

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Designmanual Vand og spildevand

Projektering og installering af frekvensomformere

4 trin

....til sikker
installation.
Danfoss støtter dig
i projektering med
vores viden og store
erfaring

www.vlt.dk

VLT[®]
THE REAL DRIVE

Afkrydsningslisten bagerst i denne manual
giver dig optimale designresultater i fire trin.



Indhold

Design hjælpemidler	6
1. del: Generelt	8
Reducering af omkostninger og øget pålidelighed	8
Energibesparelser med hastighedsstyring	9
Øget omkostningseffektivitet	10
Opnåelse af potentielle besparelser i praksis	11
2. del: Fire trin til et optimalt system	12
Trin 1: Praktiske aspekter vedrørende netspændingssystemer	12
Genkendelse af den aktuelle netforsyningskonfiguration	
Praktiske aspekter vedrørende elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)	13
Elektromagnetisk effekt fungerer i begge retninger	
Ansvarer hviler på operatøren eller slutbrugeren	
To mulige metoder til reduktion	
Kabelbåret og udstrålet forstyrrelse	14
Koblingsmekanismer mellem elektriske kredsløb	
Praktiske aspekter vedrørende kvaliteten af netforsyningsspænding	15
Lavfrekvent netforvrængning	
Udsatte forsyningsnetværk	
Kvalitetssikring i henhold til lovmæssige bestemmelser	
Sådan opstår netforvrængning	
Praktiske aspekter vedrørende lavfrekvent netforvrængning	16
Effekt af netforvrængning	
Underspændingsadvarsler	
Større tab	
Findes der frekvensomformere som ikke giver netforvrængning?	
Analyser af netforvrængning	
Praktiske aspekter vedrørende reduktion af netforvrængning	17
Løsninger til reduktion af netforvrængning	
AC- eller DC-spoler	
12, 18 og 24 puls ensretter	
Passive filtre	
Fordele ved passive filtre	
Ulemper ved passive filtre	
Aktive filtre	18
Fordele ved aktive filtre	
Ulemper ved aktive filtre	
Strøm- og netforvrængning ved fuld belastning	
Smal mellemkreds	19
Active Front End (AFE)	
Fordele ved AFE	
Ulemper ved AFE	20
Praktiske aspekter vedrørende højfrekvent forstyrrelse (RFI)	21
Radio frekvensforstyrrelse	
Standarder og direktiver definerer grænserne	
Praktiske aspekter vedrørende 1. og 2. miljø	22
Driftsstedet er den afgørende faktor: 1. og 2. Environment	
1. Environment (Klasse B): beboelsesområde og kontorer	
2. Environment (Klasse A): industriområde	
Særlige miljøer	
Ingen kompromis	
Praktiske aspekter vedrørende beskyttelsesforanstaltninger af netforsyning	23
Effektfaktor korrektion	
Nettransienter	
Praktiske aspekter vedrørende drift med transformer eller nødstrømsgenerator	24
Maksimal transformerudnyttelse	
Transformerbelastning	
Strømkvalitet	
Drift med nødstrømsgenerator	

Indhold

Trin 2: Praktiske aspekter vedrørende omgivende og miljømæssige forhold	25
Korrekt installationssted:	
Tavlemontering kontra vægmontering	
Praktiske aspekter vedrørende IP-klassificering.....	26
IP-klassificering i henhold til IEC 60529	
Praktiske aspekter vedrørende køledesign	27
Overensstemmelse med specifikationer for omgivelsestemperatur	
Køling	
Relativ luftfugtighed	
Praktiske aspekter vedrørende særlige krav	28
Aggressiv atmosfære eller gasser	
Støveksponering	29
Reduceret køling	
Køleventilatorer	
Filtre	
Praktiske aspekter vedrørende potentielt eksplosive atmosfærer	30
Potentielt eksplosive atmosfærer	
Trin 3: Praktiske aspekter vedrørende motorer og kabelføring	31
Min. virkningsgradsklasser for motorer	
Obligatorisk minimum virkningsgrad	
IE og Eff klasser: større forskelle i detaljer	
Berørte trefasede motorer	
IE-klassificering af motorer	32
Tidsplan for implementering af MEPS	
Overensstemmelse med EN 50347 vedrørende specifikationer for monteringsdimensioner	
Omkostningseffektivitet	
Praktiske aspekter vedrørende EC- og PM-motorer	33
Mange navne for den samme teknologi	
Teknologien	
Høj virkningsgrad	
Danfoss EC+ konceptet	
Oversynkron drift	34
Standard IEC-kapsling	
Løsning 1: Samme kapslingsstørrelse	
Løsning 2: Samme nominel effekt	
Praktiske aspekter vedrørende motorer for frekvensomformerdrift	35
Udvælgelseskriterier	
Isoleringsbelastning	
Lejebelastning	
Termisk belastning	
Praktiske aspekter vedrørende udgangsfiltre	36
Sinus- og dU/dt-filtre - og common mode filtre	
Funktioner og anvendelse af filtre	
Hvornår anvendes der sinusfiltre?	
Eftermontering	
Praktiske aspekter vedrørende motorkabler	37
Nominel spænding	
Kabeldimensionering	
Motorkabellængde	
Energibesparelser	
Kabler med egnet skærmning	
Praktiske aspekter vedrørende jording	38
Vigtigheden af jording	
Elektrisk ledende materialer	
Stjernekonfigureret jordingssystem	
Kontaktpunkter	
Overfladeareal for leder	

Praktiske aspekter for skærmning	39
Vigtigheden af skærmning	
Skærmede kabler og kabelføring	
Skærmforbindelse	
Afbrydelse af skærmen	
Jordtilslutning	40
Motorforsyningskabel	
Signalkabel	
Skærmningstyper	
Trin 4: Praktiske aspekter vedrørende valg af frekvensomformere	41
Grundlæggende design	
Konstant eller variabelt moment	
Praktiske aspekter vedrørende belastningskurver for diverse applikationer	42
Karakteristiske kurver og applikationer	
Praktiske aspekter vedrørende drift af flere motorer (særligt tilfælde)	43
Design	
Kabelføring	
Praktisk implementering af EMC-foranstaltninger	44
Fra teori til praksis	
Radiofrekvensforstyrrelse	
Praktiske anbefalinger	
Ekstern eller indbygget RFI-filter	
Netforvrængning	45
DC-link påvirker netforvrængning	
Begrænsende foranstaltninger	
AC-, og DC spoler reduktion af netforvrængning	
12, 18 eller 24 puls ensretter	46
Passive filtre	
Aktive filtre, active front end og lavharmoniske frekvensomformere	
Praktiske aspekter vedrørende fejlstrømsafbrydere	47
AC/DC-fejlstrømsafbrydere	
Lækstrømsniveau	
Praktiske aspekter vedrørende jording og motorbeskyttelse	48
Ekstra pålidelig beskyttelsesleder	
Motorbeskyttelse og motor PTC-termistor	
Praktiske aspekter vedrørende operatørstyring og datavisning	49
Simpelt betjeningskoncept	
Drift ved lokal betjening	50
Gennemskueligt display	
Ensartet koncept	
Frembygning af betjeningsdisplay	
Praktiske aspekter vedrørende styring og parameterkonfiguration med PC	51
Udvidede valgmuligheder	
Praktiske aspekter vedrørende dataudveksling	52
Bussystemer	
Bedre alarmhåndtering	
Bedre anlægsstyring	
Lavere installationsomkostninger	
Enkel idriftsættelse	
Praktiske aspekter vedrørende yderligere udvælgelsesfaktorer	53
Processtyringsenheder	
Vedligeholdelse	
Opbevaring	
VLT® AQUA Drive	54
Direktiver relateret til frekvensomformere	55
Forkortelser	59
Afkrydsningsliste for design	60
Noter	62

Hjælpemidler til avanceret og detaljeret design

Designmanual for vand og spildevand

Danfoss designmanual for vand og spildevand henvender sig til ingeniører, virksomheder, offentlige myndigheder, interesseforeninger, anlægsingeniører og stærkstrømsingeniører, som har en interesse for applikationer inden for vand og spildevand. Denne design manual er et omfattende hjælpemiddel til projektering af systemer med variabel hastighed, ved anvendelse af frekvensomformere.

Beskrivelserne i de enkelte afsnit er bevidst kortfattede. Disse er ikke tiltænkt som uddybende forklaringer på tekniske spørgsmål, men har til formål at sætte fokus på relevante problemstillinger og specifikke krav inden for projektering. Design manualen for vand og spildevand fungerer på denne måde som en hjælp til projektering af frekvensomformere

og i vurderingen af produkterne fra diverse producenter af frekvensomformere.

Projektering af frekvensomformere giver ofte anledning til spørgsmål, som ikke er direkte relateret til en frekvensomformers egentlige funktion. De er i stedet relateret til integrationen af frekvensomformeren i applikationen og den overordnede anlægsdrift. Af denne grund er det afgørende, at det ikke blot er frekvensomformeren, der tages med i betragtningerne, men også hele applikationen.

Applikationen består af en motor, en frekvensomformer, kabelføring og de generelle forhold i det omgivende miljø, hvilket omfatter netspændingsforsyningen og de miljømæssige forhold.

Projektering og opsætning af applikationer med variabel hastighed er særligt vigtig. Beslutningerne ved projektering, kan være altafgørende mht. kvaliteten af den endelige installation, drifts- og vedligeholdelsesomkostninger og opnå en pålidelig og problemfri drift.

Forudgående og velovervejet projektering bidrager til at undgå uønskede bivirkninger under den efterfølgende drift af installationen.

Denne design manual og den medfølgende afkrydsningsliste er ideelle redskaber til at opnå den bedste pålidelighed til høj driftssikkerhed i hele applikationen.

Enhver, der beskæftiger sig med projektering af frekvensomformere bør tage nøje hensyn til de generelle tekniske forhold.



Designmanualen for vand og spildevand er inddelt i to dele. Den første del indeholder baggrundsinformation om den generelle brug af frekvensomformere. Dette omfatter effektiv energiudnyttelse, reducerede levetidsomkostninger og længere produktlevetid.

Anden del af denne designmanual guider dig igennem de fire afgørende trin inden for design og projektering af en applikation og indeholder tip til eftermontering af funktioner til hastighedsstyring i eksisterende applikationer. Den omhandler de faktorer, man skal være opmærksom på, for at opnå pålidelig drift – valg og dimensionering af spændingsforsyning, omgivende og miljømæssige forhold, motor og kabelføring samt valg og dimensionering af frekvens-

omformer – og indeholder alle de nødvendige oplysninger om disse emner. Der findes ligeledes en afkrydsningsliste bagerst i manualen, hvor du kan afkrydse de enkelte trin. Hvis du tager hensyn til alle disse faktorer, kan du opnå et optimalt systemdesign, som altid er kilden til pålidelig drift.



1. del: Generelt

Reducering af omkostninger og øget pålidelighed

Sammenlignet med systemer til mekanisk hastighedsstyring kan der med elektronisk hastighedsstyring opnås store energibesparelser og betydelig reduktion af slitage. Begge disse faktorer reducerer driftsomkostningerne betydeligt. Jo oftere systemet anvendes (eller skal anvendes) under delvis belastning, desto større potentielle besparelser til energi og vedligeholdelse. På grund af de større potentielle energibesparelser kan de yderligere omkostninger, der er forbundet med elektroniske systemer til hastighedsstyring, tjenes ind igen. Desuden kan det have en positiv effekt på mange aspekter vedrørende systemprocesserne og den overordnede systemdrift.

Store potentielle energibesparelser

Med et elektronisk system til hastighedsstyring kan gennemstrømningen, trykket eller differenstrykket tilpasses til det aktuelle behov. I praksis anvendes systemer hovedsageligt ved delvis belastning frem for fuld belastning. I forbindelse med ventilatorer og pumper med variabel momentkarakteristik afhænger energibesparelsernes størrelse af forskellen mellem drift med delvis og fuld belastning. Jo større forskel, desto mindre tid går der, inden investeringen har tjent sig ind. Der er typisk tale om ca. 12 måneder.

Begrænsning af startstrøm

Start af udstyr, der er tilsluttet direkte til netspænding, giver store startstrømme, som kan være op til seks til otte gange større end den nominelle strøm. Frekvensomformere begrænser startstrømmen til den nominelle motorstrøm. På denne måde elimineres startstrømme ved opstart, og spændingsfald undgås. Eliminering af startstrømme reducerer den relaterede belastning af pumpesystemet,

som ses hos elleverandøren, hvilket reducerer afgifterne.

Reducering af systemslitage

Frekvensomformere starter og standser motorer forsigtigt og jævnt. I modsætning til motorer, der forsynes direkte med netspænding, forårsager motorer, der forsynes af frekvensomformere, ikke pludselige moment- eller belastningsstigninger. Dette reducerer belastningen på hele transmissionen (motor, gearkasse, kobling, pumpe/ventilator/kompressor) og rørsystemer, herunder pakninger. På denne måde reducerer hastighedsstyringen slitage betydeligt og forlænger dermed systemets levetid. Omkostninger til vedligeholdelse og reparationer er lavere takket være længere driftsperioder.

Optimal justering af driftspunkt

Effektiviteten af systemer til håndtering af vand og spildevand afhænger af det optimale driftspunkt. Dette punkt varierer afhængigt af udnyttelsen af systemets kapacitet. Systemet fungerer mere effektivt, når det kører tættere på det optimale driftspunkt. Takket være deres kontinuerlige, variable hastighed er frekvensomformere i stand til at anvende systemet nøjagtigt ved det optimale driftspunkt.

Udvidet styringsområde

Frekvensomformere gør det muligt at motorer kan køre i det "oversynkrone" område (udgangsfrekvens over 50 Hz). Muligheden for oversynkron drift afhænger af den maksimale udgangsstrøm og belastningskapaciteten af frekvensomformeren. Motorproducenten skal altid kontaktes om motoren er egnet til oversynkron drift.

Lavere støj

Systemer, der kører med delvis belastning, er mindre støjsvage. Hastighedsstyret drift kan reducere akustisk støj.

Længere levetid

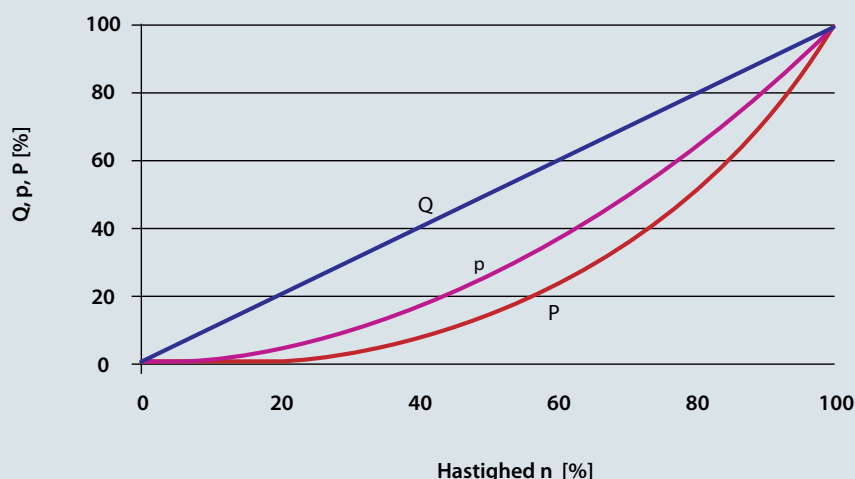
Applikationer, der kører med delvis belastning, er omfattet af mindre slitage, hvilket betyder en længere produktlevetid. Det reducerede, og optimale tryk har også en gavnlig effekt på rørføringen.

Eftermontering

Frekvensomformere kan normalt eftermonteres på eksisterende applikationer.



Hastighedsstyring sparer energi



Proportionalitetsprincipper for maskiner til væskegennemstrømning. På grund af de indbyrdes fysiske forhold er gennemløbet Q , trykket p og effekten P direkte afhængige af pumpehastigheden og væskegennemstrømningen.

Den potentielle energibesparelse, når der anvendes en frekvensomformer, afhænger af den type belastning, der køres med, optimeringen af pumpens og frekvensomformerens effektivitet samt den tid, hvor systemet kører med delvis belastning. Applikationer til brugsvand og spildevand er typisk dimensioneret til sjældne spidsbelastninger, så de kører typisk med delvis belastning.

Centrifugalpumper og ventilatorer omfatter ofte det største potentiale for energibesparelser. De hører til maskiner til væskegennemstrømning med variable momentkurver, som er underlagt følgende proportionalitetsprincipper:

Gennemstrømningen øges lineært med hastighedsforøgelse (O/MIN), mens trykket øges kvadratisk og effektforbruget øges i tredje potens.

Den afgørende faktor for energibesparelser er forholdet mellem omdrejninger pr. minut og effektforbruget.

En pumpe, der kører ved halv nominal hastighed, har f.eks. kun behov for en ottendedel af det nødvendige strømforbrug for drift ved den nominelle hastighed. Selv mindre reduktioner i hastigheden kan derfor medføre betydelige energibesparelser. F.eks. vil en hastighedsreduktion på 20 % give en energibesparelse på næsten 50 %. Den primære fordel ved at bruge en frekvensomformer er, at hastighedsstyring ikke omfatter energispild (i modsætning til regulering med f.eks. en drøvleventil eller en hydraulikventil), men i stedet justerer motorhastigheden, så den passer til det egentlige behov.

Yderligere energibesparelser kan opnås ved optimering af effektiviteten for pumpen eller drift med frekvensomformerstyring. Spændingsstyringskarakteristikken (U/f-kurve) leverer den korrekte spænding til motoren for hver frekvens og dermed motorhastighed. På denne måde forhindres motortab pga. for stor reaktiv strøm.

Bemærk: Danfoss VLT® AQUA Drive optimerer energibehovet yderligere. Funktionen AEO (Automatic Energy Optimisation) justerer konstant den aktuelle motorspænding, så motoren kører med den bedst mulige virkningsgrad. På denne måde tilpasser VLT® AQUA Drive altid spændingen til de aktuelle belastningsforhold. Den yderligere potentielle energibesparelse udgør 3 til 5 %.



Øget omkostningseffektivitet

Analyse af levetidsomkostninger (LCC)

Indtil for få år siden tog anlægsingeniører og -operatører kun hensyn til anskaffelses- og installationsomkostninger, når der skulle vælges pumpesystem. I dag er det stadig mere almindeligt, at der udarbejdes en komplet analyse af alle omkostninger. Betegnelsen levetidsomkostninger (LCC - life cycle cost) omfatter en analyse af alle omkostninger, der er forbundet med pumpesystemer i hele deres levetid.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

C_{ic} = umiddelbare startomkostninger (anskaffelsesomkostninger)

C_{in} = installations- og idriftsættelsesomkostninger

C_e = energiomkostninger

C_s = omkostninger til nedetid og produktionstab

C_o = driftsomkostninger

C_{env} = miljømæssige omkostninger

C_m = vedligeholdelsesomkostninger

C_d = afviklings- og bortskaffelsesomkostninger

Beregning af levetidsomkostninger

En analyse af levetidsomkostninger omfatter ikke alene anskaffelses- og installationsomkostninger, men også omkostninger til energi, drift, vedligeholdelse, miljøet og bortskaffelse. To faktorer – omkostninger til energi og vedligeholdelse – har en afgørende indvirkning på levetidsomkostningerne.

Reducering af energiomkostninger

En af de største omkostningsfaktorer i formelen for levetidsomkostninger er omkostningerne til energi. Dette

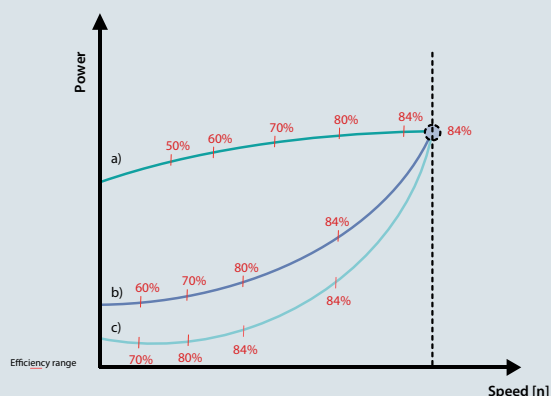
gælder især, når pumperne kører i mere end 2.000 timer pr. år.

De fleste eksisterende pumpe-applikationer har uudnyttet potentiale for energibesparelser. Årsagen til dette er, at de fleste pumper er overdimensionerede, da de er udviklet til at kunne håndtere værst tænkelige tilstande. Volumenstrømmen er ofte reguleret af en drøvleventil. Med denne form for regulering kører pumpen altid

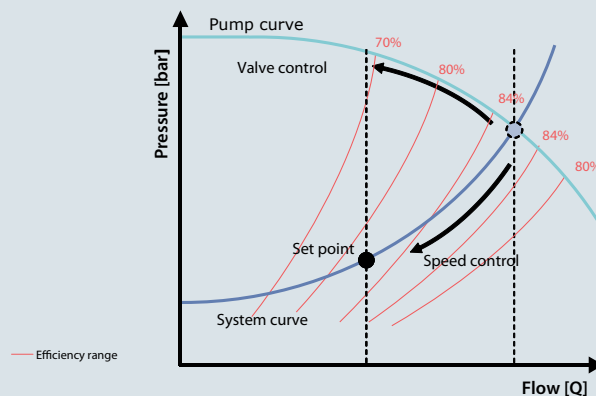
med fuld kapacitet og bruger derfor mere energi.

Dette kan sammenlignes med at køre en bil, hvor speederen altid er i bund, og bremsen bruges til at justere hastigheden.

Moderne, intelligente frekvensomformere er den ideelle metode til reduktion af både energiforbrug og vedligeholdelsesomkostninger.



- a) Ventilstyring: η reduceres
- b) Aktuel hastighedsstyring: η -kurven følger ikke systemkurven
- c) Optimal hastighedsstyring: η -kurven følger næsten systemkurven



Foruden kurverne for pumpe- og systemkarakteristik viser dette diagram flere effektivitetsniveauer. Både ventilstyring og hastighedsstyring gør, at driftspunktet flytter sig uden for det optimale effektivitetsområde.

Opnåelse af potentielle besparelser i praksis

Beskrivelserne i den første del af denne designmanual er primært fokuseret på de fundamentale og potentielle besparelser forbundet med vand- og spildevandsteknologi.

Det omhandler blandt andet levetidsomkostninger, reduktion af energiforbrug og energiomkostninger samt reduktion af omkostninger til service og vedligeholdelse. Din opgave er nu at implementere betragtningerne for intelligent design og derved opnå disse potentielle fordele i praksis.

