

PHASE TO PHASE

Motorstart in LS-netten

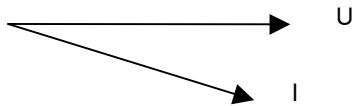
01-121 pmo

24-4-2001

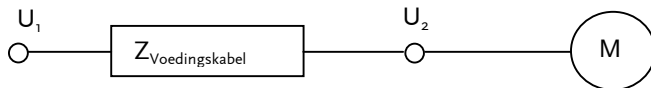
Phase to Phase BV
Utrechtseweg 310
Postbus 100
6800 AC Arnhem
T: 026 356 38 00
F: 026 356 36 36
www.phasetophase.nl

MOTORSTART IN LAAGSPANNINGSNETTEN

De asynchrone motor heeft in nominaal bedrijf meestal een $\cos(\phi)$ van ongeveer 0,85. Dat betekent dat nominaal de stroom een beetje najlt op de klemspanning.



In het geval van een motorstart veranderen de stroom (doorgaans 5 maal I_{nom}) en de $\cos(\phi)$. Deze waarden zijn gedefinieerd in de typedefinitie van de motor. Om de spanningsdip correct te berekenen, moet de complexe rekenwijze geheel en zonder vereenvoudigingen worden toegepast. We kunnen hier niet volstaan met een eenvoudige handberekening met absolute waarden. Met name in een laagspanningsnet wordt de spanningsdip veroorzaakt door een complexe verschilspanning, die bijna haaks op de normale spanning kan staan. Hieronder volgt een rekenvoorbeeld.



Voedingskabel:

$$R = 0,1791 + j 0,0222 \text{ Ohm}$$

Motor:

$$U_{nom} = 230 \text{ V}$$

$$P_{nom,mech} = 4000 \text{ W}$$

$$\text{Rendement: } 95\%$$

$$\cos(\phi)_{nom} = 0,85$$

$$I_{start} / I_{nom} = 5$$

$$\cos(\phi)_{start} = 0,1$$

De aanloopstroom I_{start} wordt berekend uit bovenstaande gegevens. We berekenen de aanloopstroom in complexe waarden.

$$P_{nom,elektrisch} = P_{nom,mech} / \text{rendement} = 4000 / 0,95 = 4210,5 \text{ W}$$

$$|I_{nom}| = P_{nom,elektrisch} / (3 U_{nom} \cos(\phi)_{nom}) = 4210,5 / (3 \times 230 \times 0,85) = 7,18 \text{ A}$$

$$|I_{start}| = 5 |I_{nom}| = 35,895 \text{ A}$$

$$I_{start} = 3,5895 - j 35,715 \text{ A}$$

Vervolgens berekenen we de impedantie van de machine. De totale impedantie, die de bron ziet, is bepaald door de voedingskabel en de motor.

$$Z_{start} = U_{nom} / I_{start} = 230 / (3,5895 - j 35,715) = 0,64076 + j 6,3755 \text{ Ohm}$$

$$Z_{totaal} = Z_{voedingskabel} + Z_{start} = 0,8199 + j 6,3977 \text{ Ohm}$$

De aanloopstroom, die de voeding ziet, wordt berekend uit de nominale spanning op het voedingsknooppunt en de totale impedantie.

$$I_{start}' = U_{nom} / Z_{totaal} = 230 / (0,8199 + j 6,3977) = 4,533 - j 35,37 \text{ A}$$

De spanningsdaling over de voedingskabel is:

$$\Delta U = Z_{voedingskabel} \times I = (0,1791 + j 0,0222) (4,533 - j 35,37) = 1,59 - j 6,23 \text{ V}$$

