedekt worden door het verstoken van kolen of gas, terwijl de consument alleen betaalt voor afgenomen kilowatturen. Ooit was in Europa uit efficiëntieoogpunt een 380/220 V driefasesysteem gebruikelijk; Groot-Brittannië week af met 415/240 V. In de jaren tachtig werd dit door EU-harmonisatie 400/230 V voor heel Europa. De Britten waren daar niet blij mee; een lagere netspanning betekent een evenredig ho-

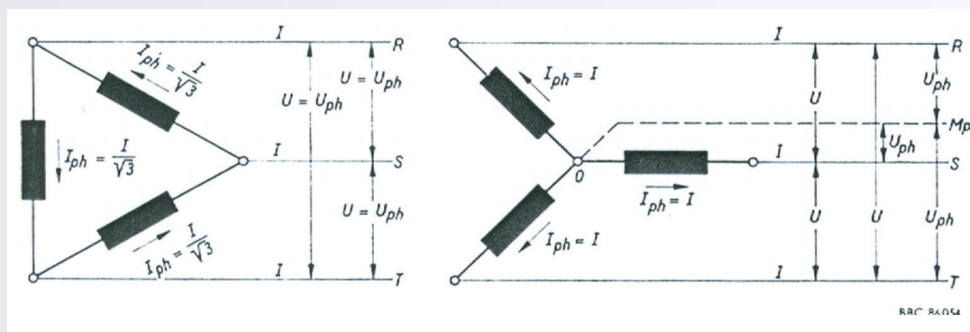
gere stroom in het netwerk dus een hogere thermische belasting. De aanloopstroom wordt lager en de aanlooptijd langer. De standaard wikkelingspanning voor elektromotoren is 400 V. Bij een 400 V draaistroomnet wordt de motorwikkeling altijd in driehoek geschakeld. Het is natuurlijk ook mogelijk 230 V te kiezen als standaard wikkelingspanning, maar dan moet de motorwikkeling bij een 400 V net in ster worden geschakeld. Een hogere spanning betekent een gunstiger verhouding isolatiemateriaalvolume versus kopervolume. Vandaar de keuze voor een 400 V wikkelingspanning, met als consequentie de driehoekschakeling als standaard schakeling.

NOG HOGERE SPANNING

Een grootenergieverbruiker zou eigenlijk naar een nog hogere spanning dan 400 V willen. In de jaren zeventig werd de nieuwe raffinerij van Shell in Moerdijk als een van de eerste uitgelegd voor een

660 V net. Wie vanaf nul kan beginnen, neigt al gauw naar een zo hoog mogelijke spanning vanwege de lagere netverliezen. Dat betekent ook een lagere investering door goedkopere kabels en goedkoper schakelmateriaal. De keuze voor 660 V was geen toeval; 660 V is gelijk aan $\sqrt{3} \cdot 380$ V, zodat een gewone 380 V motor kan worden gebruikt. Fabrikanten hoeven niets aan hun motoren te wijzigen, alleen worden de drie fasewikkelingen niet zoals gebruikelijk in driehoek maar in ster geschakeld. Op een 400 V net is de wikkelingspanning van de in driehoek geschakelde driefasen wikkeling gelijk aan 400 V. Op een 690 V net is de wikkelingspanning van de nu in ster geschakelde wikkeling ook 400 V. De motor zelf 'ziet' geen verschil. De topwaarde van 690 V wisselspanning is $690 \cdot \sqrt{2} = 973$ V, nog net onder 1 kV. Voor een elektrotechnische installatie met spanning hoger dan 1 kV gelden strengere regels rond de veiligheid en het ontwerp.

Driehoek- en sterschakeling



MOTORRENDEMENT BEREKENEN

Op de motorkenplaat staat aangegeven wat de motorstroom is indien de wikkeling is geschakeld in 400 V driehoek of in 690 V ster. De stroom in de motorkabel bij 690 V sterschakeling is een factor $\sqrt{3}$ lager dan bij 400 V in driehoek schakeling. Rendement en $\cos \phi$ blijven gelijk. Het motorrendement kan met de kenplaatgegevens worden berekend. Uit het