Til dette formål indeholder anden del af denne manual vejledning til designprocessen i fire trin. Se følgende afsnit:

- Netforsyningssystemer
- Omgivende og miljømæssige vilkår
- Motorer og kabler
- Frekvensomformere leverer alle oplysninger om de karakteristika og data, som er nødvendige for valg af komponenter og dimensionering, for at kunne sikre en pålidelig drift.

På områder, hvor mere detaljeret viden er en fordel, angiver vi referencer til yderligere dokumenter som supplement til de grundlæggende oplysninger i denne manual.

Afkrydsningslisten bagerst i denne manual, som kan foldes ud eller rives ud, er ligeledes et nyttigt hjælpemiddel, hvor du kan afkrydse de enkelte trin. Dette giver dig et hurtigt og nemt overblik over de relevante designfaktorer.

Ved at tage alle disse faktorer med i overvejelserne opnås et ideelt udgangspunkt til design af et pålideligt og energieffektivt system.



2. del : Fire trin til et optimalt system

Trin 1: Praktiske aspekter vedrørende netspændingssystemer

Genkendelse af den aktuelle netforsyningskonfiguration

Der anvendes diverse typer netspændingssystemer til strømforsyning for elektriske frekvensomformere. De påvirker alle til en vis grad systemets EMC-karakteristik. TN-S-systemet med fem ledninger er det mest optimale i denne henseende, mens enkeltstående IT-systemer er de mindst attraktive.

TN-netforsyningssystemer

Der findes to versioner inden for denne form for distributionssystemer: TN-S og TN-C.

TN-S

Dette er et system med fem ledninger med separat nulleder (N) og beskyttende jordleder (PE).

Det har derfor de bedste EMC egenskaber og minimerer transmission af forstyrrelser.

TN-C

Dette er et system med fire ledninger med almindelig nulleder og beskyttende jordleder i hele systemet. På grund af den kombinerede nulleder og beskyttende jordleder, byder et TN-C-system ikke så gode EMC-karakteristika.

TT-netforsyningssystemer

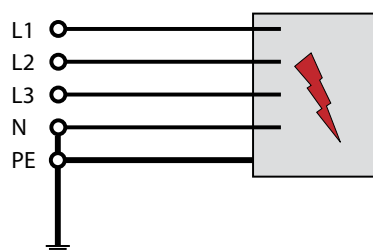
Dette er et system med fire ledninger med en nulleder med jord og en individuel jording af frekvensomformeren. Dette system byder på gode EMC-karakteristika, hvis jordingen udføres korrekt.

IT-netforsyningssystemer

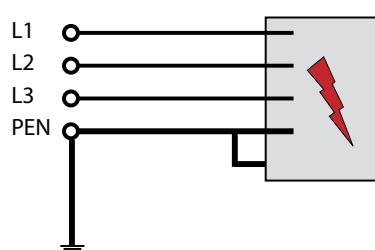
Dette er et isoleret system med fire ledninger med nulleder, som enten ikke er jordforbundet eller jordforbundet med en impedans.

Bemærk: Alle EMC-funktioner på frekvensomformeren (filtre mm.) skal være deaktiverede, når den anvendes i et IT-netforsyningssystem.

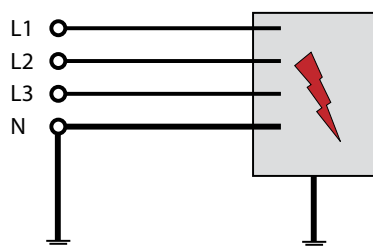
TN-S-System Separat nulleder (N) til beskyttelsesjording (PE)



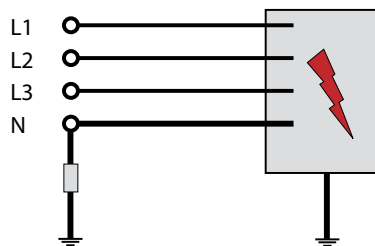
TN-C-System Kombineret nulleder og beskyttende jordleder i en fælles leder gennem hele systemet



TT-System Jordet nulleder med jord og en individuel jording af komponenterne



IT-System Isoleret system med nulleder, som enten ikke er jordforbundet eller jordforbundet med en impedans.



Former for elektriske netforsyningssystemer i overensstemmelse med EN 50310 / HD 384.3

Praktiske aspekter vedrørende elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)

Alle elektriske apparater genererer elektriske og magnetiske felter, som til en vis grad påvirker det umiddelbare miljø.

Styrken og konsekvenserne af disse påvirkninger afhænger af effekten og designet af apparatet. I elektriske maskiner og systemer kan interaktioner mellem elektriske og elektroniske samlinger forringe eller forhindre pålidelig, problemfri drift. Det er derfor vigtigt ved planlægning at man forstår sammenhængen bag disse interaktioner. Det er kun, når man gør dette, at man vil være i stand til at implementere hensigtsmæssige og omkostningseffektive modforanstaltning i designfasen.

Dette skyldes, at omkostningerne for egnede forholdsregler forøges i hver af processens faser.

Elektromagnetisk effekt fungerer i begge retninger

Systemkomponenter påvirker hinanden: Alle apparater udsender og påvirkes af forstyrrelser.

Ansvaret hviler på operatøren

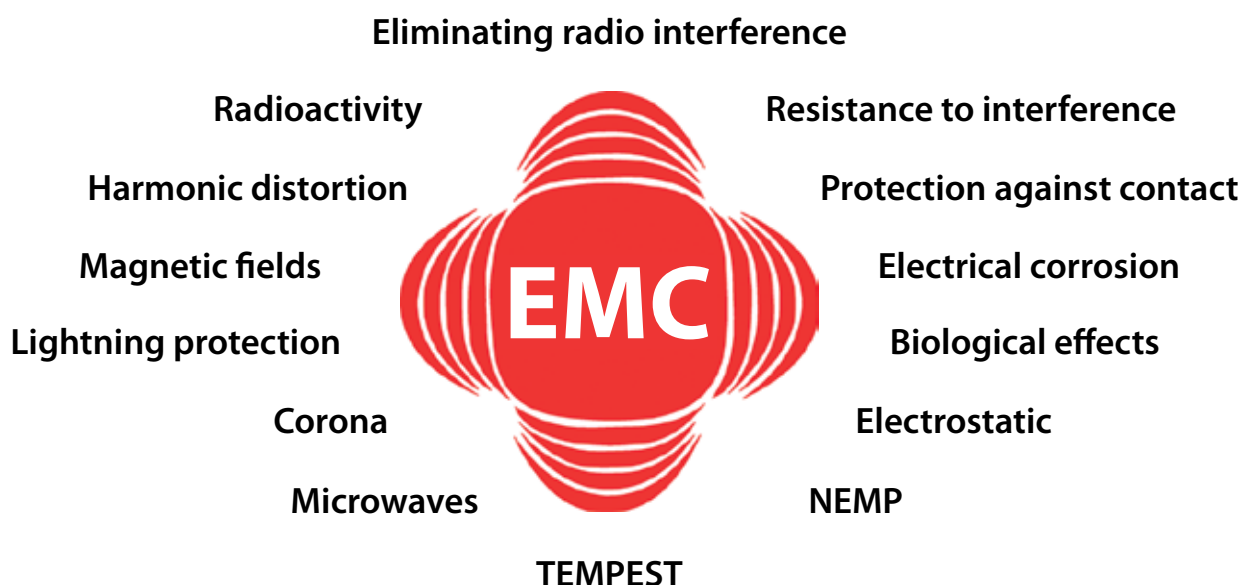
Tidligere var producenten af en komponent eller enhed nødt til at implementere modforholdsregler for at overholde lovmæssige krav. Med lanceringen af standarden EN 61800-3 for systemer med variabel hastighed blev ansvaret overført til slutbrugeren eller operatøren af systemet. Nu skal producenterne blot tilbyde løsninger, der gør, at driften sker i overensstemmelse med standarden.

Afhjælpning af enhver form for forstyrrelse, som muligvis opstår, samt de deraf afledte omkostninger hviler nu på operatøren.

To metoder til reduktion

Ved dimensionering er der to muligheder til at sikre elektromagnetisk kompatibilitet. Den ene mulighed er at standse forstyrrelsen ved kilden ved at minimere eller eliminere emissionen af forstyrrelser.

Den anden mulighed er at forbedre det berørte apparats eller systems immunitet over for forstyrrelser ved at forhindre eller betydeligt reducere modtagelsen af forstyrrelser.



Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) omfatter en bred vifte af faktorer. De mest betydelige faktorer inden for udvikling af frekvensomformere er netforstyrrelse, RFI-dæmpning og immunitet over for forstyrrelser.

Praktiske aspekter vedrørende elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)

Kabelbåret og udstrålet forstyrrelse

Der foregår altid interaktioner ved tilstedeværelsen af flere elektriske systemer. Eksperter skelner mellem kilden og modtageren af forstyrrelser, hvilket i praksis normalt betyder apparatet, der forårsager forstyrrelsen, og apparatet, der påvirkes af den. Alle typer elektriske og magnetiske størrelser kan potentielt forårsage forstyrrelser. Forstyrrelse kan f.eks. ske i form af harmoniske strømme på nettet, elektrostatisk udladning, hurtige spændingsudsving eller højfrekvent forstyrrelse. I praksis kaldes harmoniske strømme på nettet ofte for nettilbagevirkninger, harmoniske overtoner eller harmoniske svingninger.

Koblingsmekanismer mellem elektriske kredsløb

Du undrer dig måske over, hvordan forstyrrelser overføres. Da det er en form for elektromagnetisk emission, kan forstyrrelse i korte træk overføres via ledere, elektriske felter eller elektromagnetiske bølger. I tekniske termer kaldes dette ledende, kapacitive og/eller induktive koblinger eller udstråling, hvilket betyder, at der sker en interaktion mellem forskellige kredsløb, hvor den elektromagnetiske energi ledes fra et kredsløb til et andet.

Ledende kobling

Ledende kobling finder sted, når to eller flere elektriske kredsløb tilsluttes hinanden med leder, som f.eks. et potentialeudligningskabel.

Kapacitiv kobling

Kapacitiv kobling opstår pga. spændingsforskelle mellem kredsløbene. Induktiv kobling opstår mellem to strømførende ledere.

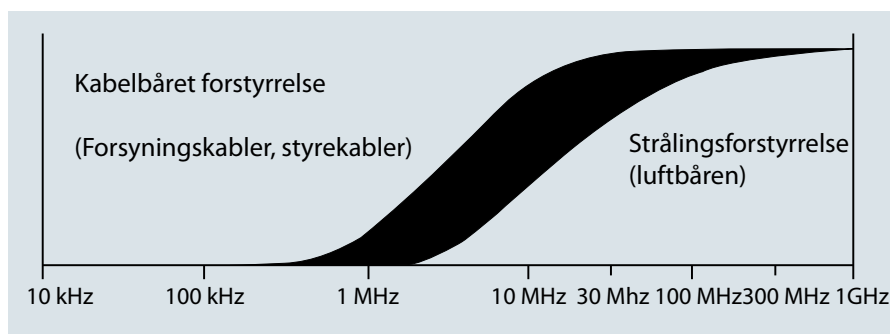
Udstråling

Udstråling opstår, når modtageren af forstyrrelsen er placeret i af et elektromagnetisk felt, som genereres af en forstyrrelseskilde.

I forbindelse med elektromagnetisk analyse angiver standarden 30 MHz som grænsen mellem ledende kobling og strålingskobling. Dette

svarer til en bølgelængde på 10 meter. Under denne frekvens forplanter elektromagnetisk forstyrrelse sig hovedsageligt gennem ledere eller kobles via elektriske eller magnetiske felter. Over 30 MHz fungerer ledninger og kabler som antenner, der udsender elektromagnetiske bølger.

Diffusionsveje for forstyrrelser



Elektromagnetisk forstyrrelse optræder over hele frekvensområdet, men forplantningsveje og diffusionsformer varierer.

Udstyr som genererer forstyrrelser:

Omkoblingskredsløb
Effekt konvertere (UPS anlæg)
Frekvensomformere
Tændingssystemer
Radiotelefoner
Mobiltelefoner
Computere
"Switch Mode" strømforsyninger

Interferens kobling
f.eks. kapacitive,
induktive eller
elektromagnetiske

Udstyr som kan blive påvirket:

f.eks.:
Kontrolsystemer
Effekt konvertere (UPS anlæg)
Frekvensomformere
Generelle radio-modtagelsessystemer
Mobiltelefoner
Data-/telefontransmissionsledninger

Oversigt over koblingsveje for elektromagnetisk forstyrrelse og typiske eksempler

Frekvensomformere og EMC

Lavfrekvent effekt (konduktiv) → Netforstyrrelse/harmoniske svingninger
Højfrekvent effekt (stråling) → Radiofrekvensstøj (emission fra elektromagnetiske felter)

Praktiske aspekter vedrørende kvaliteten af netforsyningsspænding

Lavfrekvent netforvrængning

Udsatte forsyningsnetværk

Netspændingen, der leveres af el-selskaber til private hjem, virksomheder og industrien, burde være en ensartet sinusformet spænding med konstant amplitude og frekvens. Denne ideelle situation er ikke længere aktuel i de offentlige forsyningsnet. Dette skyldes til dels belastninger, som trækker ikke-sinusformede strømme fra netforsyningen. Komponenter som typisk har uliniær strømtræk er f.eks. computere, tv-apparater, skiftende strømforsyninger, lavenergipærer, UPS anlæg og frekvensomformere. Kvaliteten af netforsyningen falder yderligere i fremtiden pga. det europæiske energinetværk, større udnyttelse af forsyningsnettet og færre investeringer. Afvigelser fra den ideelle sinusformede bølge kan derfor ikke undgås og tillades inden for visse grænser.

Ved projektering har de involverede parter en forpligtigelse til at holde netforvrængning på et minimum. Men hvad er grænserne, og hvem fastsætter dem?

Sådan opstår netforvrængning

Forvrængning af sinusformede bølger i netforsyningen, der forårsages af pulserende indgangsstrømme fra de tilsluttede belastninger, kaldes det harmoniske indhold og som afledes af Fourier-analysen, op til 2,5 kHz, hvilket svarer til den 50. harmoniske strøm i netforsyningens frekvens.

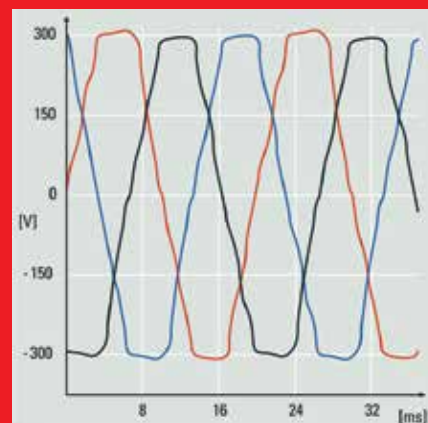
Indgangsensretterne og kondensatorerne i frekvensomformere

Kvalitetssikret i henhold til lovmæssige bestemmelser

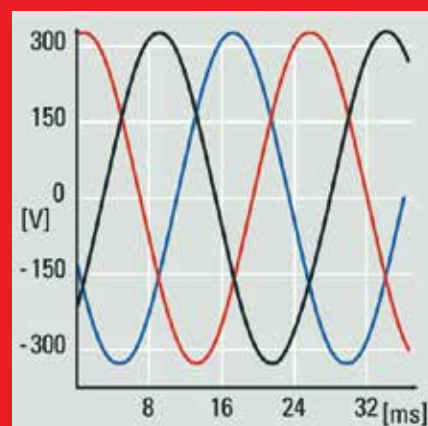
Standarder, direktiver og bestemmelser er nyttige i enhver diskussion vedrørende ren netforsyning af høj kvalitet. I det meste af Europa er basis for den objektive vurdering af netforsyningens kvalitet, loven om elektromagnetisk kompatibilitet. De europæiske standarder EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 og EN 50160 definerer det spændingskvalitetsniveau, som skal overholdes for offentlige og industrielle forsyningsnet.

Standarderne EN 61000-3-2 og 61000-3-12 udgør bestemmelserne vedrørende netforvrængning, der genereres af tilsluttede apparater. Ved projektering skal der også tages hensyn til EN 50178 og tilslutningsforholdene for el-selskaberne i deres overordnede analyse. Den grundlæggende betragtning er, at overholdelse af disse niveauer der sikrer, at alle apparater og systemer, er tilsluttet elektriske forsyningsnet, uden problemer opfylder deres tiltænkte formål.

genererer denne form for harmonisk forvrængning på netforsyningen. Når frekvensomformere tilsluttes 3-faset 50 Hz-netforsyning, tages alle harmoniske strømme i betragtning, men de største er den 5. harmoniske (250 Hz), den 7. harmoniske (350 Hz) og den 11. harmoniske (550 Hz). Det samlede harmoniske indhold kaldes også den totale harmoniske forvrængning (THD).



Målingerne viser udtalt forvrængning i netspændingens bølgeform pga. forstyrrelser fra ikke-lineære belastninger.



Denne ideelle situation for en sinusformet netspænding findes sjældent i vores forsyningsnet i dag.

Praktiske aspekter vedrørende lavfrekvent netforvrængning

Analyse af netforvrængning

For at undgå for stor forringelse af netforsyningens kvalitet kan der anvendes en række metoder til reduktion, forebyggelse og kompensation med systemer, som genererer harmonisk strømme. Analyseprogrammer til netforsyning, som f.eks. softwaren VLT® MCT 31 Harmonic Calculation, kan anvendes til systemanalyse allerede i designfasen. På denne måde kan operatører på forhånd tage hensyn til og teste specifikke forholdsregler og sikre systemets efterfølgende tilgængelighed.

Bemærk: Danfoss har en meget stor viden inden for harmonisk netforvrængning og mange års erfaring på dette område. Vi kommunikerer denne erfaring til vores kunder med kurser, seminarer og workshops.

Bemærk: For stort harmonisk indhold belaster andre komponenter og kan ødelægge dem. Af denne årsag bør de udstyres og/eller der installeres passive eller aktive komponenter for reduktion af de harmoniske strømme.



VLT® MCT 31 beregner de harmoniske strømme og spændingsforvrængning for din applikation og vurderer, om harmonisk filtrering er nødvendig. Desuden er softwaren i stand til at beregne effekten af tilføjelsen af harmonisk reduktion, og om dit system overholder diverse standarder.

Effekt af netforvrængning

Harmoniske strømme og spændingsforvrængning er to former for lavfrekvente, kabelbårne netforvrængninger. De har forskellige udseende ved oprindelsepunktet i forhold til alle andre punkter i netforsyningssystemet, transformere, skinner og kabel installation, kondensatorer, anden belastning og anden harmoniske belastninger når netforvrængning skal beregnes. Effekten af et forhøjet harmonisk strømindhold er beskrevet nedenfor.

- Unøjagtige spændingsmålinger pga. forvrængning af den sinusformede netspænding.
- Forøger belastning af transformere og kabler.

Større tab

- Harmoniske svingninger giver en øget belastning af transformeren.
- Kortere levetid for komponenter, f.eks. som resultat af yderligere varmepåvirkninger pga. for stor spændingsforvrængning.

- Funktionsfejl eller beskadigelse af elektriske eller elektroniske komponenter (f.eks. i form af summen i andre apparater). I værste fald ødelæggelse af apparatet.
- For at måle spændinger og strømme skal der anvendes måleinstrumenter for RMS målinger ellers bliver målinger forkerte.

Findes der frekvensomformere, der er fri for netforvrængning?

Alle frekvensomformere genererer netforvrængning. Den aktuelle standard tager dog kun hensyn til frekvensområdet fra 0 til 2,5 kHz. Af denne årsag flytter visse producenter netforvrængningen til området mellem 2,5 til 150 kHz som ikke er omfattet af nogle standard og markedsfører dem som komponenter som er "fri for netforvrængning", men netforvrængning vil stadig være til stede, men på en højere frekvens. Standard er under overvejelse og niveauet vil sandsynligvis følge andre standarder.

Praktiske aspekter ved reduktion af netforvrængning

Løsninger til reduktion af netforvrængning

Generelt kan netforvrængning fra elektroniske effektstyringer reduceres ved at begrænse amplituden for pulserende strøm. Dette forbedrer effektfaktoren. For at undgå for stor forringelse af netforsyningens kvalitet kan der anvendes en række metoder til reduktion af komponenter, som genererer harmoniske netforvrængninger.

- AC-spoler i indgangen eller DC-spoler indbygget i frekvensomformers mellemkreds
- Smal mellemkreds
- 12, 18 eller 24 puls ensretning
- Passive filtre
- Aktive filtre
- Active Front End og Low Harmonic Drives

Harmoniske spoler som AC- eller DC-spoler

Selv simple spoler kan effektivt reducere mængden af harmonisk forvrængning i netforsyningen. Producenter af frekvensomformere tilbyder dem ofte som tilvalgsmuligheder eller eftermontering.

Spolerne kan tilsluttes foran frekvensomformeren (på indgangssiden) eller i mellemkredsen efter ensretteren. Da induktansen har den samme effekt begge steder, er dæmpningen af netforvrængning ikke afhængig af, hvor spolen installeres.

Hver løsning har både fordele og ulemper. Indgangsspoler (AC-spoler) koster mere, er større og genererer større tab end spoler indbygget efter ensretteren. (DC-spoler). Fordelen er, at de også beskytter ensretteren mod nettransienter. DC-spoler placeres i mellemkredsen. De er mere effektive, men de kan normalt ikke eftermonteres. Med disse spoler kan den samlede harmoniske forvrængning ved en 6-puls ensretter fra en THDi på 80 % uden spoler reduceres til ca. 40 %. Spoler med en U_k på 4 % har vist sig at være effektive til brug i frekvens-

omformere. Yderligere reduktion kan kun opnås med særligt tilpassede filtre.

Ensretter med 12, 18 eller 24 pulser

Ensretterkredsløb med et højt antal pulser pr. cyklus (12, 18 eller 24) genererer mindre harmoniske forvrængninger. Denne løsning bliver sommetider foretrukket i højeffektapplikationer.

De skal dog forsynes fra særlige transformere med sekundære viklinger med flere faseforskydninger, som leverer den nødvendige effekt til ensretterne. Foruden kompleksiteten og størrelsen på den særlige transformer omfatter ulemperne ved denne teknologi større investeringsomkostninger for transformeren og frekvensomformeren.

Passive filtre

I forbindelse med krav til harmonisk forvrængning, er det muligt at anvende passive harmoniske filtre som løsning. De består af passive komponenter, som f.eks. spoler og kondensatorer.

LC-kredsløb, som er særligt optimeret til de individuelle harmoniske frekvenser og serieforbindes med belastningen, reducerer den totale harmoniske forvrængning (THDi) ved netforsyningsindgangen til 10 % eller 5 %. For at opnå de bedst mulige resultater med et harmonisk filter skal

de tilpasses til den indgangsstrøm, der i realiteten trækkes fra frekvensomformeren.