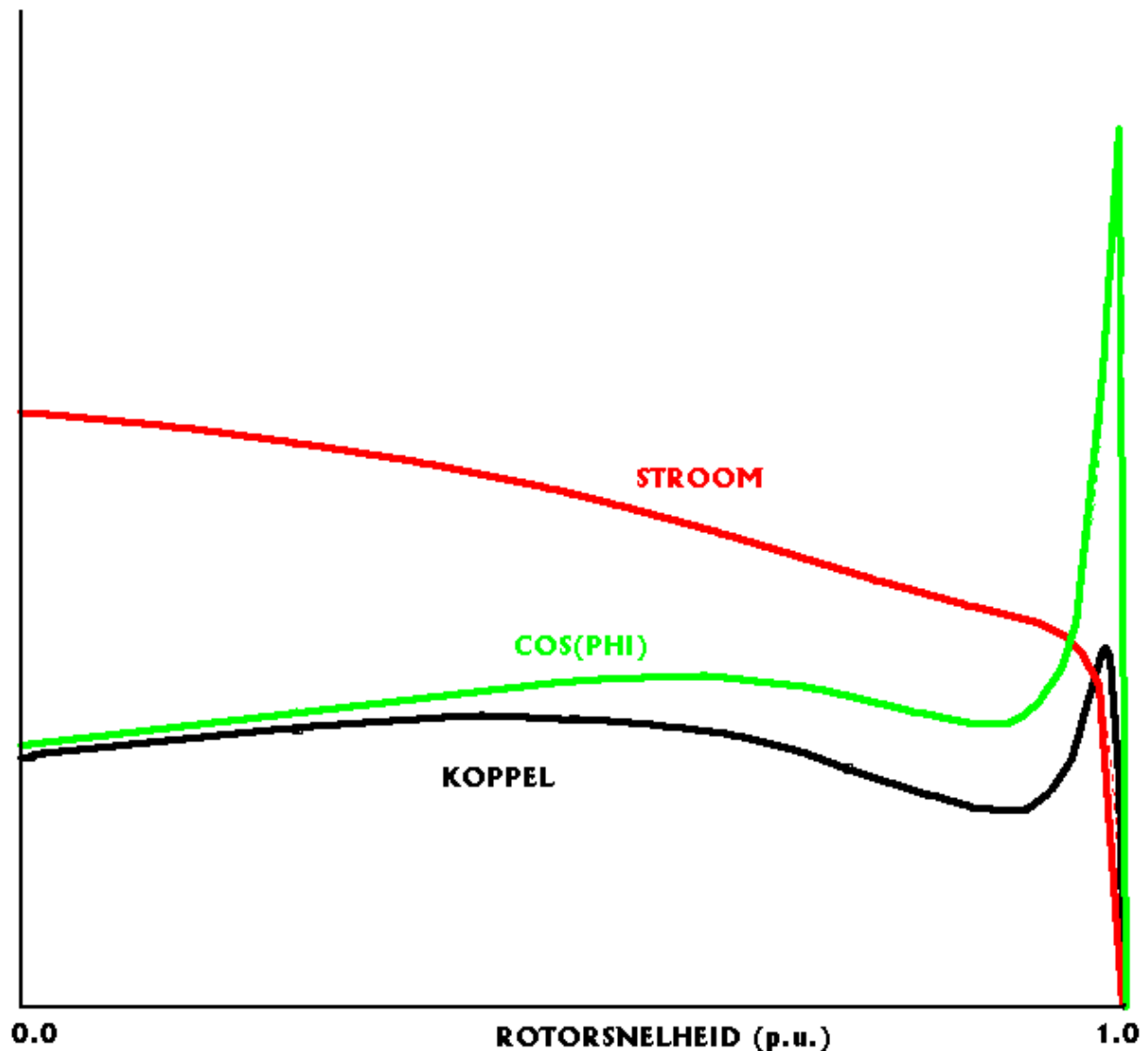
Hieruit volgt de nieuwe spanning op de klemmen van de motor in complexe termen:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = 228,41 + j 6,23 \text{ V}$$

Uiteindelijk is de spanning ten gevolge van de dip: $|U_2| = 228,49 \text{ V}$

In een laagspanningsnet, met overwegend Ohmse verbindingen, valt de spanningsdip bij het inschakelen van de asynchrone machine erg mee bij een lage $\cos(\phi)$ tijdens aanloop.