Kenplaat van een 15 kW motor

net opgenomen kW vermogen is:

$$P_{in} = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$$

Het rendement is de verhouding tussen asvermogen (is kenplaatvermogen) en opgenomen vermogen. Er is een potentieel nadeel: de motor kan natuurlijk niet aanlopen via een ster – driehoek schakeling. Maar dat is vaak niet meer nodig omdat de aanloopstroom al met een factor $\sqrt{3}$ gereduceerd is. Als alternatief kan de fabrikant een andere wikkeling ontwerpen, namelijk een wikkelingspanning van 690 V (aanpassing aantal windingen, draaddikte) in plaats van 400 V, en de motorwikkelingen weer in driehoek schakelen. Dan kan aanloopstroombeperking via een ster – driehoek schakeling weer toegepast worden. Het gaat dan niet meer om een ‘standaard’ 400 V motor, en ook het standaard isolatiemateriaal wordt met een $\sqrt{3}$ (dus 73%) hogere spanning belast. Bij een frequentieregelde aandrijving kan dit kritisch uitpakken.

FREQUENTIEREGELING OP 690 V

Wordt op een 690 V net een e-motor aangestuurd door een frequentieregelaar dan moet die regelaar uiteraard deze hogere spanning aankunnen. Dit betekent een $\sqrt{3}$ maal hogere werkspanning voor de condensatorbank van de DC bus. Dan stijgt de spanning U dc [V] van de DC bus van maximaal $400 * \sqrt{2} = 565$ V naar maximaal $690 * \sqrt{2} = 976$ V. Moderne condensa-

toren kunnen deze verhoogde spanning gemakkelijk aan. De inverter wordt ontworpen voor een $\sqrt{3}$ maal hogere spanning en $\sqrt{3}$ maal lagere stroom. De lagere stroom betekent een compactere bouwwijze en is dus commercieel aantrekkelijk voor de frequentieregelaarfabrikant. Moderne IGBT transistoren kunnen prima functioneren op een 690 V spanningsniveau.

MOTOR

In een symmetrisch driefasen spanningsstelsel is de som van de momentele spanningen in de drie fasen altijd nul. Een frequentieregeling is een asymmetrisch voedingssysteem. De DC bus spanning U dc [V] wordt voortdurend volgens een geprogrammeerd scenario kortstondig verbonden met twee of drie fasewikkelingen. Zo kan in de luchtspleet een roterend magnetisch veld worden geïntroduceerd van elke gewenste grootte en rotatiesnelheid. Het spanningsniveau ten opzichte van de aarde van de wikkeling wisselt voortdurend tussen drie gelijkspanningwaarden + U dc, - U dc en nul. Het statorwikkelingsisolatiemateriaal wordt nu geheel anders belast. De steile dU/dt pulsen van 565 V per circa 1 μ sec in een ritme van 3000 maal per seconde (schakelfrequentie 3 kHz) belasten het isolatiemateriaal heel anders dan een 400 V sinusvormige spanning met het

tijdinterval van 20 ms van het 50 Hz net. Daarbij komt dat tijdens het schakelen er een kortstondige piekspanning op de motorklemmen kan ontstaan van maximaal $2 * U$ dc, in de praktijk circa $1.8 * U$ dc. Dat is een piekspanning van $1.8 * 400 * \sqrt{2} = 1018$ V piekwaarde.

GOEDKOOP IS DUURKOOP

De praktijk wijst uit dat standaard 400 V wikkelingsisolatiemateriaal en versterkte fase-isolatie tussen de driefasewikkelingen de motor geschikt maken voor frequentieregelingtoepassing op 400 V niveau. Frequentieregelaarvoeding op 690 V niveau kan de piekspanning doen stijgen tot $1018 * \sqrt{3}$ volt, bijna 1.8 kV. Niet iedere fabrikant kiest voor aangepast isolatiemateriaal. Standaard 400 V materiaal voldoet niet altijd bij 690 V. Bezuinigen op isolatiemateriaal en dU/dt filtering betekent meestal goedkoop is duurkoop. Frequentieregelaars dumpen extra verliezen in de motor. Een hogere motortemperatuur maakt isolatiemateriaal kwetsbaarder. In zoverre er – afhankelijk van onder meer het motorontwerp – kans bestaat op lagerschade door elektrische stroomdoorgang, zal de hoogfrequent asstroom door de lagers een factor $\sqrt{3}$ hoger zijn bij een 690 V net.

V		Hz	kW	r/min	A	cos φ	I _A / I _N	t _e /s
690 Y		50	15	1460	16.7	0.82		
400 Δ		50	15	1460	29	0.82		
660 Y		50	15	1455	17.3	0.84		
380 Δ		50	15	1455	30	0.84		
415 Δ		50	15	1465	28	0.81		
440 Δ		60	18	1750	30	0.84		