Passive harmoniske filtre installeres før en frekvensomformer eller en gruppe af frekvensomformere.

Fordele ved passive filtre

Denne type filtre byder på et fordelagtigt forhold mellem pris og ydelse. Til en relativt lav pris kan der opnås en reduktion i mængden af harmoniske svingninger sammenlignet med det, der er muligt for ensrettere med 12 eller 18 pulser. Den totale harmoniske forvrængning (THDi) kan reduceres til 5 %.

Passive filtre genererer ikke forvrængninger i frekvensområdet over 2,5 kHz. Da de udelukkende består af passive komponenter, er der ingen slitage, og de er immune over for elektriske forstyrrelser og mekaniske belastninger.

Ulemper ved passive filtre

På grund af deres design er passive filtre relativt store og tunge. Filtre af denne type er meget effektive i belastningsområdet 40-100 %. Den kapacitive, reaktive effekt øges med reduktion af belastningen, og det anbefales, at filterets kondensator deaktiveres ved drift uden belastning.

Bemærk: Danfoss VLT-frekvensomformere er typisk udstyret med DC-spoler. De reducerer netforvrængninger til max THDi på 40 %.



Praktiske aspekter ved reduktion af netforvrængninger

Aktive filtre

Når der stilles endnu strengere krav til reduktion af harmonisk netforvrængninger, anvendes der aktive, elektroniske filtre. Aktive filtre er elektroniske absorptionskredsløb, som tilsluttes parallelt med de harmoniske generatore. De analyserer den harmoniske strøm, der genereres af den ikke-lineære belastning og leverer en forskydende kompensationsstrøm. Denne strøm kan næsten neutralisere den tilsvarende harmoniske strøm ved tilslutningspunktet.

Kompenseringen kan justeres. På denne måde kan der næsten fuldt ud kompenseres for harmoniske forvrængninger, hvis det ønskes, eller (måske af økonomiske årsager) blot i det omfang, det er nødvendigt, for, at systemet overholder de lovmæssige grænseværdier.

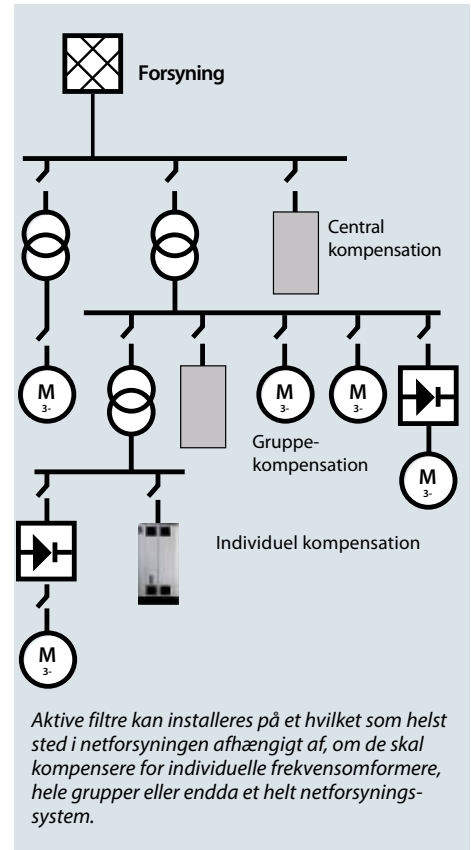
Her skal der igen tages hensyn til, at aktive filtre arbejder med klokfrekvenser og producerer netforvrængninger i området fra 4 til 18 kHz.

Fordele ved aktive filtre

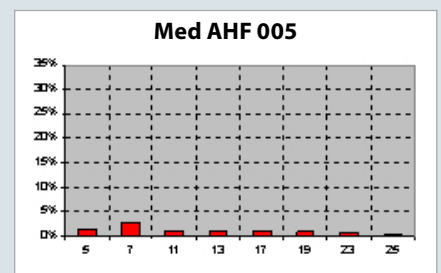
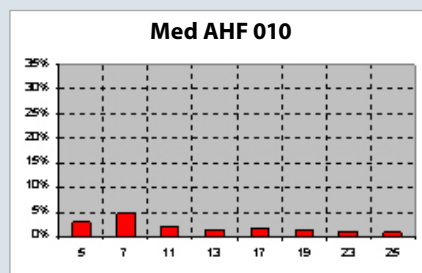
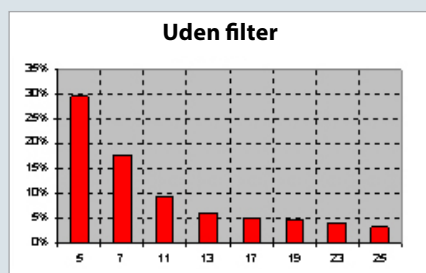
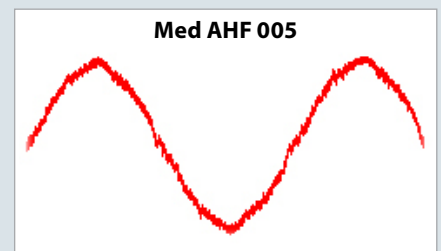
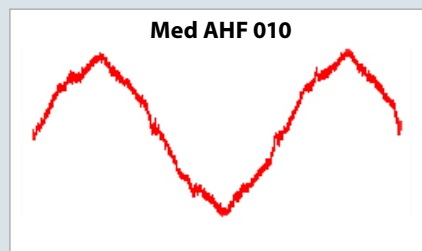
Aktive filtre kan installeres på et hvilket som helst sted i netforsyningen som en central foranstaltning, afhængigt af om der ønskes at kompensere for enkelte frekvensomformere, hele grupper eller endda et helt distributionssystem. Det er ikke nødvendigt at have et separat filter for hver enkelt frekvensomformer. Den samlede harmoniske forvrængning falder til et THDi-niveau på $\leq 4\%$.

Ulemper ved aktive filtre

En ulempe er de relativt høje investeringsomkostninger. For de forskellige udbydere af aktive filtre kan der være forskel på hvilke harmoniske strømme de kompenserer. Harmoniske strømme over 2.5 kHz, som eventuelt genereres af det aktive filter, skal også tages med ved valg af aktiv filter, således at netforsyningens forvrængning bliver så lav som muligt.



Strøm- og forvrængningsspektrum ved fuld belastning

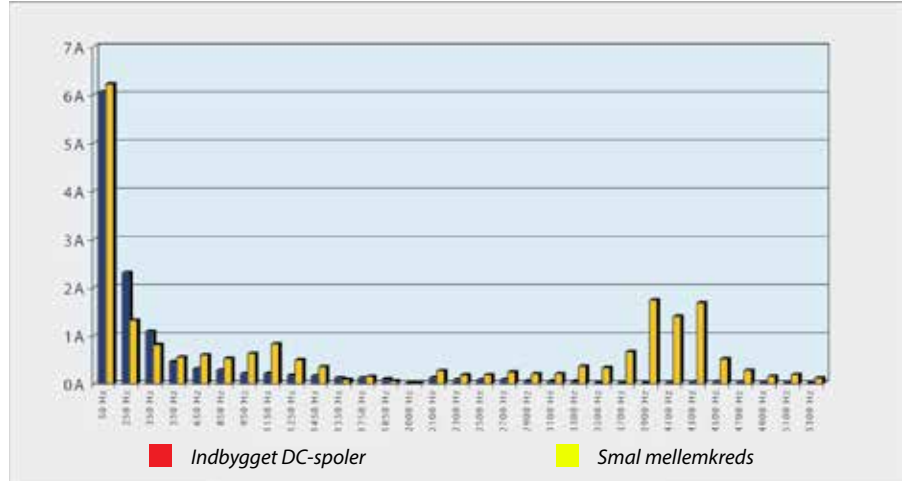


Avancerede passive harmoniske filtre (AHF) reducerer den samlede harmoniske strømforvrængning til 5 % eller 10 % ved en belastning på 100 %.

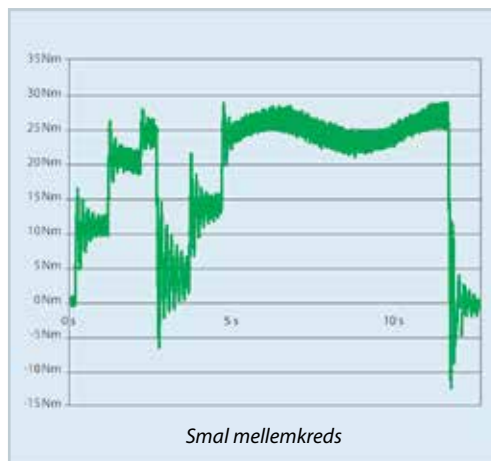
Smal mellemkreds

De seneste år har medført en øget tilgængelighed af frekvensomformere med en "smal mellemkreds". Med en smal mellemkreds reducerer producenten kondensatorernes kapacitans i mellemkredsen i frekvensomformeren. Selv uden en spole reducerer dette den 5. harmoniske strøm til et THDi-niveau på under 40 %. Dette forårsager dog netforstyrrelse i det høje frekvensområde, som ellers ikke optræder.

På grund af det brede frekvensspektrum, der bruges af apparater med smal mellemkreds, er der større risiko for resonans med andre komponenter, som lysstofrør og transformere, tilsluttet netforsyningen. Etablering af passende foranstaltninger er både vanskeligt og tidskrævende. Desuden har frekvensomformere med smal mellemkreds svagheder på belastningssiden. Med omformere af denne type resulterer belastningsvariationer i betydeligt større spændingsvariationer. De er derfor mere tilbøjelige til at oscillere på grund af belastningsvariationer på motorakslen. Belastningsfordeling er også vanskeligt. Ved belastningsfordeling fungerer motoren som en generator med høje spidsspændinger. Resultatet er, at apparater med smal mellemkreds lukker hurtigere ned end traditionelle frekvensomformere for at beskytte mod overbelastning eller overspænding. På grund af den lave eller ikke eksisterende kapacitans er frekvensomformere med smal mellemkreds ikke gode til at håndtere afbrydelse af netforsyningen. Som tommelfingerregel kan man sige, at en smal mellemkreds har ca. 10 % kapacitans sammenlignet med indbygget DC-spole. Foruden netforstyrrelse forårsaget af indgangsstrømmen forurener omformere med smal mellemkreds netforsyningen med switchfrekvensen fra vekselretteren på motorsiden. Dette ses tydeligt på netforsyningssiden på grund af mellemkredsens lave eller ikke eksisterende kapacitans.



Omformere med smal mellemkreds genererer højere harmoniske niveauer, især i de højere frekvensområder.



Disse kredsløb anvender halvlederapparater med hurtigt skiftende egenskaber til at tvinge indgangsstrømmen til at være omtrent sinusformet, og de er meget effektive til at dæmpe lavfrekvent netforstyrrelse. Tilsvarende frekvensomformere med smal mellemkreds genererer netforstyrrelse i det høje frekvensområde.

Active Front End

Betegnelsen Low Harmonic Drives (LHD) bruges ofte, når man beskriver Active Front End (AFE)-frekvensomformere. Det er dog lidt misvisende, eftersom betegnelsen Low Harmonic Drives omfatter mange

forskellige teknologier og både passiv og aktiv dæmpning.

Active Front End frekvensomformere har IGBT-afbrydere på frekvensomformerens indgangskredsløb, der erstatter traditionelle ensrettere.

En Active Front End er den dyreste løsning til at reducere netforvrængninger, da det resulterer i en supplerende, komplet frekvensomformer, som er i stand til at føre effekt tilbage i netforsyningen. Valgmuligheden Low Harmonic Drive omfatter ikke denne egenskab og er derfor en billigere løsning.

Praktiske aspekter ved reduktion af netforvrængninger

Fordele ved AFE (Active Front End)

Den totale harmoniske forvrængning falder til et THDi-niveau på <4 % i området mellem 3. og 50. harmoniske. Firkvadrant-drift er mulig med AFE-omformere, hvilket betyder, at bremseeffekten fra motoren kan ledes tilbage i netforsyningen.

Ulemper ved AFE

Frekvensomformerens tekniske kompleksitet er meget høj, hvilket medfører meget høje investeringsomkostninger. I princippet består AFE-omformeren af to frekvensomformere, hvor én af dem leverer strøm til motoren og den anden til netforsyningen. På grund af den højere kredsløbskompleksitet er frekvensomformerens effektivitet lavere under motordrift.

En AFE-omformer skal altid bruge en højere mellemkredsspænding for at fungere korrekt. I mange

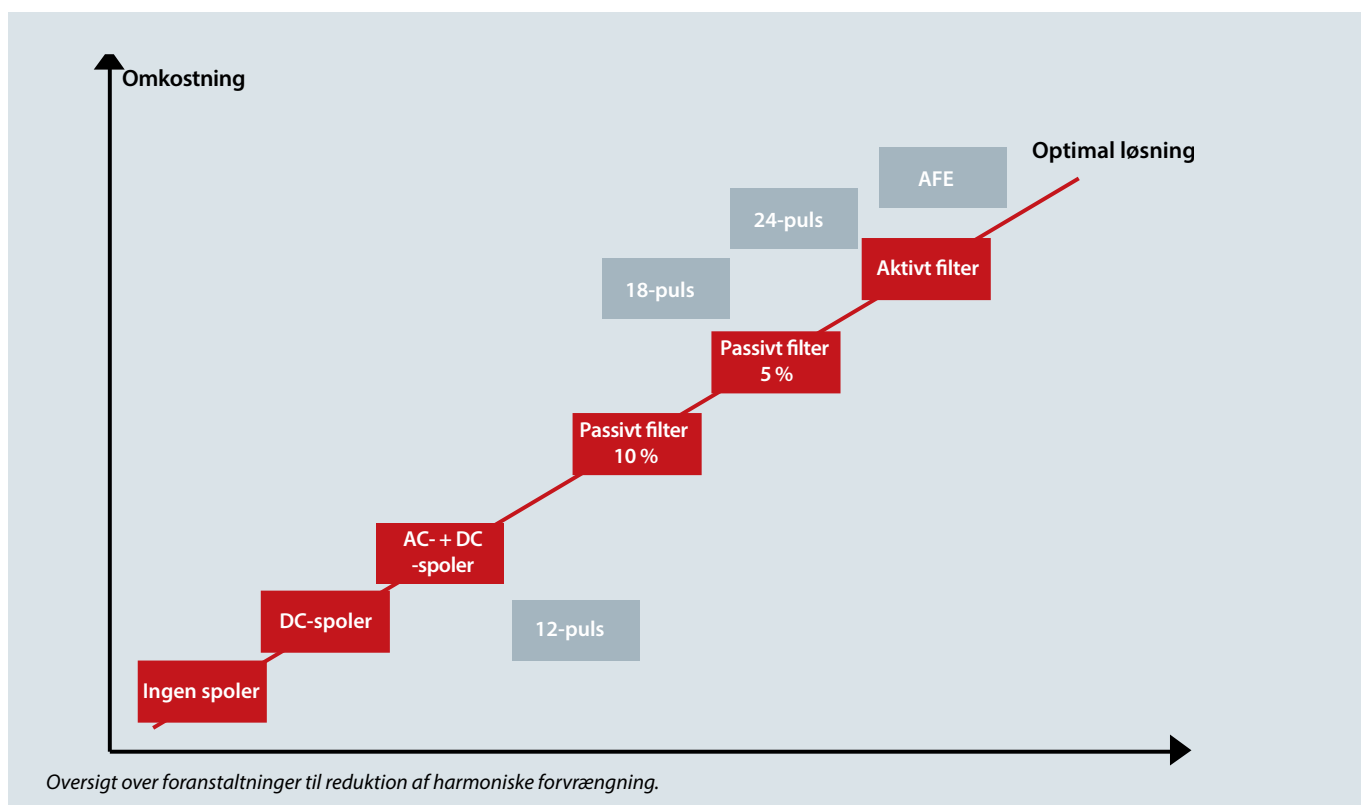
tilfælde føres den højere spænding videre til motoren, hvilket betyder, at motorisoleringen belastes yderligere. Hvis mellemkredsen i AFE-omformeren ikke holdes adskilt, vil fejl i filter påvirke hele frekvensomformeren.

Effekttabet kan være op til 40-50 % større end for frekvensomformer med ensrettere, der ikke styres. En anden ulempe er klokfrekvensen, der anvendes af komponenterne til korrektion af indgangsstrøm. Den ligger i området mellem 3 og 6 kHz.

Gode (og relativt komplekse) frekvensomformerer filtrerer den klokfrekvens fra, inden strømmen leveres til netforsyningen. De aktuelt gældende standarder og love omfatter ikke dette frekvensområde. Aktuelt tilgængelige analyseapparater til netforsyning registrerer normalt ikke data for dette frekvensområde, og effekten kan derfor ikke måles.

Effekten kan dog ses i alle apparater, der fungerer på den berørte netforsyning, som f.eks. i form af øget indgangsstrøm. Ulemperne har været stigende i de senere år. Derfor skal operatører specifikt spørge producenterne vedrørende emissionsniveauer og modforanstaltninger i forhold til driftspålideligheden for deres egne applikationer.

Bemærk: Der er intet, som angiver, at apparater til serieproduktion skal overholde grænseværdierne, som er defineret i EN 61000-3-12. Det er muligt, at en frekvensomformer alene overholder disse grænseværdier, når den kombineres med et ekstra filter.



Praktiske aspekter ved højfrekvent forstyrrelse (RFI)

Radio højfrekvente forstyrrelser

Frekvensomformere genererer variable, frekvenser ved tilsvarende motorspændinger pga. rektangulære strømpulser med variabel bredde. De stejle pulsflanker indeholder højfrekvente komponenter. Motorkabler og frekvensomformere giver udstråling og leder dem ind i netforsyningen med kablet.

Producenterne anvender filtre til radiofrekvensforstyrrelse (RFI) (også kaldet netforsyningsfiltre eller EMC-filtre) til at reducere graden af denne type forstyrrelse på netforsyningen.

De har til formål at beskytte apparater mod kabelbåret højfrekvent forstyrrelse (støjmunitet) og reducere mængden af højfrekvent forstyrrelse,

som udsendes af et apparat over forsyningskablet eller i form af udstråling fra forsyningskablet.

Filtrene er beregnet til at begrænse emissionerne af denne forstyrrelse til et lovbestemt niveau, hvilket betyder, at de skal monteres i udstyret i det omfang, det er muligt.

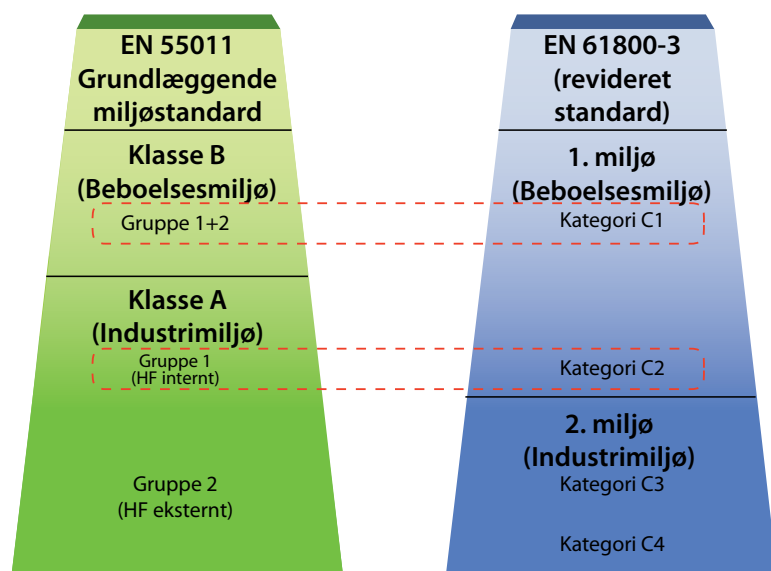
Specifikke grænser for niveauer er defineret i produktstandarden EN 61800-3 og den generelle standard EN 55011.

Standarder og direktiver definerer grænserne

To standarder skal overholdes i forbindelse med den omfattende vurdering af radiofrekvensforstyrrelse. Den første er basis standarden EN 55011, som definerer grænserne i henhold til det generelle miljø: enten industri (klasse A1 og A2) eller beboelse (klasse B). Desuden definerer produktstandarden EN-61800-3 for elektriske drivsystemer, kategorier (C1 til C4) for apparaters anvendelsesområder.

Selv om de kan sammenlignes med tidligere klasser i forbindelse med grænseværdier, er de omfattet af et bredere anvendelsesområde inden for produktstandarens omfang.

Sammenligning af niveauer



Sammenligning af kategorier C1 til C4, som er defineret i produktstandarden EN 61800-3 og klasserne A og B i basis standarden EN 55011.

Produktstandarden EN 61800-3 (2005-07) for elektriske drivsystemer

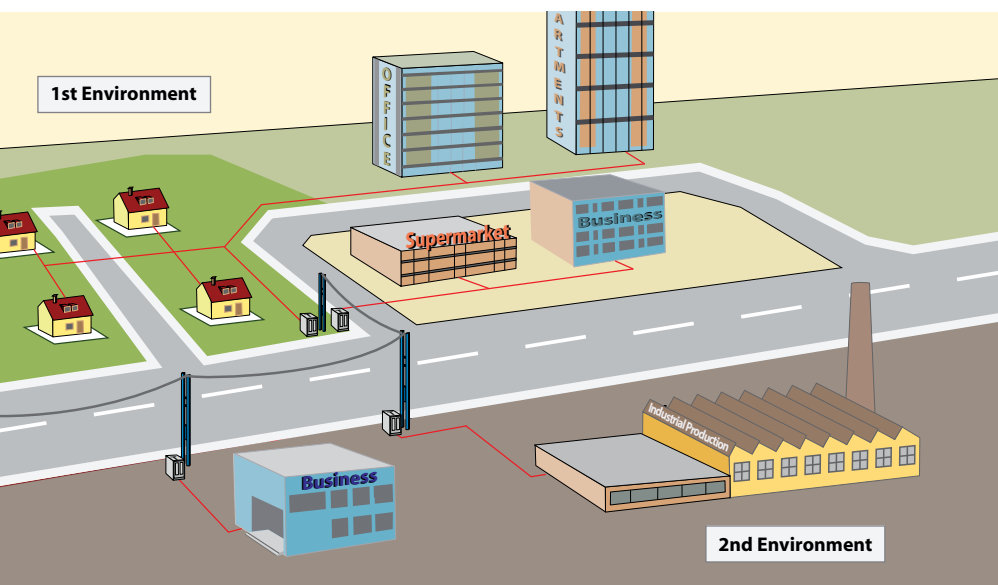
Classification by category	C1	C2	C3	C4
Environment	1st Environment	1st or 2nd Environment (operator decision)	2nd Environment	2nd Environment
Voltage/current	< 1000 V			> 1000 V In > 400 A Connection to IT network
EMC expertise	No requirement	Installation and commissioning by an EMC expert		EMC plan required
Limits according to EN 55011	Class B	Class A1 (plus warning notice)	Class A2 (plus warning notice)	Values exceed Class A2

Klassifikation af kategorier C1 til C4 iht. produktstandarden EN 61800-3

Bemærk:

Installationen skal overholde EN 55011. Frekvensomformere skal overholde EN 61800-3.