Tijdens het aanlopen wordt de $\cos(\phi)$ groter. Tegelijkertijd echter neemt de verhouding $I_{\text{start}} / I_{\text{nom}}$ af. Zie de figuur hieronder. In die gevallen dat de $\cos(\phi)$ sneller toeneemt dan de aanloopstroom afneemt, wordt de ergste spanningsdip dus niet veroorzaakt door het moment van inschakelen, maar door een specifiek moment verderop in het aanloopproces. Dit verschilt van machine tot machine. In onderstaand figuur zijn het koppel, de stroom en de $\cos(\phi)$ afgebeeld als functie van de rotorsnelheid bij een motorstart (van 0 tot 1 pu van de nominale snelheid). Het maximum van de invloed van stroom en $\cos(\phi)$ op de spanningsdip ligt in dit voorbeeld tussen 0,25 en 0,5 p.u. van de snelheid.



Onderstaande tabel geeft een voorbeeld van de aanloopstroom van enkele typen asynchrone motoren, ontleend aan een catalogus van een leverancier. De aanloopstroom blijkt sterk afhankelijk te zijn van de uitvoering van de machine. Binnen de onderstaande aangegeven vermogens zijn nog afwijkingen. Wij presenteren hieronder de grootste aangetroffen waarden. Voor het juiste gebruik raden wij aan de motorspecificaties te gebruiken. De $\cos(\phi)$ tijdens aanloop werd niet gegeven in de catalogus.

Vermogen (kW)	I_s / I_n bij 2 polen	I_s / I_n bij 4 polen	I_s / I_n bij 6 polen	I_s / I_n bij 8 polen
1	5.7	4.8	4.1	-
2	6.7	5.6	5.7	-
5	6.7	6.6	6.9	4.9
10	6.6	6.6	7.0	5.4
20	7.0	7.1	7.2	6.0
50	7.5	7.5	7.2	7.1
100	7.6	6.7	7.3	7.3
200	7.8	6.9	7.1	6.6
500	7.9	7.6	6.8	-

In de literatuur is meer te vinden over dit onderwerp. Onderstaande passages zijn ontleend aan: W. Nürnberg, "Die Prüfung elektrischer Maschinen", 5. Auflage 1965, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

Cos(phi)

Uitgangspunt voor de $\cos(\phi)$ tijdens aanloop is de $\cos(\phi)_k$ bij stilstand van de rotor. De $\cos(\phi)_k$ wordt bepaald uit de verhouding P_k/S_k , waarbij P_k en S_k respectievelijk het opgenomen watt- en schijnbare vermogen zijn bij stilstaande rotor (kortsluitvermogen). Motoren met sleepringen hebben meestal een $\cos(\phi)_k$ kleiner dan 0,5. De $\cos(\phi)_k$ van grotere motoren met kortsluitankers is doorgaans groter. De kleinere motoren met kortsluitankers, in het bijzonder die met dubbelkooiankers, hebben een $\cos(\phi)_k$ van 0,4 tot 0,6.

Aanloopstroom

De relatieve kortsluitstromen bedragen bij de sleepringmotoren met een toerental groter dan 500 omwentelingen per minuut 5 tot 8 maal de nominale stroom. Bij motoren met een toerental kleiner dan 500 omwentelingen per minuut bedraagt deze 3,5 tot 5 maal de nominale stroom. Motoren met een enkele kooi uit ronde staven hebben iets kleinere kortsluitstromen. Voor industriemotoren met dubbele kooiankers gelden waarden van 3,5 tot 4,5 van de nominale stroom. Kleiner dan 3,5 maal de nominale stroom zal de kortsluitstroom niet zijn, omdat dan het Kippkoppel niet meer toereikend is.