Praktiske aspekter ved 1. og 2. environment



Klassifikation i 1. og 2. environment.

Driftsstedet er den afgørende faktor

Grænserne for hvert miljø er angivet i den tilsvarende standard, men hvordan tildeles apparaterne til de forskellige områder? Her er det igen standarderne EN 55011 og EN 61800-3, der indeholder oplysningerne om elektriske drivsystemer og -komponenter.

1. environment/Klasse B: Beboelsesmiljø

Alle driftssteder, som er forbundet direkte til offentlige lavspændingsforsyningsnet, herunder let industri, er klassificeret som miljøer til beboelse eller virksomheder og

erhverv. De har ikke egen transformator, men er tilsluttet en fælles transformator med andre brugere.

Områdeklassifikationen gælder både i og uden for bygningerne. Nogle eksempler kan være erhvervsområder, beboelse, beboelsesområder, restauranter og virksomheder beskæftiget med fritidsaktiviteter, parkeringsanlæg eller faciliteter til underholdning og sport.

2. environment/Klasse A: Industrimiljø

Industrimiljøer er driftssteder, som ikke er tilsluttet direkte til den offentlige lavspændingsnetforsyning, men som i stedet har sine egne

transformere til distribution af højspænding og mellemspænding. Disse virksomheder er karakteriseret af specifikke elektromagnetiske forhold:

- tilstedeværelsen af videnskabelige, medicinske eller industrielle apparater,
- kobling af store induktive og capacitive belastninger,
- forekomst af stærke magnetiske felter (f.eks. pga. stærkstrøm).

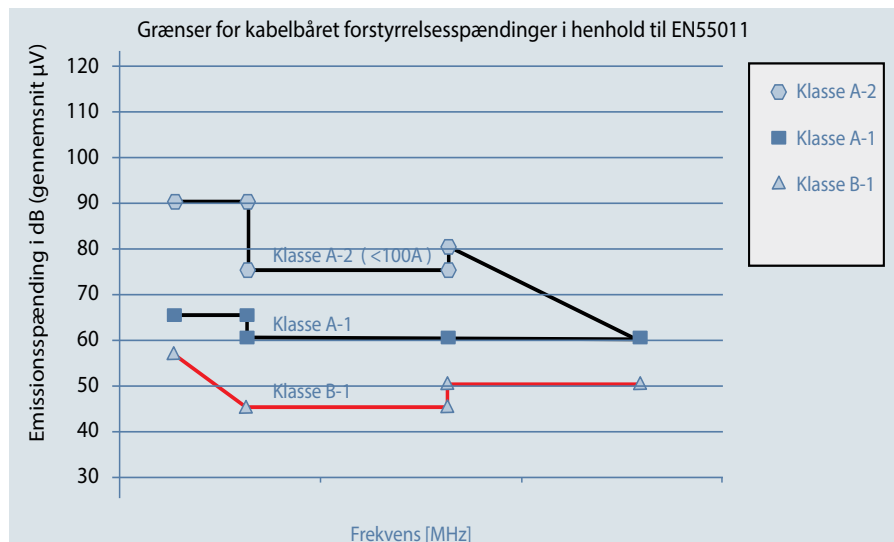
Områdeklassifikationen gælder både i og uden for bygningerne.

Særlige miljøer

Her kan brugerne afgøre, hvilken type miljø deres anlæg skal klassificeres efter. Dette forudsætter, at området har sin egen mellemspændingstransformer og er klart afgrænset fra andre områder. I dette område er brugeren personligt ansvarlig for at sikre den nødvendige elektromagnetiske kompatibilitet til problemfri drift af alle apparater under bestemte forhold. Visse eksempler på særlige miljøer omfatter butikcentre, supermarkeder, tankstationer, kontorbygninger og lagerbygninger.

Ingen kompromis

Hvis en frekvensomformer, som ikke overholder kategori C1 anvendes, skal apparatet udstyres med en advarsel. Dette ansvar påhviler brugeren eller operatøren. I tilfælde af forstyrrelse vil eksperter altid basere forstyrrelseseliminering på grænserne for klasserne A1/A2 og B i den generelle standard EN 55011 i henhold til klassifikationsområdet. Omkostningerne til afhjælpning af EMC-problemer afholdes af operatøren. Brugeren er i sidste ende ansvarlig for den passende klassifikation af apparater i henhold til disse to standarder.



Praktiske aspekter ved beskyttelsesforanstaltninger af netforsyning

Effektfaktorkorrektion

Udstyr til effektfaktorkorrektion har til hensigt at reducere faseforskydningen (φ) mellem spændingen og strømmen og flytter effektfaktoren tættere på ensartethed ($\cos \varphi$). Dette er nødvendigt, når et stort antal induktive belastninger, som f.eks. motorer eller lysrørsbelastninger, anvendes i et elektrisk distributionssystem. Afhængigt af designet af de anvendte harmoniske spoler trækker frekvensomformerne ikke reaktiv effekt fra netforsyningen eller genererer faseforskydning. Frekvensomformeren har en $\cos \varphi$ på ca. 1. Af denne grund skal der ikke tages hensyn til de motorer som er forsynet med en frekvensomformer, når der dimensioneres udstyr til den effektfaktorkorrektion, som måtte være nødvendig. Strømmen, der trækkes af udstyret til fasekorrektion, stiger, fordi frekvensomformere genererer harmoniske forstyrrelser. Belastningen på kondensatorerne stiger i takt med et stigende antal harmoniske strømme, og bliver yderligere opvarmet. På grund af dette skal der monteres spoler i udstyret til effektfaktor korrektion. Disse spoler forhindrer ligeledes resonans mellem belastningsinduktans og kapacitans fra udstyr til effektfaktor korrektion. Frekvensomformere med $\cos \varphi < 1$ kræver også spoler til effektfaktor

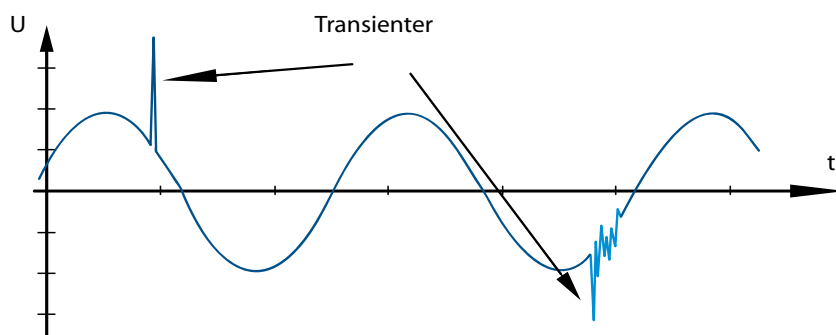
korrektion. Brugeren skal tage hensyn til de højere reaktive effektniveauer, når kablerne dimensioneres.

Nettransienter

Transienter er kortvarige spændingsstigninger på ca. et par tusinde volt. De kan opstå i alle typer forsyningsnet og både i industri- og beboelsesmiljøer.

Lynnedslag er en typisk årsag til transienter. De forårsages dog også ved ind-, eller udkobling af belastninger eller kobling af andet udstyr, som f.eks. udstyr til kondensatoranlæg. Kortslutninger, trip af afbrydere og induktiv kobling mellem parallelkabler kan også forårsage transienter.

Standarden EN 61000-4-1 beskriver disse transienters former og den mængde energi, de indeholder. Deres skadelige effekt kan begrænses vha. forskellige metoder. Gasfyldte overspændingssikringer og gnistgab anvendes som primær beskyttelse mod højenergitransienter. Som sekundær beskyttelse i de fleste elektroniske apparater anvendes spændingsafhængige modstande (varistorer) til at dæmpe transienterne. Denne metode anvendes også i frekvensomformere.



Lynnedslag er den mest hyppige årsag til nettransienter i anlæg til vand- og spildevandsbehandling.



Praktiske aspekter vedrørende drift med transformer eller nødstrømsgenerator

Maksimal transformerudnyttelse

I lavspændingssystemer (400 V, 500 V og 690 V) kan der anvendes hastighedsstyrede frekvensomformere med en nominel ydelse på op til ca. 1 MW. En transformer konverterer spændingen fra mellemspændingsnettet til den nødvendige spænding. I offentlige forsyningsnet (1. Environment: beboelsesmiljø) er dette elskelskabets ansvar.

I industrielle netforsyninger (2. Environment: industrimiljø, 400 V eller 690 V) er transformeren placeret på brugerens grund, og det er brugeren selv som er ansvarlig.

Transformerbelastning

I tilfælde hvor transformere leverer strøm til frekvensomformere, skal det bemærkes, at brugeren af frekvensomformere og andre ensretterbelastninger forårsager generering af harmoniske forstyrrelser, som resulterer i en yderligere effektbelastning af transformeren.

Resultatet bliver større tab og yderligere opvarmning af transformeren. I værste tilfælde kan dette medføre ødelæggelse af transformeren. Intelligente vektorgrupper (flere forbundne transformere) kan også under særlige forhold generere harmoniske forstyrrelser.

Strømkvalitet

For at sikre, at kvaliteten af netforsyningsstrømmen er i overensstemmelse med de gældende standarder, skal frekvensomformerbelastningen være kendt, for at vurdere om transformeren kan klare denne belastning. Programmer til analyse af netforsyning giver en indikation af, hvor stor frekvensomformerbelastning, som transformeren kan forsyne i et specifikt system.

Bemærk: Alle frekvensomformere i serien VLT® AQUA Drive er som standard udstyret med integrerede DC-spoler for at minimere harmoniske netforstyrrelser.

Drift med en nødstrømsgenerator

Man bruger nødstrømsgenerators, når kontinuerlig drift af netforsynede apparater er nødvendig i tilfælde af netfejl. De anvendes også, når den tilgængelige nettilslutning ikke er i stand til at levere tilstrækkelig effekt. Drift, som køres parallelt med det offentlige forsyningsnet, er også en mulighed for at opnå en større netforsyningseffekt.

Når reservestrømmen leveres af en generator, er netforsyningssimpedansen normalt større, end når strømmen leveres fra det offentlige forsyningsnet. Dette betyder, at den totale harmoniske forvrængning øges. Med et korrekt design kan generatorer fungere i et system, der indeholder komponenter som generer harmonisk forstyrrelse.

I praksis betyder dette, at den harmoniske belastning normalt kan forventes at stige, når systemet skifter fra netforsyningsdrift til generatordrift.

Ved dimensionering af applikationer skal der beregnes eller måles den øgede harmoniske belastning for at sikre, at strømkvaliteten overholder bestemmelserne og derved forhindre problemer og fejl på udstyret.

Asymmetrisk belastning af generatoren skal undgås, da det resulterer i øget tab og kan forårsage en stigning i den totale harmoniske forvrængning.

En forskydning på 5/6 af generatorens vikling dæmper 5. og 7. harmoniske, men det gør, at 3. harmoniske stiger. En forskydning på 2/3 reducerer 3. harmoniske. Hvis det er muligt, skal operatøren frakoble udstyr til kondensatoranlæg, da der kan opstå resonans i systemet.

Harmoniske spoler eller aktive absorptionsfiltre kan dæmpe harmoniske forvrængning. Resistive belastninger, som køres parallelt, har også en dæmpende effekt, mens capacitive belastninger, som køres parallelt, skaber en yderligere belastning pga. uforudsigelige resonanspåvirkninger.

Hvis der tages hensyn til disse fænomener, kan et netforsyningssystem, der forsynes af en generator, med et vist antal frekvensomformere stadig opretholde den påkrævede strømkvalitet. En mere nøjagtig analyse er mulig vha. software til netforsyningsanalyse.

I tilfælde af drift med harmoniske forvrængning anbefales følgende grænser:

2 og 6 puls ensrettere	→	maks. 20 % af nominel generatorbelastning
6 puls ensretter med harmonisk AC -, eller DC - spole	→	maks. 20-35 % af nominel generatorbelastning afhængigt af sammensætningen
Styret 6 puls ensretter	→	maks. 10 % af nominel generatorbelastning

Tallene for maksimumbelastning ovenfor er anbefalede, vejledende værdier, som baseret på erfaringer tillader problemfri anlægsdrift.

Trin 2: Praktiske aspekter vedrørende omgivende og miljømæssige forhold

Korrekt installationssted

Maksimal opetid og lang levetid for frekvensomformere i drift kan kun lade sig gøre vha. korrekt køling og ren luft.

Derfor har valget af installationssted og installationsforholdene i mange tilfælde en afgørende effekt på frekvensomformerens levetid.

Tavlemontering kontra vægmontering

Der findes intet entydigt svar på spørgsmålet om, hvorvidt en frekvensomformer bør monteres i en tavle eller på væggen. Begge løsninger har fordele og ulemper.

Tavlemontering har den fordel, at alle elektriske og elektroniske komponenter er placeret tæt på hinanden og er beskyttet af en kapsling (tavlen).

Tavlen leveres også fuldt samlet som en komplet enhed, der blot skal monteres i anlægget.

En ulempe er, at komponenterne kan påvirke hinanden pga. den trange plads i kabinettet, hvilket betyder, at der skal tages særligt hensyn til en EMC rigtigt installation. Desuden er investeringsomkostningerne til skærmede motorkabler større, da tavlen og motoren typisk befinder sig betydeligt længere fra hinanden end ved en lokal installation.

Vægmontering er nemmere at håndtere med hensyn til EMC, da frekvensomformer og motoren befinder sig i den umiddelbare nærhed af hinanden.

Skærmede motorkabler skal ikke være så lange, hvilket medfører betydeligt lavere omkostninger. De lidt større omkostninger forbundet med en frekvensomformer i en vægkapsling opvejes nemt i form af reducerede omkostninger til kabelføring og installation.

Bemærk:

Danfoss frekvensomformere fås i forskellige beskyttelsesklasser:

- IP00 eller IP20 til tavlemontering
- IP54 eller IP55 til lokal montering
- IP66 til kritiske omgivelserforhold, som f.eks. ekstremt høj luftfugtighed eller store koncentrationer af støv eller aggressive gasser.



Frekvensomformere kan installeres centralt (i tavle) eller lokalt (i nærheden af motoren). Begge løsninger har fordele og ulemper.

Praktiske aspekter vedrørende IP-klassificering



Kapslingsklasse IP20 (højre) er beregnet til tavlemontering. Frekvensomformere med kapslingsklasse IP21, IP54 eller IP55 (venstre) er designet til vægmontering.

IP-klassificeringsstruktur i henhold til IEC 60529

		Mod indtrængen af faste fremmedlegemer	Mod adgang til farlige komponenter af
Første ciffer	0	(ikke beskyttet)	(ikke beskyttet)
	1	≥ 50 mm diameter	Håndryggen
	2	12,5 mm diameter	Finger
	3	2,5 mm diameter	Værktøj
	4	≥ 1,0 mm diameter	Ledning
	5	Støvbeskyttet	Ledning
	6	Støvtæt	Ledning
		Mod indtrængen af vand med skadelig virkning	
Andet ciffer	0	(ikke beskyttet)	
	1	Lodrette dråber	
	2	Dråber i en vinkel på 15°	
	3	Sprøjtende vand	
	4	Vandstænk	
	5	Vandstråler	
	6	Kraftige vandstråler	
	7	Midlertidig nedsækning	
	8	Langvarig nedsækning	
		Yderligere oplysninger specifikke for	
Første ciffer	A		Håndryggen
	B		Finger
	C		Værktøj
	D		Ledning
		Yderligere oplysninger specifikke for	
Yderligere bogstav	H	Højspændingsapparat	
	M	Bevægelse af apparat under vandtest	
	S	Stationært apparat under vandtest	
	W	Vejrforhold	

Manglende cifre erstattes af "x".

Praktiske aspekter vedrørende køledesign

Eksterne klimaforhold og omgivelserne har betydelig indvirkning på kølingen af elektriske og elektroniske komponenter i kontrolrum og tavler.

Overensstemmelse med specifikationer for omgivelsestemperatur

Grænseværdierne for maksimum og minimum omgivelsestemperatur er angivet for alle frekvensomformere. Disse grænseværdier afhænger typisk af de elektroniske komponenter, der anvendes. F.eks. skal omgivelsestemperaturen for elektrolytkondensatorerne, der er installeret i mellemkredsen, altid ligge inden for bestemte grænser pga. kondensatorens temperaturafhængighed. Selvom frekvensomformere kan fungere ved temperaturer ned til -10 °C, garanterer producenterne kun korrekt drift ved nominel belastning ved temperaturer på 0 °C eller mere. Dette betyder, at de ikke bør anvendes i områder, som udsættes for frost, som f.eks. uisole-rede rum.

Temperaturen må heller ikke overstige maksimumgrænsen. Elektroniske komponenter er følsomme over for varme.

I henhold til Arrhenius-ligningen vil levetiden for en elektronisk komponent falde med 50 % for hver 10 °C over designtemperaturen, som den bruges ved. Dette er ikke begrænset til apparater, som installeres i tavler. Selvfølgelig i beskyttelsesklasserne IP54, IP55 eller IP66 kan kun bruges inden for den omgivelsestemperatur, der er angivet i manualen. Dette gør, at det til tider er nødvendigt med luftkonditionering i installationsrummet eller tavlerne. Hvis ekstreme omgivelsestemperaturer undgås, forlænges frekvensomformernes levetid og dermed hele applikationens pålidelighed.

Køling

Frekvensomformere afleder effekten i form af varme. Effekttabet i watt er angivet i de tekniske data for frekvensomformeren. Operatørerne skal tage passende forholdsregler for at fjerne den afledte varme fra frekvensomformeren i tavlen ved f.eks. at anvende tavleventilatorer. Den påkrævede luftgennemstrømning er angivet i dokumentationen fra producenten. Frekvensomformere skal monteres, så køleluften strømmer uhindret gennem køleribber.

Ved IP20 kapslingsklasse i tavler er der særlig risiko for utilstrækkelig luftcirkulation pga. den tætte montering af tavlekomponenterne, hvilket forårsager dannelsen af varmelommer. Se manualerne for oplysninger om den korrekte monteringsafstand, som altid skal overholdes.

Relativ luftfugtighed

Selv om visse frekvensomformere kan fungere korrekt ved relativ høj luftfugtighed (Danfoss-frekvensomformere op til 95 % relativ luftfugtighed), skal kondensdannelse altid undgås. Der er særlig stor risiko

for kondens, når frekvensomformeren eller nogle af dens komponenter er koldere end den fugtige omgivende luft. I dette tilfælde kan fugten i luften kondensere på de elektroniske komponenter.

Når apparatet tændes igen, kan vanddråberne forårsage kortslutninger i apparatet. Dette sker typisk kun ved frekvensomformere, der er koblet fra netforsyningen. Derfor kan det anbefales at installere et varmelegeme, hvis der er en mulighed for kondensdannelse pga. omgivelsesforholdene. Alternativt kan drift af frekvensomformeren i standby tilstand (med konstant netforsyningen) bidrage til at reducere risikoen for kondensdannelse. Det skal dog kontrolleres, om effekttabet er tilstrækkeligt til at holde kredsløbet i frekvensomformeren tørt.

Bemærk: Visse producenter angiver en minimum sideafstand samt minimumafstande i toppen og i bunden. Overhold disse specifikationer.

Det intelligente køledesign i VLT®-frekvensomformere fjerner op til 85 - 90% af den afledte varme fra frekvensomformerens kapsling med "Back channel cooling".



Praktiske aspekter vedrørende særlige krav

Omgivelsesparametre	Enhed	Klasse				
		3C1	3C2		3C3	
			Gennemsnitlig værdi	Maks. værdi	Gennemsnitlig værdi	Maks. værdi
Havsalt	mg/m ³	Ingen	Salttåge		Salttåge	
Svovloxider	mg/m ³	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Svovlbrinte	mg/m ³	0,01	0,1	0,5	3,0	10
Klor	mg/m ³	0,01	0,1	0,03	0,3	1,0
Saltsyre	mg/m ³	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Flussyre	mg/m ³	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0
Ammoniak	mg/m ³	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozon	mg/m ³	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Kvælstof	mg/m ³	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Klassificering i henhold til IEC 60721-3-3; gennemsnitlige værdier er forventede værdier på lang sigt. Maksimumværdier er værdier for forbigående stigninger, som ikke optræder i mere end 30 minutter pr. dag.

Aggressiv atmosfære eller gasser

I spildevandsanlæg eller svømmehaller kan der ofte være aggressive gasser, som f.eks. svovlbrinte, klor eller ammoniak.

Forurening af køleluften kan forårsage gradvis nedbrydning af elektroniske komponenter i frekvensomformere. Elektroniske apparater i elektriske systemer eller tavler er særligt modtagelige. Hvis omgivelsesluften forurenes på denne måde installeres frekvensomformeren på et sted, hvor muligheden for forurening sikkert kan udelukkes (i en særskilt bygning, en tæt tavle med en varmeveksler osv.) eller bestille frekvensomformere, hvis

printplader er coatede med en særlig beskyttende coating, som er modstandsdygtig over for aggressive gasser.

Et tydeligt tegn på en aggressiv atmosfære er korrosion af kobber. Hvis det hurtigt bliver mørkt, danner bobler eller endda nedbrydes, skal der anvendes printplader eller frekvensomformere med en beskyttende belægning. Det specifikke medie eller mediekoncentrationer, som en belægning kan modstå, er beskrevet i den internationale standard IEC 60721-3-3.

Bemærk: Det bør overvejes i design- og projektudviklingsfasen, hvor køleluften til elektronisk udstyr skal komme fra.

I et spildevandsanlæg skal indsugning af luft f.eks. undgås fra indløbsområdet, og i forbindelse med svømmehaller bør luften ikke suges ind fra vandrensingsområdet.

Bemærk: VLT® AQUA Drive leveres som standard med klasse 3C2 coating. Ved anmodning er det også muligt at levere med 3C3 coating.



Støveksponering

Installation af frekvensomformere i miljøer med stor støveksponering er ofte uundgåeligt. Denne støv danner aflejringer overalt og trænger gennem selv de mindste revner. Dette påvirker ikke alene lokalt monterede frekvensomformere i kapslingsklasse IP54, IP55 eller IP66, men også tavlemonterede frekvensomformere i kapslingsklasse IP20 eller IP21.

De tre aspekter, der beskrives nedenfor, skal tages med i overvejelserne, når frekvensomformere installeres i sådanne miljøer.

Reduceret køling

Støv danner aflejringer på overfladen der kommer ind i frekvensomformeren på printplader og elektroniske komponenter. Disse aflejringer fungerer som isolerende lag og hæmmer varmeoverførelsen fra komponenterne til omgivelsesluften.

Dette nedsætter kølekapaciteten og komponenterne bliver varmere. Dette medfører accelereret aldring af komponenterne, og levetiden for den berørte frekvensomformer reduceres. Det samme sker, når der dannes støvaflejringer på ventilationskanal på bagsiden af frekvensomformeren.

Køleventilatorer

Luftgennemstrømningen til køling af frekvensomformere skabes af køleventilatorer, som normalt er placeret på bagsiden af apparatet. Ventilatorhjulene har små lejer, som gennemtrænges af støv, hvilket har en slibende effekt. Dette kan medføre ventilatorfejl pga. slitage på lejerne.

Ventilatorfiltre

Frekvensomformer for større effekter er udstyret med køleventilatorer, som blæser køleluft ud i fronten af

frekvensomformeren. Ventilatorerne er udstyret med filtre, som forhindrer indtrængning af støv i frekvensomformeren. Disse filtre bliver hurtigt tilstoppede, når de anvendes i meget støvede miljøer, og ventilatorerne vil ikke længere være i stand til at køle komponenterne i frekvensomformeren tilstrækkeligt.

Bemærk: Under forholdene, som er beskrevet ovenfor, er det tilrådeligt at rengøre frekvensomformeren under periodisk vedligeholdelse. Blæs støvet af ventilationskanal og ventilatorer, og rengør filtrene.

Praktiske aspekter vedrørende potentielt eksplosive atmosfærer

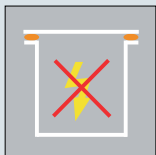
Potentielt eksplosive atmosfærer

Eks. d: Eksplosionssikker beskyttelse



Med antændelsesbeskyttelsesklasse "d" er dette apparat designet til at sikre, at en gnist i et beskyttet område (f.eks. i en kapsling) ikke kan forlade det beskyttede område.

Eks. e: Øget sikkerhed



Med antændelsesbeskyttelsesklasse "e" består beskyttelsen i, at man forhindrer dannelsen af tilstrækkelig energi til at forårsage gnistdannelse.

Bemærk: Installer aldrig en frekvensomformer direkte i et område med en potentiel eksplosiv atmosfære. Den skal installeres uden for dette område. Brug af et sinusfilter ved udgangen på frekvensomformeren anbefales, da det dæmper spændingshyppigheden for stigning af dv/dt og spidsspænding U_{peak} . Det tilsluttede motorkabel skal være så kort som muligt pga. spændingsfaldet i kablet.

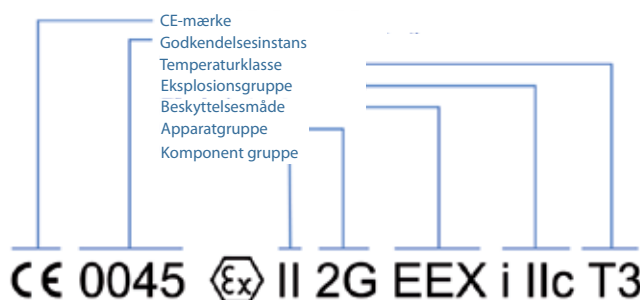
Bemærk: Danfoss VLT® AQUA Drive frekvensomformere med MCB 112-option er PTB-certificeret med termistorer i motorviklingerne i potentielt eksplosive atmosfærer.

Drift af frekvensomformere sker ofte i potentielt eksplosive atmosfærer. Et eksempel på dette kan være indløbsområdet på et spildevandsanlæg. Hvis der anvendes frekvensomformere til hastighedsstyring af motorerne i sådanne områder, skal anlægget opfylde særlige krav. Grundlaget for dette er anført i EU-direktivet 94/9/EF, som også kaldes ATEX-direktivet. Det beskriver brugen og driften af udstyr og beskyttelsesapparater i potentielt eksplosive atmosfærer. Dette direktiv harmoniserer lovgivningen og kravene i hele EU for drift af elektriske og elektroniske apparater i potentielt eksplosive atmosfærer, som f.eks. skyldes støv eller gasser.

Hvis der anvendes frekvensomformere til styring af motorer i potentielt eksplosive atmosfærer, skal disse motorer udstyres med temperaturovervågning vha. en PTC-temperaturløber. Motorer med antændelsesbeskyttelse i klasse "d" eller "e" kan anvendes. Disse beskyttelsesklasser adskiller sig i forhold til måden hvorpå, antændelsen af et eksplosivt medium forhindres. I praksis anvendes frekvensomformere sjældent med motorer i klasse "e". Denne kombination skal godkendes som en enhed, hvilket omfatter udførlige og dyre typetest. PTB i Braunschweig (Tyskland) har lavet en godkendelsesprocedure, som gør brugen af hastighedsstyrede motorer i klasse "e" betydeligt

mere attraktivt. Godkendelsen omfatter kun selve motoren, mens det samtidig definerer de specifikke krav til termisk overvågning i certificeringsprocessen for EC typetest. F.eks. er hastighedsafhængig strømbe-grænsning påkrævet foruden den almindelige PTC termistorovervågning for at håndtere den reducerede køling af selvventilerede motorer med variabel hastighedskontrol.

Selv om dette ikke kræver separat godkendelse af motorer i klasse "d", er indføring af kabler i "d"-området meget kompliceret. Motorer i beskyttelsesklasse "de" er de mest anvendte. I dette tilfælde har selve motoren beskyttelsesklasse "d", mens tilslutningsområdet er i overensstemmelse med beskyttelsesklasse "e". Restriktionen på tilslutningsområde "e" består af maksimumspændingen, som må tilføres til dette område. På grund af pulsbreddemodulation af udgangsspændingen har de fleste frekvensomformere på udgangen spidsspændinger, som overstiger de tilladte grænser for beskyttelse i klasse "e". I praksis har det vist sig, at brug af sinusfiltre ved frekvensomformerens udgang er en effektiv metode til at dæmpe høje spidsspændinger.



Mærkning af apparater for drift i potentielt eksplosive atmosfærer i henhold til ATEX-produktdirektivet (94/9/EF)

Trin 3: Praktiske aspekter vedrørende motorer

Min. virkningsgradsklasser for motorer

Obligatorisk minimum virkningsgrad

Klassifikation af virkningsgrad opstod i 1998 som et resultat af en frivillig indsats fra de europæiske motorfabrikanter i brancheforeningen CEMEP. Fra sommeren 2011 skal trefasede, asynkrone motorer overholde de lovpligtige minimumskrav for effektiv virkningsgrad i EU (MEPS - Minimum Efficiency Performance Standards). EU lovgivningen indeholder mulighed for stadigt strengere krav til motorvirkningsgrad i et planlagt forløb frem til 2017.

Grundlaget for disse minimumskrav for virkningsgradsklasser, som også kaldes MEPS, er udformet ud fra IE klasserne (International Efficiency), som er defineret i IEC 60034-30, og som anerkendes internationalt.

Grænserne for disse klasser er til dels sammenlignelige med Eff klasserne.

IE- og Eff klasser: store forskelle i detaljerne

Selv om grænserne i de to standarder er sammenlignelige, er de forskellige i de underliggende metoder til bestemmelse af virkningsgrad. Virkningsgraden for Eff klasserne er baseret på bestemmelse af individuelle tab (IEC 60034-2:1996), som benyttede en metode, der er 100 år gammel. I kontrast hertil bestemmes virkningsgraden for IE-klasserne vha. en mere præcis metode.

De målte resultater, der indhentes vha. de accepterede metoder for IE klasserne, er typisk 2-3 % ringere end de gamle metoder ved effektniveauer på op til 10 kW og omkring 1 %

ringere ved effektniveauer på 100 kW og derover. Standarderne tager hensyn til disse forskelle i forbindelse med harmoniseringen af IE- og Eff klasserne.

Foruden klasserne IE1 til IE3, som er defineret i standarden IEC 60034-30, omfatter udkastet til IEC 60034-31 den nye klasse IE4. Klasserne IE1 til IE3 omhandler primært motorer med netforsyning, mens IE4 også tager hensyn til aspekter, der er relevante for motorer for variabel hastighed.

IEC 60034-30	Eff-klasser
IE1 (Standard virkningsgrad)	Sammenlignelig med Eff2
IE2 (høj virkningsgrad)	Sammenlignelig med Eff1
IE3 (meget høj virkningsgrad)	Cirka 10-15 % bedre end IE2

Virkningsgradsklasserne IE1-IE3 er defineret i den internationale standard IEC 60034-30. Eff klasserne er baseret på en frivillig aftale mellem EU og CEMEP i 1998.

Berørte trefasede motorer

Overholdelse af MEPS er lovpligtig for følgende typer trefasede motorer:

- Driftscyklus S1 (kontinuerlig drift) eller S3 (intermitterende periodisk drift) med en driftscyklus større end 80 %.
- Motorpoler 2 til 6, nominel effekt 0,75 til 375 kW
- Nominel spænding op til 1.000 V.

Introduktionen af MEPS har til hensigt at bidrage til et reduceret energiforbrug. I sjældne tilfælde kan denne tilgang resultere i et øget energiforbrug. Af denne årsag indeholder EU-bekendtgørelsen 640/2009

teknisk fornuftige undtagelser for diverse anvendelsesområder.

Disse omfatter:

- Motorer i potentielt eksplosive atmosfærer (som angivet i Rådets direktiv 94/9/EF) og bremsemotorer
- Særlige motorer til brug under følgende driftsforhold:
 - omgivelsestemperaturer over 40 °C,
 - omgivelsestemperaturer under 15 °C (0 °C for luftkølede motorer), driftstemperaturer over 400 °C, kølevandstemperaturer under 5 °C eller over 25 °C,
- drift i højder over 1.000 m,

- motorer, der er fuldt integreret i et produkt, som f.eks. gearmotorer, pumper eller ventilatorer, eller som under drift helt er omgivet af et flydende medie (eksempelvis dykpumper).

I Europa anses motoren i en gearmotor ikke som en integreret bestanddel og skal måles separat. En tilsvarende metode anvendes ved specialmotorer. Basismotoren måles, og virkningsgradsklassen overføres til motorvarianter.

Praktiske aspekter vedrørende IE klassificering af motorer

Tidsplan for implementering af MEPS

Tidsplanen i EU bekendtgørelsen giver mulighed for en gradvis forøgelse af kravene for motorvirkningsgrad. Efter de planlagte datoer skal alle trefasede motorer, som er underlagt bekendtgørelsen, overholde kravene for den specificerede virkningsgrads-klasse, hvis de markedsføres i Europa.

IE2 motorer, som forsynes af frekvensomformere, accepteres ligeledes som et MEPS alternativ til den planlagte IE

klasse. Overensstemmelse med klasse IE3 eller alternativet med en IE2 motor og en frekvensomformer.

Ikrafttrædelse	Effekt	MEPS	MEPS-alternativ
16. juni 2011	0,75 – 375 kW	IE2	-
1. januar 2015	0,75 – 7,5 kW		
	7,5 – 375 kW	IE3	IE2 med frekvensomformer
1. januar 2017	0,75 – 375 kW		

Tidsplan for implementering af MEPS

Overensstemmelse med EN 50347 vedrørende specifikationer for monteringsdimensioner

Synkrone, trefasede motorer, som er i overensstemmelse med klasserne IE2 og IE3, er ofte større end motorer med lavere virkningsgrad. Dette kan medføre problemer i forbindelse med udskiftning af ældre motorer.

De fleste IE2 motorer overholder akselhøjderne og monteringsdimensionerne, som er standardiseret i EN

50347, men konstruktionen kan være længere. I mange tilfælde vil mindre 50Hz IE3 motorer med høj virkningsgrad ikke overholde monteringsdimensionerne i EN 50347. Ved udskift-

ning af motorer skal der tages højde for dette og alternativt til IE3 motorer anvende IE2 motorer med en frekvensomformer.

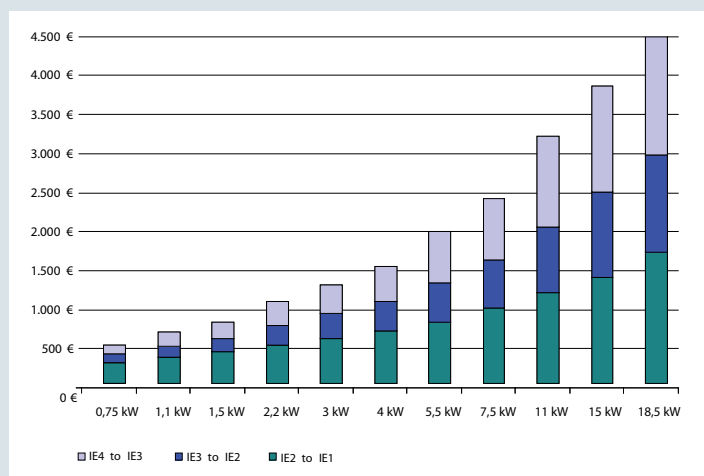
	Motor		
	IE1	IE2	IE3
Akselhøjde (EN 50347)	Ja	Ja	Større
Monteringsdimensioner (EN 50347)	Ja	Ja	Større
Motorlængde	Ja	Længere	Større

Det forventes i øjeblikket, at klasse IE2 og IE3 synkrone, trefasede motorer ikke vil være i stand til at overholde monteringsdimensionerne, som er defineret i EN 50347.

Omkostningseffektivitet

Hvor omkostningseffektive er IE motorer? Den højere effektivitet opnås til dels ved at anvende en større del af aktive materialer i motoren. Afhængigt af motorstørrelsen kan det antages, at en motor med en bedre virkningsgrads-klasse koster ca. 10-20 % mere.

I praksis vil denne meromkostning hurtigt være tjent ind. Diagrammet viser fordelene ved omkostninger til energi for en IE motor sammenlignet med en IE motor i den efterfølgende klasse. Denne forenklede analyse er baseret på kontinuerlig drift ved nominel belastning, 60.000 driftstimer og en elpris på 60 øre pr. kWh.



Fordelen ved omkostninger til energi for en IE motor i forhold til en IE motor i den efterfølgende bedre klasse.

Bemærk: Hele ordlyden af EU bekendtgørelsen kan downloades gratis på webstedet www.eur-lex.europa.eu.

Praktiske aspekter vedrørende EC og PM motorer

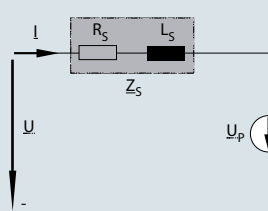
Mange navne for den samme teknologi

Det kræver en stor indsats at øge virkningsgraden for en trefaset induktionsmotor (TPIM). Dette gør synkron motorer med permanent magnet til et godt alternativ. Sammenlignet med induktionsmotorer med en tilsvarende virkningsgrad (f.eks. IE3), er de betydeligt mere kompakte.

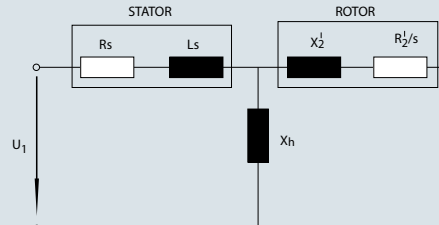
I praksis vil man komme ud for diverse underkategorier af disse motorer med forskellige navne. Forkortelsen "PM" (permanent magnet) og "PMSM" (synkron motor med permanent magnet) anvendes ofte i branchen, mens betegnelsen "EC" (elektronisk) og "BLDC" (børsteløs jævnstrøm) er mere almindeligt anvendte inden for bygningsautomatisering.

Variationen og mangfoldigheden af navne på motorer med permanent magneter kan illustreres ved at bruge EC motorer som eksempel. EC motorer anvendes typisk som servomotorer eller stepmotorer i industriapplikationer. De byder på en lille, kompakt kapslingsstørrelse og dækker et effektområde som begrænser sig til nogle kW. Situationen er anderledes i ventilatorsystemer til bygningsautomatisering. Her sker driften af enkelt- og trefasede EC motorer i kompakte ventilatorenheder til applikationer med effektkrav inden for mindre effekter.

Ækvivalentkredsløb på en PMSM



Ækvivalentkredsløb på en TPIM



Sammenligning af de forenklede ækvivalentkredsløb illustrerer udeblivelsen af tab med PM-/EC-motorer. Dette gør dem mere effektive end trefasede induktionsmotorer.

Teknologien

På grund af de indbyggede permanente magneter, har permanent magnetmotorer ikke behov for en separat magnetiseringsvikling. De skal dog anvendes med en elektronisk styreenhed, som genererer et roterende magnetisk felt. Drift direkte tilsluttet netforsyningen er normalt ikke muligt, i hvert fald ikke uden tab af effektivitet. For at drive motoren skal styreenheden (f.eks. en frekvensomformer) være i stand til hele tiden at kunne fastslå rotorens aktuelle position. Dette kan gøres på to måder: med feedback på den aktuelle rotorposition registreret af en føler eller en encoder.

Høj virkningsgrad

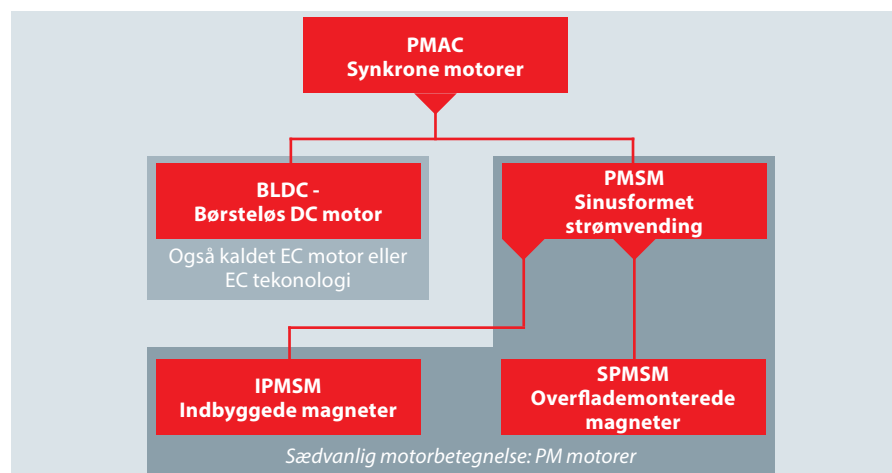
Brugen af permanente magneter i rotoren fjerner stort set ethvert rotortab i motoren. Resultatet er øget effektivitet.

Danfoss EC+ konceptet

gør det muligt at bruge PM motorer i IEC standardstørrelser med Danfoss VLT® frekvensomformere. Danfoss har integreret den nødvendige styringsalgoritme i den eksisterende serie af VLT® frekvensomformere. Operatøren oplever altså ingen ændringer. Efter at have indtastet de relevante motordata kan brugeren drage fordel af den forbedrede motoreffektivitet takket være EC teknologien.

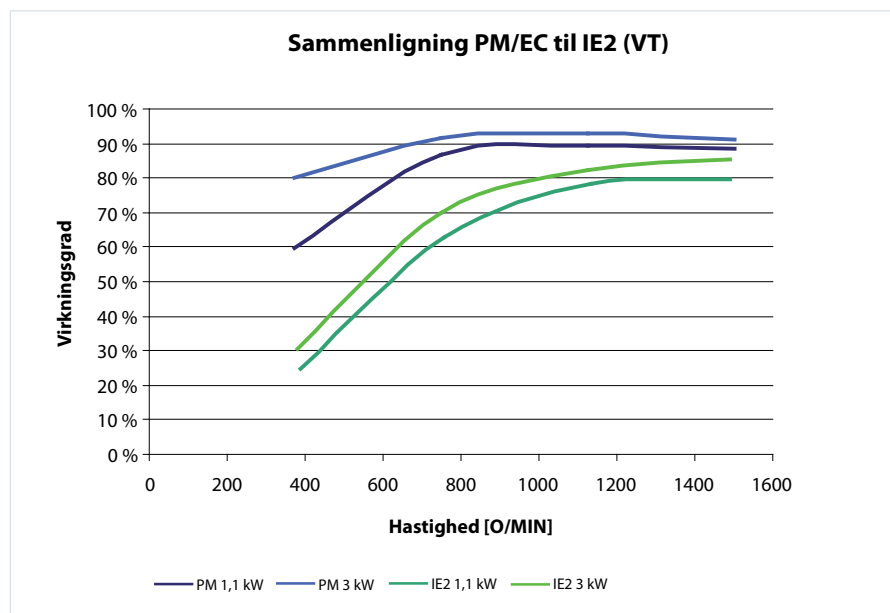
Fordele ved EC+ konceptet

- Der kan frit vælges motorteknologi: PM eller asynkron med den samme frekvensomformer
- Installation og drift af apparatet er uændret
- Alle komponenter kan vælges frit, uden at man er afhængig af én producent
- Bedre systemeffektivitet takket være en kombination af højeffektive enkeltkomponenter
- Mulighed for eftermontering i eksisterende systemer
- Bredt udvalg af nominelle effekter for standard- og PM-motorer



PMAC = Permanent Magnet AC, BLDC = Brushless DC (børsteløs), PMSM = Permanent Magnet Synchronous Motor, IPMSM = Interior PMSM (indbyggede magneter), SPMSM = Surface PMSM (magneter monteret på rotor)

Praktiske aspekter vedrørende EC- og PM-motorer



Oversynkron drift

I teorien er det muligt at anvende en EC- eller en PM-motor over dens nominelle frekvens eller nominelle hastighed, så længe motor producenten tillader det, men dette bør man ikke gøre. Med en TPIM (Trefaset induktionsmotor) kaldes dette oversynkron drift eller drift med feltsvækning. Feltsvækning tillader, at motoren kan køre med en højere hastighed, men med lavere moment på udgangsakslene. I kontrast til TPIM'ere kan feltsvækning kun opnås for EC- eller PM-motorer ved at bruge en egnet frekvensomformer. Som ved TPIM'ere reducerer dette momentet på udgangsakslene.

Motorproducenterne skal også konsulteres for at fastslå, hvorvidt en bestemt motor er egnet til supersynkron drift.

Med hensyn til frekvensomformere udgør denne type drift ikke et problem, medmindre EMF (Elektromotorisk kraft) fra EC- eller PM-motoren, overstiger frekvensomformerens tilladte DC-link-spænding pga. de permanente magneter.

En motor med en modelektromotorisk kraft på 200 V ved 1.000 omdr./

min. kan køre ved hastigheder på op til 3.192 omdr./min. med en frekvensomformer, der har en maksimum tilladelig DC-link-spænding på 900 V. Selv om motoren kan køre ved endnu højere hastigheder, indebærer dette en risiko for elektriske funktionssvigt i frekvensomformererne i tilfælde af en fejl, da spændingen er større end 900 V. Dette kunne f.eks. ske i tilfælde af netudfald.

Standard IEC-kapsling

Mange applikationer anvender trefasede induktionsmotorer, hvis installationsdimensioner og kapslingsstørrelser overholder specifikationerne i IEC EN 50487 eller IEC 72.

Andre konstruktionstyper er dog blevet anvendt til de fleste PM-motorer indtil videre. Servomotorer er typiske eksempler på dette. Med deres kompakte konstruktion og lange rotor er de optimale til meget dynamiske processer.

Den høje virkningsgrad for permanente magnetmotorer kan udnyttes i eksisterende industriapplikationer og PM-motorer leveres nu også i standard IEC-motorkapslinger. Det betyder, at ældre modeller af trefa-

se standard induktionsmotorer (TPIM'er) i eksisterende systemer kan udskiftes med motorer med højere virkningsgrad. Dette gør også virksomheder i maskinindustrien og anlægsindustrien i stand til at bruge motorer med højere virkningsgrad, uden at det kræver designændringer på eksisterende maskiner.

Af hensyn til kompatibilitet kan begge størrelser af PM-motorer leveres.

Løsning 1: Samme kapslingsstørrelse

PM/EC-motoren og TPIM'en (Trefaset induktionsmotor) har den samme kapslingsstørrelse.

Eksempel: En 3 kW TPIM kan erstattes af en EC/PM-motor på samme størrelse.

Løsning 2: Samme nominelle effekt

PM/EC-motoren og TPIM'en har den samme nominelle effekt. I teorien kan en PMSM laves mindre end en TPIM med en tilsvarende nominel effekt. Afhængigt af kapslingsstørrelsen er effekten for en PM/EC motor ca. 1,5 til 2 gange større end en TPIM.

Eksempel 1: En 3 kW TPIM kan erstattes af en EC/PM-motor med samme kapslingsstørrelse som en 1,5 kW-motor.

Eksempel 2: En 3 kW TPIM kan erstattes af en EC/PM-motor med samme kapslingsstørrelse og en nominel effekt på 6 kW.

En elektronisk styring eller en frekvensomformer er dog altid nødvendig for at kunne køre med en PM/EC-motor.

Praktiske aspekter vedrørende motorer egnet for frekvensomformerdrift

Udvælgelseskriterier

Følgende aspekter skal tages med i overvejelserne i forbindelse med motorer, der styres af frekvensomformere:

- Isoleringsbelastning
- Lejebelastning
- Termisk belastning

Isoleringsbelastning

Drift af en motor med frekvensstyring giver større belastninger på motorviklingerne end drift med direkte netforsyning. Dette skyldes primært de stejle pulsflanker (dv/dt) og motorkablet, hvilket igen afhænger af kabellængde, -type, -føring mm.

De stejle pulsflanker stammer fra de hurtigt skiftende halvledere i vekselretterfasen i frekvensomformerens. Driften sker ved en høj switchfrekvens i området mellem 2 - 20 kHz med meget korte switchtider for at kunne reproducere en sinusformet bølgeform.

I kombination med motorkablet er disse stejle pulsflanker ansvarlige for følgende påvirkninger af motoren:

- Høje pulsspændinger U_{LL} på motorklemmerne giver yderligere belast-

- ning på viklingsisoleringen
- Højere pulsspændinger mellem viklingerne og lamineringspladerne $\dot{U}_{LE}$ giver større stress af isolering mellem viklinger.
- Højere spændinger mellem viklingerne $\dot{U}_{wdg}$ giver betydeligt større belastning på isoleringen af ledningen i viklingerne.

Lejebelastning

Under ufordelagtige forhold kan frekvensstyrede motorer svigte pga. lejeskader, der forårsages af lejestrømme. Strømmen løber i et leje, når spændingen på tværs af lejet er stort nok til at gennembryde isoleringslaget, der dannes af smøremidlet. Hvis dette sker, viser nært forestående lejesvigt sig ved stigende støj fra lejerne. Lejestrømme af denne type omfatter højfrekvente hvirvelstrømme, jordstrømme og EMD-strømme (gnistskæring).

Hvilke af disse strømme, der kan medføre lejeskader, afhænger af følgende faktorer:

- Netspændingen ved indgangen af frekvensomformerens
- Pulsflankernes stejlhed (dU/dt)
- Motorkabeltype
- Elektrisk skærmning

- Jording af systemet
- Motorstørrelse
- Jordsystemet på motorhuset og motorakslen.

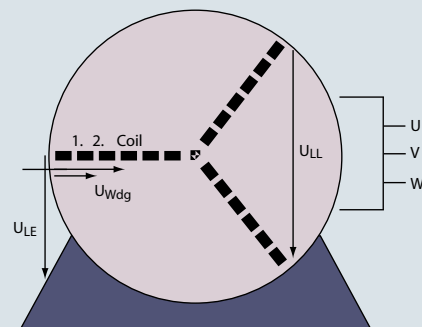
Lejestrømme kan reduceres vha. følgende foranstaltninger:

- Montering af udgangsfiltre (Common mode filtre)
- Montering af elektrisk isolerede lejer
- God jording af metalliske systemkomponenter med lave impedanstilslutninger
- Skærmede motorkabler
- Montering af et DC-dæmpningsfilter.

Termisk belastning

Drift med en frekvensomformer øger effekttabet i motoren. Det yderligere harmoniske indhold forårsager kernetab og strømvarmetab i statoren og rotoren. Tabenes størrelse afhænger af amplituden og frekvensen af de harmoniske svingninger i frekvensomformerens. De yderligere strømvarmetab i rotoren afhænger af slot geometrien. Kernetab og strømvarmetab i motorer er ikke belastningsafhængige. De yderligere tab i motoren forårsager større termisk belastning på viklingsisoleringen. Med moderne frekvensomformere er den yderligere varme fra standardmotorer (op til en kapslingsstørrelse på 315) dog sammenlignelig med den yderligere opvarmning, der skyldes netspændingstolerancer, hvilket gør den ubetydelig. Producenterne angiver til tider en deratingfaktor for standardmotorer (kapslingsstørrelse på 355 og derover).

Hvis omformeren ikke er i stand til at generere den fulde netspænding ved den nominelle netfrekvens, anbefales det at vælge en motor med isolering i klasse F. Drift af en motor ved en spænding, der er lavere end ved drift med netforsyning, øger motortemperaturen med op til 10 K.



Pulsspændinger optræder i motorklemmerne (U_{LL}) og mellem viklingerne og lamineringsstakken (U_{LE}). Der optræder også spændingsbelastning mellem viklingerne (U_{wdg}).

Bemærk: Anmod om oplysninger fra motorproducenten om, hvorvidt motoren er designet til drift med en frekvensomformer og bekræftelse af det godkendte område for driftshastighed (minimum og maksimum O/MIN).

Bemærk: Lejestrømme stammer fra effekten af hele systemet, som består af frekvensomformer, motor, kabel og jording. Ifølge IEC 60034-17 anbefales det at etablere forebyggende foranstaltninger ved en akselhøjde på ca. 315 mm (ca. 132 kW) og derover.

Praktiske aspekter vedrørende udgangsfiltre



Sinus- og dU/dt-filtre

Udgangsfiltre optioner omfatter sinus, dU/dt- og common mode-filtre. I modsætning til sinusfiltre er dU/dt-filtrenes eneste opgave at reducere pulsflankernes stejlehed. De har et mere simpelt design end sinusfiltre (mindre induktanser og kapacitanser) og er derfor billigere. Sinusfiltre, kaldes også for motorfiltre eller LC-filtre, udjævner de rektangulære spændingspulser ved udgangen for at konvertere dem til næsten sinusformet udgangsspænding.

Funktioner og opgaver for sinusfiltre

- Reducering af spændingshyppigheden for stigning (dU/dt) ved motorklemmerne
- Reducering af spidsspænding $\hat{U}_L$
- Reducering af motorstøj
- Tillader brugen af længere

- motorkabler.
- Forbedring af EMC-egenskaber

Hvornår anvendes der sinusfiltre?

- Ved vådløber pumper
- Ved meget lange motorkabler (herunder situationer, hvor det er nødvendigt pga. paralleldrift)
- Ved dykpumper
- Motorer med manglende viklingsisolering
- Når der ikke anvendes standardmotorer (kontakt motorproducenten)

Eftermontering

Hvis en installation for ældre motorer ændres til hastighedsstyring med frekvensomformer, anbefales det at anvende et sinusfilter eller et dU/dt filter. Medmindre motordatabladet angiver, at viklingerne er designet til

drift med en frekvensomformer. Når der udføres renoveringer, kan det ofte betale sig at udskifte gamle laveffektive motorer med nye energieffektive motorer. Et supplerende filter er ikke nødvendigt i disse tilfælde. Den nye motor tjener typisk sig selv ind i løbet af kort tid pga. de reducerede omkostninger til energi.

	Dv/dt-filter	Sinusfilter	Common mode-filter
Motorisoleringsbelastning	Reduceret – længere kabler kan anvendes	Reduceret – længere kabler kan anvendes	Ingen reduktion
Motorlejebelastning	Mindre reduktion	Reducerede cirkulerende strømme, men ikke synkrone strømme	Reducerede synkrone strømme
Elektromagnetisk kompatibilitet	Eliminerer harmoniske svingninger i motorkabler. Ingen ændring i EMC-klasse	Eliminerer harmoniske svingninger i motorkabler. Ingen ændring i EMC-klasse	Reducerede højfrekvente emissioner (over 1 MHz). Ingen ændring i EMC-klasse
Maksimum motorkabellængde, overholder EMC	Afhænger af producenten VLT® AQUA Drive FC 202: maks. 150 m skærmet	Afhænger af producenten VLT® AQUA Drive FC 202: maks. 150 m skærmet eller maks. 300 m uskærmet	Afhænger af producenten VLT® AQUA Drive FC 202: maks. 150 m skærmet
Maks. motorkabellængde, overholder ikke EMC	Afhænger af producenten FC 202: maks. 150 m uskærmet	Afhænger af producenten FC 202: maks. 500 m uskærmet	Afhænger af producenten FC 202: maks. 300 m uskærmet
Motorstøj ved switchfrekvens	Ingen effekt	Reduceret	Ingen effekt
Relativ størrelse (i forhold til frekvensomformeren)	15-50 % (afhænger af effekttørrelse)	20-100% (afhænger af effekttørrelse)	5-15 %
Spændingsfald	0,5 %	4-10 %	Ingen

Praktiske aspekter vedrørende motorkabler

Nominel spænding

Spidsspændinger op til to gange større end DC-link-spændingen i frekvensomformerer belaster motorkablet. Det belaster motorkablet og motorisoleringen voldsomt. Belastningen er større, hvis frekvensomformerens udgang ikke har et dv/dt-filter eller et sinusfilter. Af denne grund skal den angivne nominelle spænding for motorkablerne være på mindst $U_0/U = 0,6/1$ kV. Test af kabler med højspænding med denne specifikation udføres typisk med en testspænding på mindst 3.500 VAC og typisk 4.000 VAC, og i praksis har det vist sig at have en god modstandsdygtighed over for nedbrydning af isolering.

Kabeldimensionering

Det påkrævede tværsnit af motorkablet afhænger af udgangsstrømmen fra frekvensomformerer, omgivelsestemperaturen og typen af kabelinstallation.

Overdimensionering af ledningstværsnit for at tillade harmoniske svingninger er ikke nødvendig.

For valg og dimensionering af kabler og ledere indeholder EN 60204-1 og VDE 0113-1 data for strømkapacitet for ledningstværsnit på op til 120 mm². Hvis det er nødvendigt med større ledningstværsnit, kan der findes nyttige oplysninger i VDE 0298-4. Stærkstrømsbekendtgørelsen og maskindirektivet kan også anvendes.

Motorkabellængde

Lange motorkabler optræder ofte i anlæg til behandling af vand og spildevand. Frekvensomformere og pumper installeres ofte med en afstand på mere end 100 m. I sådanne tilfælde skal der tages hensyn til spændingstab i forbindelse med dimensionering af kabler.

Dimensioner kablet, så den fulde udgangsspænding er til stede ved motoren når der er lange motorkabler. Længden af motorkablet, som kan tilsluttes til en standardfrekvensomformer, er typisk 50 til 100 meter. Selv ved disse kabellængder findes der produkter fra visse producenter, som ikke er i stand til at levere den fulde udgangsspænding ved motoren. Hvis brugerne har behov for kabler, der er længere end 100 m, findes der kun få producenter, der er i stand til at overholde dette krav i forbindelse med standardprodukter. Ellers er det nødvendigt at montere supplerende motorspoler eller udgangsfiltre.

Energibesparelser

Spændingsfaldet over et motorkabel, samt det deraf følgende varmetab, er nærmest proportionelt med dets længde og afhænger af frekvensen. Tilsvarende skal kabelføringer holdes så korte som muligt, og dimensionen af kabeltværsnittene må ikke være større, end det rent elteknisk er nødvendigt.

Kabler med egnet skærmning

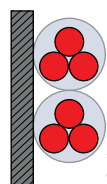
Skærmede kabler skal være med en elektrisk ledende skærm og en skærmdækning på mindst 80 %.

Bemærk: Kontakt producenten i forbindelse med kabellængder, som kan tilsluttes frekvensomformerer, og de forventede spændingsfald. Med en standard VLT® AQUA Drive frekvensomformer kan der tilsluttes et skærmet kabel på op til 150 m eller et uskærmet kabel på op til 300 m, samtidig med at den fulde spænding opretholdes ved motoren.

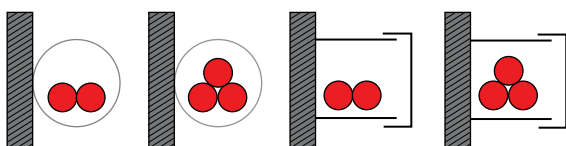
Strømklassificering [A] for PVC-kabel ved en omgivelsestemperatur på 40 °C

mm ²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

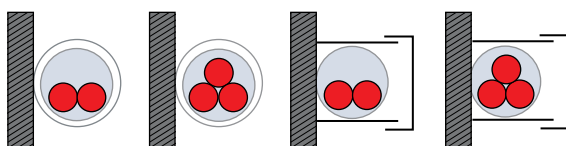
Opsummering af EN 60204-1-strømklassificering for kabeltværsnit



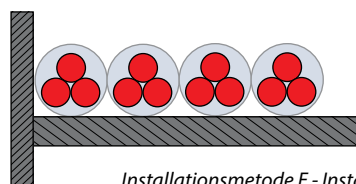
Installationsmetode C: Direkte installation på eller i vægge og/eller lofter eller i kabelbakker



Installationsmetode B1: Ledere i rør eller lukkede kabelkanaler



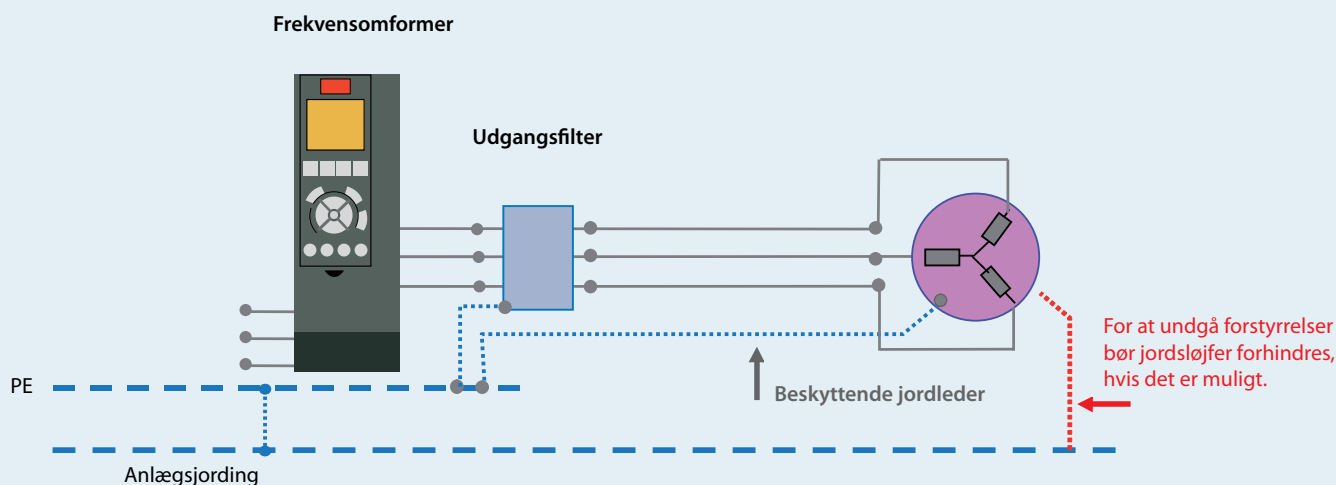
Installationsmetode B2: Flerlederkabel eller indkapslet flerlederkabel i rør eller lukkede kabelkanaler



Installationsmetode E - Installation i fri luft og i kabelbakker

Praktiske aspekter vedrørende jording

Vigtigheden af jording



En plan for jording skal altid udarbejdes for ethvert system eller anlæg.

Foranstaltninger for jording er generelt nødvendige for at kunne overholde lovkravene i EMC- og lavspændingsdirektivet. De er en forudsætning for effektiv brug af andre foranstaltninger, som f.eks. skærmning og filtre. Andre foranstaltninger har ingen værdi uden god jording. Af denne årsag skal jordforbindelserne kontrolleres og godkendes til korrekt EMC-implementering inden montering af skærmning eller filtre er også første trin i forbindelse med fejlfinding.

Elektrisk ledende materialer

Installatøren skal sikre, at metaloverflader er jordforbundet med lavimpedansforbindelser. I forhold til EMC er den afgørende faktor ikke tværsnittet af lederen, men i stedet dens overfladeareal, da højfrekvente strømme løber på overfladen pga. strømfortrængningen.

Anlægsdele med det laveste overfladeareal begrænser evnen til at aflede lækstrøm. Jordforbundne overflader har en skærmende effekt og reducerer amplituden af de omgivende elektromagnetiske felter.

Stjernekonfigureret jordingssystem

Alle jordforbundne punkter og komponenter skal tilsluttes det centrale jordforbindelsespunkt så direkte som muligt, som f.eks. i form af en potentialeudligningsskinne. Dette resulterer i et jordingssystem, hvor alle tilslutningspunkter er forbundet radialt til jordforbindelsespunktet. Dette jordforbindelsespunkt skal defineres entydigt.

Kontaktpunkter

Når maling og korrosion er fjernet, skal alle tilslutningerne udføres til kontaktpunkterne med et stort overfladeareal. Stjernesiver er bedre til dette formål end almindelige skiver. Tin-, zink- eller kadmiumbelagte komponenter skal anvendes frem for malede komponenter. Der skal være flere kontaktpunkter til skærmen i forbindelsesstikkene.

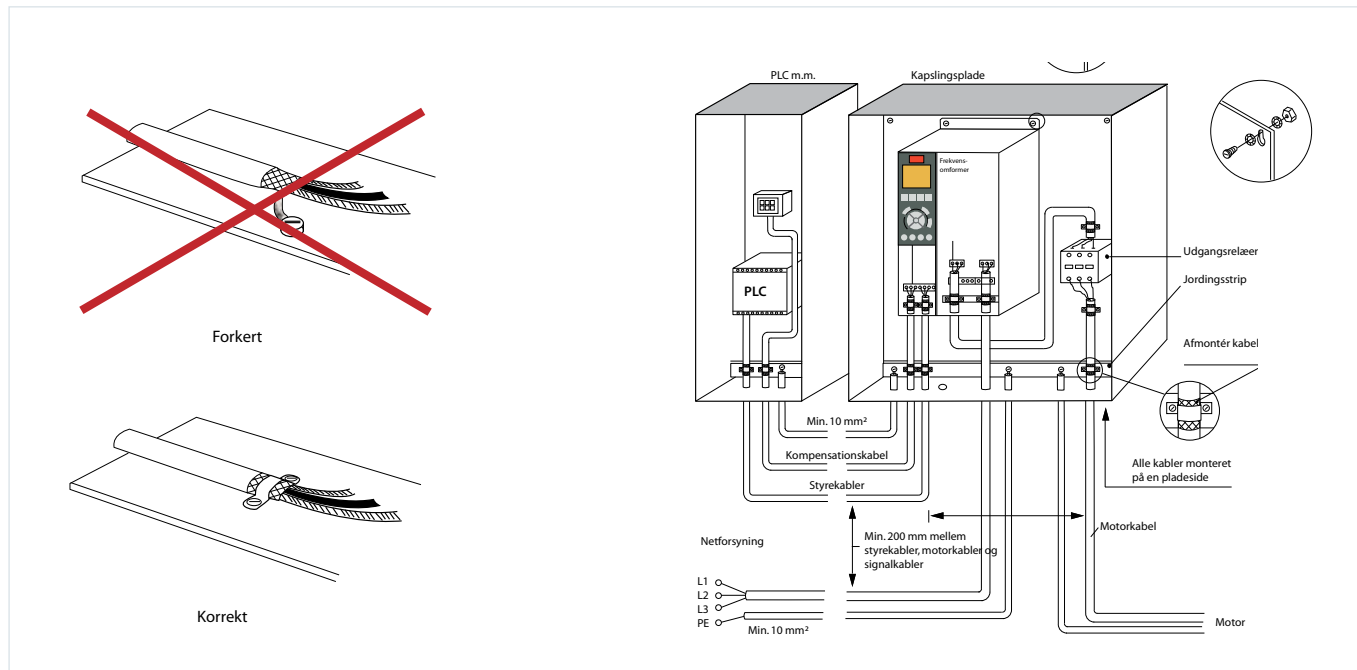
Overfladeareal for leder

Et stort lederoverfladeareal til afledning af højfrekvent strøm kan etableres ved at bruge finsnoede ledninger, som f.eks. meget fleksible instrumentledninger.

Bemærk: Systemjording har en betydelig effekt på problemfri anlægsdrift. Jordsløjfer skal forhindres, hvis det er muligt. God potentialeudligning er afgørende. Udarbejd en egnet plan for jording så tidligt i design- og projektudviklingsfasen som muligt.

Praktiske aspekter vedrørende skærmning

Vigtigheden af skærmning



Formålet med skærmning er at reducere mængden af udstrålede forstyrrelser (hvilket kan påvirke systemer eller komponenter i nærheden) og at forbedre immuniteten over for forstyrrelser i individuelle apparater (immunitet over for forstyrrelser fra andre kilder). Implementering af skærmningsforanstaltninger i eksisterende systemer (f.eks. udskiftning af kabler eller yderligere kapslinger) er kun muligt med betydelige omkostninger til følge.

Producenter af frekvensomformere leverer typisk relevante oplysninger for overholdelse af lovbestemte grænser, hvilket omfatter oplysninger om yderligere foranstaltninger, som kan være nødvendige, som f.eks. skærmede kabler. Frekvensomformere genererer stejle pulsfkanter ved deres udgange.

Disse pulser indeholder højfrekvente komponenter (helt op til gigahertz-området), hvilket forårsager uønsket udstråling fra motorkablet. Dette er grunden til, at der skal anvendes skærmede motorkabler. Skærmningens formål er at "fange" de højfrekvente signaler og lede dem tilbage i forstyrrelseskilden, som i dette tilfælde er frekvensomformeren.

Skærmede kabler og kabelføring

Selv god skærmning, som overholder grænserne, eliminerer ikke helt udstrålingen. I området tæt på kan det forventes, at der findes elektromagnetiske felter, som komponenter i dette miljø skal forventes at kunne modstå uden driftsforringelser. Her kræves det i standarden, at grænserne ved en specifik afstand (f.eks. 30 dB ved en afstand på 10 m for klasse B) overholdes. Med hensyn til niveauet for den tilladelige grænse, skelnes der i standarden mellem brug i 1. environment (beboelsesmiljø) og 2. environment (industrimiljø). Se afsnittet "Driftsstedet er den afgørende faktor" på side 22 i denne vejledning for at få flere oplysninger.

Skærmforbindelse

Kabelskærmningen skal være tilsluttet hele vejen rundt for at opnå en effektiv kabelskærmning. EMC kabelforskrudninger eller kabelbøjler kan anvendes til dette formål. De omkranser skærmningen helt og forbinder den til jord over et større areal. Skærmen skal føres direkte til jordforbindelses-

punktet og fastgøres med bøjlen på et stort areal, og forbindelsen skal gøres så kort som mulig i hver ende af kablet. Alle andre tilslutningsmetoder forringer skærmningens effektivitet. En ofte set metode er en snoning af skærmfletningen til en grisehale og derefter forbinde til jordklemmen. Denne form for forbindelse skaber en høj koblingsimpedans for højfrekvente signaler, hvilket gør, at forstyrrelserne udstråles fra skærmen i stedet for at blive ledt tilbage til kilden. Som et resultat heraf kan skærmningseffekten blive reduceret med helt op til 90 %.

Afbrydelse af skærmen

Afbrydelse af skærmen, som f.eks. ved klemmer, omskiftere eller kontaktorer skal forbindes med forbindelser med den lavest mulige impedans og det størst mulige overfladeareal.

Praktiske aspekter vedrørende skærmning

Jordtilslutning

Jordtilslutningen for en skærm er altafgørende for effektiviteten. Af denne årsag skal der monteres stjerneskiver eller fjederskiver under monteringskraver på kapslingen, og malede overflader skal skrubes rene for at opnå en kontakt med lav impedans. Anodiserede aluminiumskapslinger giver f.eks. en utilstrækkelig jordkontakt, hvis der anvendes almindelige skiver. Jordledninger skal være fremstillet af ledninger med store tværsnit eller endnu bedre af flertrådet ledninger. I forbindelse med installation af frekvensomformere skal der etableres en ekstra pålidelig beskyttelsesleder iht. stærkstrømsbekendtgørelse eller maskindirektivet.

Motorforsyningskabel

For at overholde grænserne for radiofrekvensforstyrrelser, skal kablerne mellem frekvensomformere og motorer være skærmede kabler med en skærmtilslutning til komponenterne i **begge ender**.

Signalkabel

Afstanden mellem motorkablet og signalkablet skal være efter leverandørens anvisninger (typisk 500 mm. For Danfoss VLT frekvensomformere er det 200 mm), og forsyningskablet og motorkablet skal føres så langt fra hinanden som muligt. Påvirkninger fra forstyrrelser falder betydeligt, jo længere afstanden er. Yderligere foranstaltninger (f.eks. skillespor) er altafgørende i forbindelse med mindre afstande. I modsat fald kan forstyrrelser overføres. Skærmning af styrekabler skal tilsluttes i begge ender tilsvarende skærmning af motorkabler.

Skærmningstyper

Producenter af frekvensomformere anbefaler at anvende skærmede kabler mellem frekvensomformeren og motoren. To faktorer er vigtige i forbindelse med dette valg: skærmtæthed og skærmningstypen.

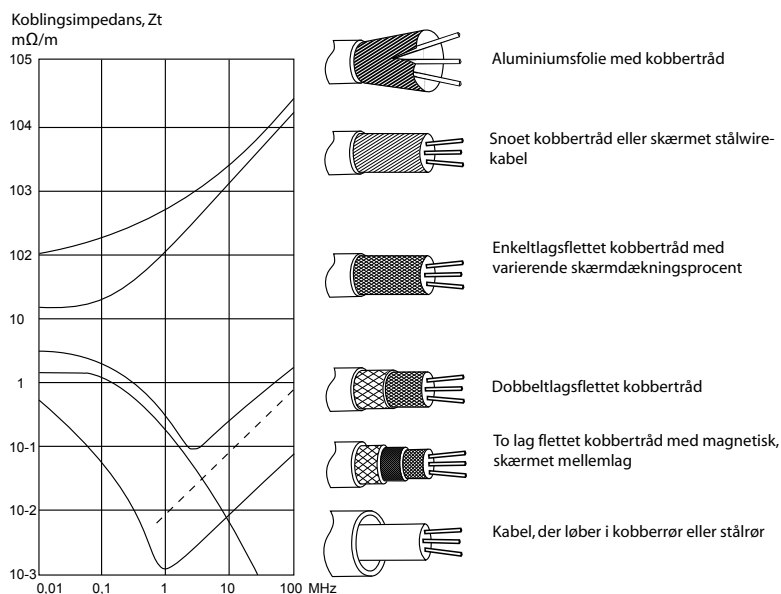
Skærmtætheden, hvilket betyder dele af kabeloverfladen, der dækkes af skærmningen, skal være mindst 80 %.

Med hensyn til skærmningstypen har en enkelt flettet kobberskærm i praksis vist sig at være ekstremt effektivt. Her er det vigtigt, at skærmen er flettet. I kontrast hertil eksisterer der lange slidseformede områder, som ikke dækkes, i forbindelse med kobbertråds-skærme (f.eks. NYCWY), og her kan HF udstråling nemt slippe gennem disse huller. Overfladearealet for lækstrøm er også betydeligt mindre.

Skærmning fås også i løs vægt til eftermontering. Det kan trækkes over kablet, så der opnås den ønskede skærmningseffekt. Ved korte tilslutninger kan metalslanger eller rør anvendes som alternativ. Kabelkanaler kan i særlige situationer (en strålingsbeskyttet lukket metal kabelbakke med god kontaktflade og god forbindelse mellem kabelkanalen og jord) erstatte skærmning.

Kabler med dobbeltskærmning kan forbedre dæmpningen af de udstrålede forstyrrelser. Den indvendige skærmning er tilsluttet i den ene ende, og den ydre skærmning er tilsluttet i begge ender. Snoede ledere reducerer magnetiske felter.

Skærmede kabler med snoede ledere kan anvendes til styrekabler. Dæmpningen af det magnetiske felt øges fra ca. 30 dB med en enkelt skærmning til 60 dB med en dobbelt skærmning og til ca. 75 dB, hvis lederne også snoes.



Der findes mange typer af skærmede kabler. Kun visse af dem er egnede til brug med frekvensomformere.

Trin 4: Praktiske aspekter vedrørende valg af frekvensomformere

Grundlæggende design

I praksis vælges frekvensomformere ofte udelukkende efter deres nominelle effekt i kilowatt. Frekvensomformere skal dog altid vælges på baggrund af den faktiske nominelle motorstrøm I_{nom} ved den største belastning. Dette udvælgelseskriterie er mere pålideligt, da motorudgangseffekten afhænger af den mekaniske akselbelastning frem for den elektriske indgangseffekt.

Motorens virkningsgrad tages ikke med i overvejelserne. I kontrast hertil er den nominelle kapacitet for frekvensomformere (i kilowatt) baseret på den nominelle effekt P_{nom} for asynkron motorer med fire poler. Foruden dette kan motorer i samme

Bemærk: En VLT® AQUA Drive frekvensomformer på 11 kW har en nominel strøm på 24 A. Dette giver tilstrækkeligt med reserveeffekt til at køre med en motor på 11 kW.

effektklasse have forskellige nominelle motorstrømme afhængigt af motorproducenten og virkningsgradsklassen. F.eks. kan den nominelle motorstrøm for en 11 kW motor variere fra 19,8 A til 22,5 A. Den nominelle strøm er dog ikke alene tilstrækkelig til at bestemme den tilsvarende elektriske indgangseffekt. Frekvensomformeren skal også levere en tilstrækkelig høj motor-spænding. Ved en netforsyning på 400V betyder dette 400 V ved 50 Hz på motorklemmerne. Der findes stadig frekvensomformere på markedet, som ikke er i stand til at levere dette. Udgangsspændingen reduceres pga. spændingsfald i filteret, spoler og motorkabler. Hvis udgangsspændingen f.eks. reduceres til 390 V, har motoren behov for mere strøm for

at producere den nødvendige effekt. Alle tab øges kvadratisk med strømmen, og motoren har større tendens til at blive varm, hvilket reducerer levetiden. Ved dimensionering skal der selvfølgelig tages hensyn til det øgede strømforbrug.

Bemærk: En særlig moduleringsmetode anvendes i VLT® AQUA Drive for at leverer den fulde motorspænding. Selv med 10 % underspænding på netforsyningen opretholdes den nominelle motorspænding og det nominelle motormoment.

Konstant eller variabelt moment

Belastningen af motoren, er den primære faktor ved valget af den korrekte frekvensomformer. Der skal skelnes mellem belastninger, hvis momentkarakteristik øges kvadratisk med øget hastighed (f.eks. centrifugalpumper og ventilatorer), og belastninger, som kan kræve højt moment fra motoren over hele driftsområdet også ved lave hastigheder (f.eks. kompressorer og fortrængningspumper).

De fleste applikationer i vand- og spildevandsanlæg har en belastningskurve, som øges kvadratisk med hastigheden, indtil det nominelle moment nås (belastningen stiger med omdrejningstallet). For at kunne opnå effektivitetsoptimeret drift under disse belastningsforhold, skal frekvensomformeren levere en motor-spænding, som øges kvadratisk med motorens hastighed. Ved applikationer med konstant højt moment er det i de fleste tilfælde nødvendigt at overveje kravet til acceleration eller opstart under store belastninger. I dette tilfælde skal

frekvensomformeren være i stand til at levere ekstra effekt til motoren i kort tid i forhold til det nominelle motormoment. Dette er f.eks. tilfældet for at aktivere en pumpe, der indeholder opsamlet og aflejret slam, og gøre den i stand til at håndtere den deraf følgende statiske friktion (løsrivelsesmoment). Dette kortvarigt tilgængelige maksimummoment kaldes overmoment.

I applikationer, der ikke har behov for et opstartsmoment på meget mere end det nominelle motormoment, er en relativt lav overbelastningskapacitet generelt tilstrækkelig (f.eks. rootkompressorer, hvis opstart uden belastning kun kræver 110 % af det nominelle motormoment).

Bemærk: Fortrængningspumper, rootkompressorer og kompressorer er ikke klassificeret som maskiner med væskestrømning. Pga. deres driftsprincip skal frekvensomformere, der anvendes med denne type udstyr, designes til konstant moment.

Praktiske aspekter vedrørende belastningskurver for diverse applikationer

Karakteristiske kurver og applikationer

Applikationer med konstant moment

Normalt startmoment (110 % overbelastning)

Doseringspumper
Rootskompressorer
Boksventilator
Cirkulationspumper

Højt startmoment [150 % overbelastning]

Aksialstempelkompressorer
Drejestempelkompressorer
Ekscentersnekkepumpe (overvinde startmoment)
Stempelpumper
Omrørere og blandere
Slamafvandingspresse
Kompressorer (undtagen turbokompressorer)
Fortrængningspumper
Gearpumper
Ventiler med tandhjul

Applikationer med variabelt moment

Centrifugalpumper
Trykboosterpumper
Filterfødepumper
Grundvandspumper¹
Varmt vandpumper
Varmepumper (primært og sekundært kredsløb)
Rotationspumpe med kanalløber (faste stoffer)
Kølevandspumper (primært og sekundært kredsløb)
Cisternepumper
Pumper til recirkulation af slam
Sumpumper¹
Turbokompressorer
Dykpumper¹
Pumper til overskudsslam
Ventilatorer

¹Sinusfilter anbefales.

Bemærk: Spørg pumpe- eller motorproducenten vedrørende kurven for momentkarakteristik.

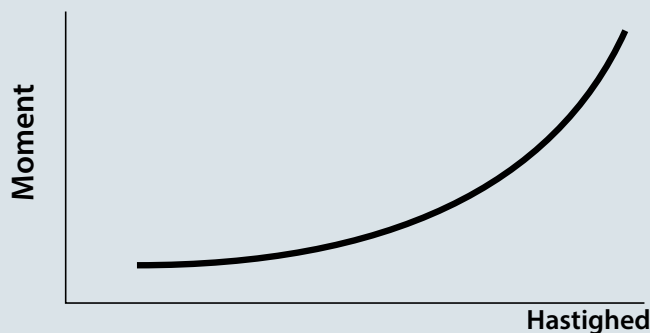
Konstant moment

Hastighedsuafhængig
belastningskarakteristik



Variabelt moment

Hastighedsafhængig
belastningskarakteristik



Praktiske aspekter vedrørende drift af flere motorer (særligt tilfælde)

Design

I applikationer med flere motorer parallelt på samme frekvensomformer, skal der tages hensyn til følgende faktorer ved dimensionering:

De nominelle strømme og effekter for motorerne skal lægges sammen.

Valget af en egnet frekvensomformer baseres på de to summer for effekt og strøm.

Mht. motorbeskyttelse skal operatøren forbinde PTC-termistorerne på motoren i serier, og frekvensomformerens vil derefter overvåge dette serieforbundne signal.

De forbundne motorer har den samme drift med hensyn til nominal hastighed.

Dette betyder, at frekvensomformerens kører dem alle ved den samme frekvens og med den samme spænding. Spørg altid frekvensomformer leverandøren om specielle dimensionsforhold ved parallel forbundne motorer.

Bemærk: Da modstandene i serieforbundne PTC-termistorer lægges sammen, skal man være opmærksom på hvor mange PTC-termistorer som kan sidde parallel og også fungere som motorbeskyttelse. Ofte er der behov for separat motorværn for motorbeskyttelse.

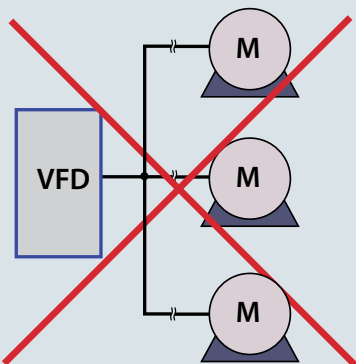


Kabelføring

Følgende skal undgås i forbindelse med drift af flere motorer:

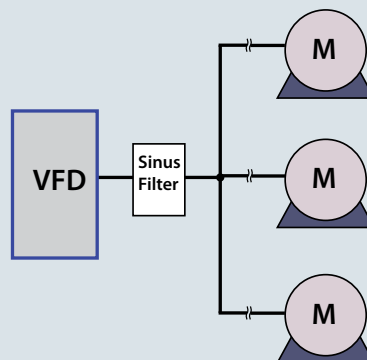
Parallelle ledere forårsager yderligere kapacitans. Af denne årsag skal denne type forbindelse undgås.

Skal undgås



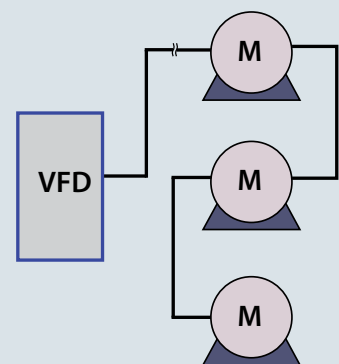
Strømmene falder, da sinusfilteret blokerer klokfrekvensen. Dette gør, at motorerne kan parallelforbindes. Motorkablerne kan også om nødvendigt føres sammen over længere afstande.

Anbefalet



Anbefaling ved drift af flere motorer: brug et motorkabel fra én motor til den næste.

Anbefalet



Praktiske aspekter vedrørende EMC-foranstaltninger

Fra teori til praksis

Alle frekvensomformere er kilder til bredbåndsforstyrrelser, hvilket betyder, at de udsender forstyrrelser over et bredt frekvensområde. Ved dimensionering kan mængden af forstyrrelser reduceres fra frekvensomformere ved at tage passende forholdsregler. F.eks. kan der sikres mere problemfri anlægsdrift ved at anvende RFI-filtre og netforsynings-spoler. I visse mærker er disse kompo-

nenter allerede installeret i frekvensomformeren. For andre mærker skal der ved installation reserveres ekstra plads (hvilket altid betyder en merudgift) til dette i tavlen. Se side 13 og frem i denne manual for at få generelle oplysninger om EMC, lavfrekvent netforstyrrelse og radiofrekvensforstyrrelser.

Bemærk: Frekvensomformere i god kvalitet er som standard udstyret med RFI-bekyttelse og komponenter til reduktion af netforstyrrelser. Disse komponenter udgør ca. 15-20 % af frekvensomformerens pris.

Radiofrekvensforstyrrelse

Praktiske anbefalinger

Se side 21 og frem i denne manual for detaljerede oplysninger om radiofrekvensforstyrrelse. Det primære formål i praksis er at opnå systemer med stabil drift uden forstyrrelser mellem komponenterne. Ikke desto mindre sker det ofte efter ombygning og/eller introduktion af nye komponenter, at det ikke længere er muligt at foretage følsomme målinger, uden at forstyrrelser og/eller instrumentsignaler forvrænges. Disse faldgruber er præcist det, der skal undgås.

For at kunne opnå en høj immunitet over for forstyrrelser anbefales det derfor at bruge frekvensomformere med RFI-filtre af høj kvalitet. De skal opfylde kategori C1-kravene i produktstandarden EN 61800-3 og derved overholde klasse B-grænserne i den generelle standard EN 55011. Yderligere advarselsmeddelelser skal placeres på frekvensomformeren, hvis der anvendes RFI-filtre, som ikke svarer til kategori C1, men i stedet svarer til kategori C2 eller lavere. Ansvarer hviler i sidste ende på ejeren af anlægget.

Som beskrevet på side 22 vil den tilsynsførende myndighed altid basere deres anbefalinger for eliminering af forstyrrelse på grænserne A1/A2 og B for forstyrrelser i henhold til definitionen for driftsmiljø i den generelle standard EN 55011. Omkostningerne for afhjælpning af EMC-problemer hviler på installatø-

ren. Brugeren er i sidste ende ansvarlig for den passende klassifikation af apparater i henhold til disse to standarder.

På grund af brugen af kabler til strømforsyning og signaler kan kabelbåret forstyrrelse nemt sprede sig til andre systemdele eller andre steder i anlægget, hvis ikke der træffes passende forholdsregler. Forstyrrelser, der udstråles direkte fra apparatet eller kablet, er derimod fysisk begrænsede. Intensiteten falder for hver centimeter, man bevæger sig væk fra kilden til forstyrrelsen. Af denne grund er det i reglen tilstrækkeligt at installere frekvensomformere i en passende tavle, der overholder EMC-reglerne, for at begrænse udstrålede forstyrrelser. Der bør dog altid anvendes et passende filter for at begrænse kabelbåret forstyrrelse.

Ekstern eller indbygget RFI-filtre

I praksis findes der to muligheder inden for RFI-filtre. Visse producenter installerer som standard RFI-filtre i deres udstyr, mens andre tilbyder dem som tilvalgsprodukter. Indbyggede filtre er ikke alene pladsbesparende i tavlen, men eliminerer også ekstraomkostningerne til montering, kabelføring og en større tavle. Den vigtigste fordel er dog den perfekte EMC-overensstemmelse og kabelføring ved brug af integrerede filtre. Eksterne RFI-filtre, der installeres før

frekvensomformeren, forårsager desuden et yderligere spændingsfald. I praksis betyder dette, at den fulde netspænding ikke er til stede ved frekvensomformerens indgang, hvilket kan gøre overdimensionering nødvendig. Omkostningerne omfatter montering, kabelføring, ekstra plads i tavlen og EMC-overensstemmelse er ikke testet. En anden betydelig faktor er maksimumlængden for det tilsluttede motorkabel, hvor at frekvensomformeren stadig overholder EMC-grænserne. I praksis kan dette være mellem 1 og 50 meter. Længden af motorkablet har betydning for hvor godt at RFI-filtret skal være.

Bemærk: I en applikation som er fri for forstyrrelser, skal der altid anvendes et RFI-filter i kategori C1. VLT® AQUA Drive frekvensomformere leveres som standard med indbyggede RFI-filtre, der overholder kategori C1 (EN 61800-3) med skærmede motorkabler på op til 50 m eller C2 med skærmede motorkabler på op til 150 m.



Netforvrængning

DC-link påvirker netforvrængning

Se side 15 og frem for en beskrivelse af de fundamentale aspekter vedrørende lavfrekvent netforvrængning og foranstaltninger til reducere. Den stigende brug af ensretterbelastninger forværrer netforvrængningen. Ensrettere trækker ikke-sinusformede strømme fra netforsyningen. Netforvrængning, som skyldes frekvensomformere, stammer primært fra kondensatorer i DC-link (mellemkredsen) pga. af deres lade strøm. Her løber strømmen altid i korte pulser, der ligger i nærheden af spidserne for netspændingen. På grund af den store strøm falder netspændingen en smule under korte intervaller og netspændingen er ikke længere sinusformet. For at stabilisere netforsyningen er det nødvendigt at begrænse den femte harmoniske strøm til et niveau på ca. 40 % THDi. Kravene er beskrevet i standarden EN 61000-3-12. I applikationer hvor netforvrængning skal reduceres til et THDi-niveau på under 10 % eller 5 %, er det nødvendigt at anvende filtre og aktive foranstaltninger for at kunne reducere netforvrængningen.

Begrænsende foranstaltninger

Der findes flere løsninger til rådighed for at begrænse netforvrængning. De kan inddeles i passive og aktive komponenter.

Harmoniske spoler til netforsyning

Den mest almindelige og mindst bekostelige metode til reducere af netforvrængning er at installere DC-spoler i enten DC-link eller AC-spoler ved indgangen til frekvensomformeren. Montering af spoler i frekvensomformeren forlænger varigheden af strømstyrken til opladning af DC-link kondensatorerne, reducerer strømamplituden og reducerer forvrængningen af netspændingen (mindre netforvrængning).

Forvrængningsgraden for netspændingen afhænger af netforsyningens kvalitet (transformerimpedans og kabelimpedans). Tallene i tabellen nedenfor kan bruges som en retningslinje for den tilsluttede frekvensomformers belastning (eller andre trefasede ensretterbelastninger) som en procentdel af den nominelle effekt i forsyningstransformeren. Hvis maksimumværdien overskrides, skal producenten af frekvensomformeren kontaktes.

Foruden reducere af netforvrængning øger AC-, eller DC-spoler levetiden for DC-link kondensatorer, fordi de oplades mere skånsomt pga. begrænsningen af strømspidser. AC-, eller DC-spoler forbedrer også frekvensomformerens evne til at modstå nettransienter. Klassificeringerne for ledningstværsnit og netsikringer eller afbrydere kan være mindre pga. de lavere indgangsstrømme. AC-, eller DC-spoler medfører dog flere omkostninger og kræver mere plads.

Bemærk: En DC-spole er som standard integreret i alle VLT® AQUA Drive frekvensomformere. Dette reducerer THDi fra 80 % til 40 %, hvorved kravene i EN 61000-3-12 overholdes. Denne effekt kan derfor sammenlignes med effekten af en trefaset AC-spole (UK 4%). Der skal ikke kompenseres for spændingsfald i frekvensomformeren, hvilket betyder, at den fulde spænding leveres til motoren og det er ikke nødvendigt at overdimensionere motoren.

Maksimum 20 % frekvensomformerbelastning på transformer med frekvensomformere uden foranstaltninger til reduktion af netforvrængning, hvilket

→ uden AC-, eller DC-spoler eller kun små spoler (spændingsfald over spoler på ca. 2%)

Maksimum 40 % frekvensomformerbelastning på transformer med frekvensomformere med foranstaltninger til reduktion af netforvrængning, hvilket

→ med AC-, eller DC-spoler (spændingsfald over spoler på ca. 4%)

Tallene for maksimumbelastninger ovenfor er anbefalede retningslinjer, som er baseret på erfaringer med problemfri anlægsdrift.

Praktiske aspekter vedrørende EMC-foranstaltninger



En Low Harmonic Drive frekvensomformer er en frekvensomformer med et indbygget, aktivt filter, som reducerer harmoniske netforvrængninger.

12, 18 eller 18 puls ensretter

I praksis findes frekvensomformere med ensrettere, der har et højt pulstal pr. cyklus, primært i det større effektområde. Det kræver særlige transformere for at opretholde en korrekt drift.

Passive filtre

Passive harmoniske filtre, som består af LC-kredsløb, kan bruges i alle situationer. De har en høj virkningsgrad, som typisk ligger omkring 98,5 % eller højere. Apparaterne er meget robuste og er, bortset fra eventuelle køleventilatorer, typisk vedligeholdelsesfri. Der skal tages hensyn til følgende i forbindelse med passive filtre. Hvis driften foregår uden belastning, fungerer de som kapacitive reaktive strømkilder pga. den cirkulerende strøm i filteret. Afhængigt af den specifikke applikation kan det være en fordel at anvende filtre, som har selektiv tilslutning og afbrydelse.

Aktive filtre og lavharmoniske frekvensomformere

En innovativ tilgang, baseret på forbedrede halvlederapparater og moderne mikroprocessortechnologi, er at anvende aktive, elektroniske filtersystemer. De måler konstant kvaliteten af netforsyningen og bruger en aktiv strømkilde til at føre specifikke bølgeformer ind i netforsyningen. Nettoresultatet er en sinusformet strøm.

Sammenlignet med tidligere beskrevne filterløsninger er arkitekturen for denne nye generation af filtre mere kompleks, da filtrene kræver hurtig dataregistrering i høj opløsning og stor computerkraft.

Det er ikke muligt at give en grundlæggende anbefaling i forbindelse med de foranstaltninger til reduktion af netforvrængning, der er anført her. Det vigtige er at træffe de rigtige beslutninger i løbet af designfasen og

projektudviklingsfasen for at opnå en applikation med høj tilgængelighed, lav netforvrængning og lav radiofrekvensforstyrrelse. I hvert tilfælde skal følgende faktorer analyseres grundigt, inden der træffes beslutninger om, hvilke reduktionsforanstaltninger, der anvendes:

- Netforsyningsanalyse
- Nøjagtig oversigt over netforsynings-topologi
- Pladsbegrænsninger i de aktuelle rum til elektrisk udstyr
- Løsninger til primært distributions- eller underdistributionssystemer

Bemærk: Med de komplekse aktive foranstaltninger er der en risiko for, at der rammes helt ved siden af, da disse foranstaltninger har den svaghed, at de forårsager forstyrrelser i frekvensområdet over 2 kHz (se side 18 og frem).

Praktiske aspekter vedrørende fejlstrømsafbrydere

AC/DC-fejlstrømsafbrydere

Tidligere blev der brugt forskellige betegnelser for fejlstrømsafbrydere, der kun er følsomme over for AC, og apparater, der er følsomme over for AC og DC. Disse apparater kaldes internationalt for RCCB'ere (Residual Current Circuit Breakers). Den overordnede betegnelse er RCD (Residual Current Operated Device) i henhold til definitionen i EN 61008-1.

Hvis der anvendes udstyr i et beskyttet område, som kan generere DC-strøm i tilfælde af en fejl, skal der anvendes RCD'ere, som er følsomme over for AC- og DC-strømme. Dette gælder for alt elektronisk udstyr med en 6-puls ensretter (f.eks. frekvensomformere), som er tilsluttet en trefaset netforsyning.

Denne type RCD kaldes for en type B RCD i henhold til IEC 60755. På grund af deres driftsprincip genererer

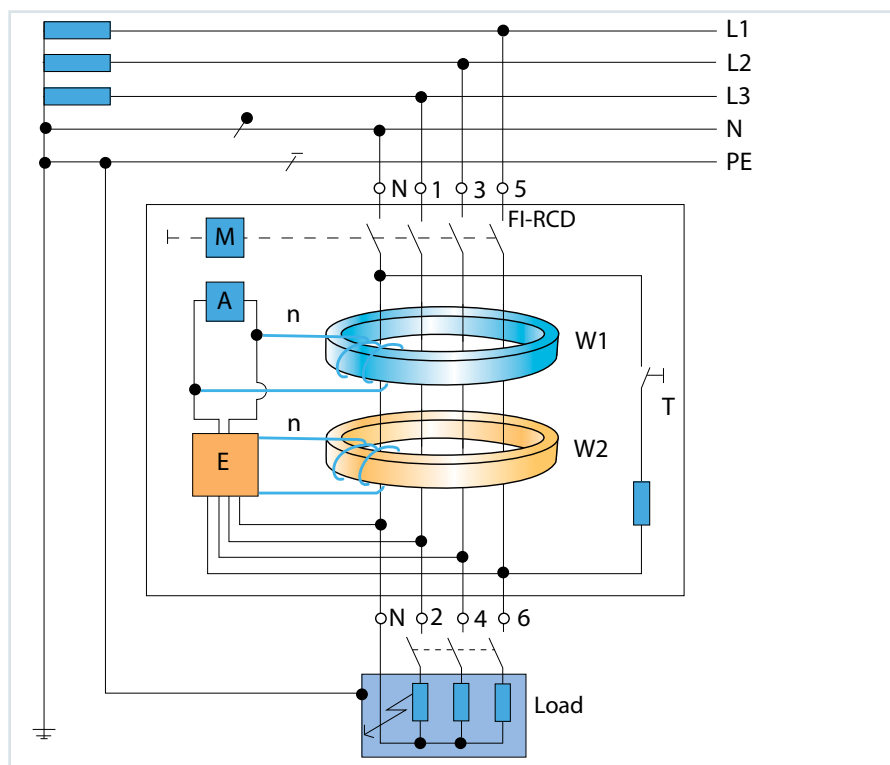
frekvensomformere lækstrøm til jord, som der ved dimensionering skal tages hensyn til. Kontakt producenten af frekvensomformeren vedrørende den type RCD, der anbefales til den aktuelle applikation.

RCD'en skal installeres direkte mellem netforsyningen og ensretteren. Integrering i en hierarkisk struktur med andre RCD'ere er ikke tilladt.

Lækstrømsniveau

Lækstrømsniveauet afhænger af flere faktorer. Generelt er lækstrømme højere i frekvensomformere og motorer med høj effekt. En frekvensomformer i effektområdet 1,5 kW uden dæmpning af radioforstyrrelser og et kort motorkabel (ca. 2 m) vil resultere i en lækstrøm på ca. 4 mA. Kræves der dæmpning af radioforstyrrelser i klasse B, vil lækstrømmen med

samme konfiguration stige til ca. 22 mA. En frekvensomformer på 22 kW med dæmpning af radioforstyrrelser i klasse B og et kort, skærmet motorkabel vil resultere i en lækstrøm på ca. 70 mA. Med hensyn til motorkablet kan regnes med en strøm på 0,5 til 2 mA pr. meter motorkabel. Kabelføring med parvise kabler giver lavere værdier end enkeltkabler.



Type B har to separate overvågningskredsløb: et for ren DC og en anden for fejlstrømme med en AC-komponent.

Praktiske aspekter vedrørende jording og motorbeskyttelse

Jordingsforanstaltninger i praksis

Jordingsforanstaltninger er nærmere beskrevet i afsnittet "Motorer og kabelføring" under Trin 3 (side 31 og frem).

Hvis applikationen kræver eksterne filtre, skal de monteres så tæt på frekvensomformerens som muligt. Kablet mellem filteret og udstyret skal være et skærmet kabel, og filteret skal være tilsluttet jordlederen på netforsyningssiden og komponentsiden. Det anbefales at montere filtret, med en lav impedans mellem filterkapsling og jord.

På grund af frekvensomformerens konstruktion er der en konstant lækstrøm. For at undgå farlige berøringsspændinger skal frekvensomformerne være jordforbundet, iht. stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6 og maskindirektivet EN 60204-1:2006. En frekvensomformer med monteret motorkabel har en lækstrøm som er over 10mA (typiske lækstrømme for frekvensomformere er mellem 10 og 200mA pr. stk.) i sådanne tilfælde er der krav til ekstra pålidelig beskyttelsesleder.

Kravene til ekstra pålidelig beskyttelsesleder beskrives i Stærkstrømsbekendtgørelse afsnit 6 kapitel 707.471.3.3.1 og maskindirektivet EN 60204-1:2006 § 8.2.8.

Bemærk: Selv de bedste foranstaltninger til modvirkning af netforstyrrelse og radiofrekvensforstyrrelse kan ikke anvendes, hvis udførelsen af installationen ikke er i overensstemmelse med god EMC-praksis. Problemer med forstyrrelser kan i sådanne tilfælde ikke undgås.

Motorbeskyttelse og motor PTC-termistor

Frekvensomformere skal også beskytte motoren mod overstrøm. Termistorfølere eller termiske afbrydere i motorviklingerne anvendes til at opnå den bedst mulige motorbeskyttelse. Signalet overvåges med egnede indgangsklemmer på frekvensomformerens.

Beskyttelsesfunktionen med termorelæer er begrænset til montage efter frekvensomformerens og skal være et bimetal termorelæ for det skal kunne modstå de højfrekvente svinger som er på motorkablet.

Bemærk: Mange frekvensomformere har en supplerende funktion, der kaldes "termisk motorbillede". Motortemperaturen beregnes ud fra motordataene og den effekt, der overføres til motoren. Denne funktion implementeres normalt meget konservativt og har ofte tendens til at udløses tidligere end absolut nødvendigt. Der tages ofte ikke hensyn til den faktiske omgivelsestemperatur ved begyndelsen af beregningsprocessen. Denne funktion kan dog anvendes til at give en simpel form for basisbeskyttelse, hvis der ikke findes en anden form for tilgængelig motorbeskyttelse. I VLT® frekvensomformere kaldes denne funktion "ETR".

Praktiske aspekter vedrørende operatørstyring og datavisning

Simpelt betjeningskoncept

Den grundlæggende teknologi for alle frekvensomformere er den samme, hvilket giver en høj brugervenlighed. Det gør det nemt at konfigurere og installere frekvensomformerne, selv om der er mange funktioner som skal fungere med flere forskellige maskiner og systemer.

Løsningerne omfatter både simple numeriske displays og brugervenlige betjeningspaneler, som viser data i tekstform. Simple betjeningspaneler er tilstrækkelige til basale opgaver i forbindelse med aflæsning af driftsparemetre, som f.eks. strøm og spænding.

I kontrast hertil tillader betjeningspaneler med brugervenlige funktioner, at displayet viser yderligere parametre eller viser dem alle på samme tid. Tydelig inddeling af funktioner og nem manuel betjening er også mulig, samt løsninger til adgang med software eller fieldbus, ethernet eller endda fjernbetjent vedligeholdelse med et modem over internettet. En moderne frekvensomformer skal kunne kombinere alle driftskoncepterne nedenfor i ét enkelt apparat eller gøre dem tilgængelige, og de bør som minimum tillade skift mellem manuel betjening og fjernbetjening på et hvilket som helst tidspunkt.



design award
winner

Dette betjeningspanel vandt den internationale iF Design Award for brugervenlighed i 2004. LCP 102 blev tildelt denne udmærkelse blandt 1.000 andre tilmeldte fra 34 lande i kategorien "man-machine and communication interfaces".



Nem idriftsættelse
Funktioner, såsom Danfoss Smart Start, gør idriftsættelse af frekvensomformere betydeligt nemmere. Brugeren bliver hjulpet igennem alle de grundlæggende indstillinger.



Praktiske aspekter vedrørende operatørstyring og datavisning

Drift under lokal betjening

Det grundlæggende krav er understøttelse af lokal betjening vha. et LCP-betjeningspanel. Selv i en tid med stor vægt på netværkskommunikation er der mange opgaver, hvor man skal kunne betjene udstyret direkte, herunder f.eks. idriftsætning, test, procesoptimering og on-site vedligeholdelse af anlægget.

I alle disse tilfælde skal operatøren eller teknikeren kunne ændre lokale værdier for at kunne registrere ændringerne direkte i systemet samt udføre relaterede opgaver, som f.eks. fejldiagnosticering. Til dette formål skal betjeningspanelet kunne levere en simpel og intuitiv grænseflade.

Gennemskueligt display

Den ideelle løsning er et grafisk display, så brugeren kan vælge det ønskede sprog for brugergrænsefladen, og at den grundlæggende displaytilstand er i stand til at vise parametre for den aktuelle applikation.

For at bevare overskueligheden skal denne statusinformation være begrænset til de vigtigste parametre, og det skal altid være muligt at tilpasse eller ændre parametrene. Det er også nyttigt at kunne blokere eller skjule bestemte funktioner i henhold til operatørens viden og at begrænse parametervisningen samt evnen til at tilpasse parametrene til det, der reelt er nødvendigt i forbindelse med procesjustering og -styring.

Med det store antal funktioner, der eksisterer i moderne frekvensomformere, som ofte rummer flere hundrede parametre til optimering, reducerer denne løsning operatørfejl og derved kostbar nedetid og driftsstop i anlægget. Tilsvarende skal displayet have en integreret hjælpefunktion til de enkelte funktioner, så serviceteknikeren altid har adgang til support. Det er især vigtigt ved parametre, der sjældent anvendes, så

operatørfejl kan reduceres til et minimum.

For at opnå den optimale udnyttelse af de integrerede diagnosticeringsfunktioner er det meget nyttigt at kunne vise grafiske diagrammer ("scope function") foruden de alfanumeriske data. I mange tilfælde gør denne form for datavisning, som f.eks. rampeformer og/eller momentkurver, fejlfindingen nemmere.

Ensartet koncept

I vand- og spildevandsanlæg anvendes et stort antal frekvensomformere inden for en bred vifte af applikationer. Frekvensomformerne, som typisk stammer fra den samme producent, adskiller sig primært i forhold til nominel effekt og derfor også i størrelse og udseende. En ensartet operatørgrænseflade for frekvensomformere med samme betjeningspanel for hele effektområdet giver fordele for både projektfolk og operatører.

Det grundlæggende princip er, at en forenklet operatørgrænseflade gør idriftsættelse og fejlfinding (om nødvendigt) hurtigere og mere effektiv. Derfor har koncepter, som er baseret på betjeningspaneler med plug-and-play, vist deres værdi i praksis.

Frembygning i tavlefront

I mange anlæg, hvor frekvensomformere er installeret i tavler, kan betjeningspanelerne monteres i tavlefront for at opnå procesvisualisering. Dette er kun muligt med frekvensomformere, der har aftagelige betjeningspaneler. Med betjeningspaneler, der er integreret i tavlefront med en monteringsramme, kan frekvensomformerens styres uden at man skal åbne tavlen, og dens driftsstatus og procesdata kan aflæses.

***Bemærk:** Sørg for, at frekvensomformerens har det korrekte driftskoncept. Et design, der giver den størst mulige brugervenlighed i forbindelse med parameterkonfiguration og -programmering er en fordel, da basisfunktionaliteten i en frekvensomformer i dag ikke er den eneste vigtige faktor. Hurtig, nem og intuitiv brugerbetjening er også vigtig. Dette er den eneste måde hvorpå man kan reducere arbejdsbyrden og derved omkostningerne til oplæring og de efterfølgende reaktionstider for medarbejdere, der er ansvarlige for arbejdet med frekvensomformere.*

Frekvensomformerparametre kan også konfigureres og aflæses med tavledøren lukket.



Praktiske aspekter vedrørende styring og parameterkonfiguration med PC

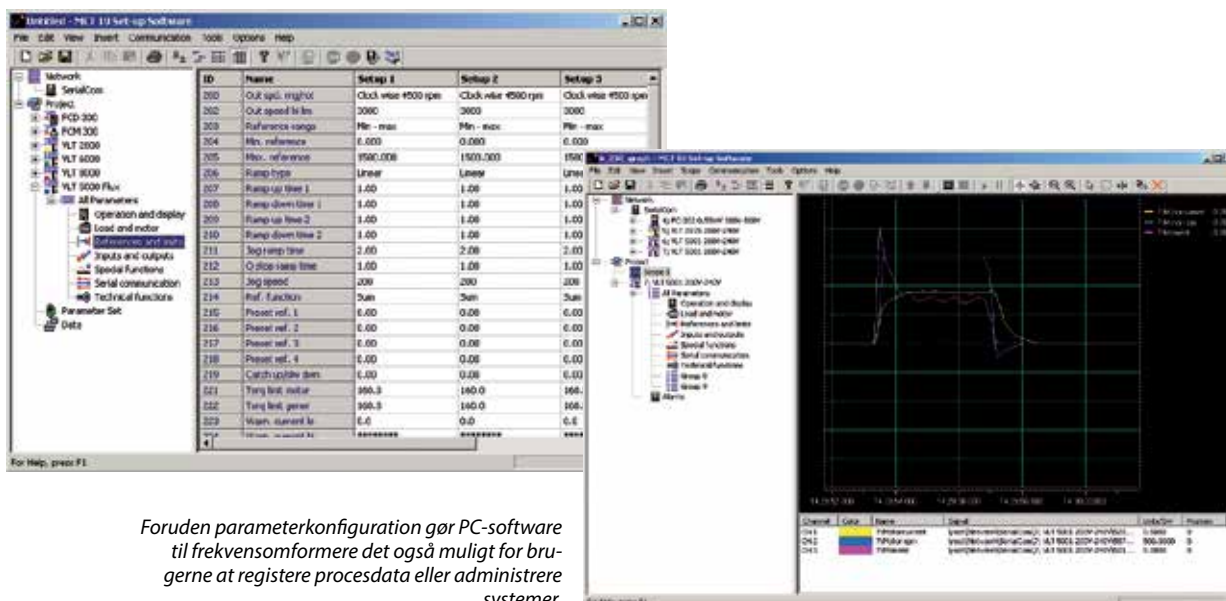
Udvidede valgmuligheder

Foruden betjening med et betjeningspanel tilbyder frekvensomformere typisk konfiguration af supportparametre og dataudlæsning med et PC-program.

Denne software kører typisk i Windows og understøtter flere kommunikationsgrænseflader. Den muliggør dataudveksling med en traditionel RS-485 grænseflade, en fieldbus (Profibus DPV1, ethernet osv.) eller en USB-grænseflade.

En klart struktureret grænseflade giver et hurtigt overblik over alle frekvensomformere i applikationen. Et godt program tillader også, at brugerne kan administrere systemer med mange frekvensomformere. Parameterkonfiguration er mulig online og offline. Ideelt set tillader programmet også, at dokumenter kan integreres i systemet. Det gør det blandt andet muligt at få adgang til elektriske systemdiagrammer eller betjeningsmanualer med programmet.

Bemærk: MCT 10-programmet er et Windows-baseret udviklingsprogram til nem systemudvikling, parameterkonfiguration og programmering af VLT® AQUA Drive frekvensomformere.



Foruden parameterkonfiguration gør PC-software til frekvensomformere det også muligt for brugerne at registrere procesdata eller administrere systemer.



Praktiske aspekter vedrørende dataudveksling

Bussystemer

Moderne frekvensomformere er intelligente, hvilket gør dem i stand til at håndtere mange opgaver i en applikation. Ikke desto mindre kører mange frekvensomformere stadig med blot fire datapunkter med eller uden styring fra en PLC og fungerer blot som hastighedsstyring. Dette betyder, at brugere ikke fuldt ud udnytter de mange nyttige funktioner og ikke har adgang til lagrede systemdata. Det er dog nemt for brugerne at udnytte det fulde potentiale for frekvensomformere ved at bruge fieldbus, som f.eks. Profibus, til at integrere dem i et styresystem. Med blot ét hardware-datapunkt giver dette brugerne fuld adgang til alle parametre for de installerede frekvensomformere. Kabelføring og idriftsættelse er enklere, hvilket medfører besparelser fra installationsfasen og frem. En stor mængde data til effektiv anlægsadministration er tilgængelig. Afkodning af kollektive fejlmeddelelser gør, at fejl endda kan diagnosticeres med fjernbetjening, hvorefter den relevante fejlretning kan igangsættes.

Bedre alarmhåndtering

Detaljerede alarmmeddelelser forenkler fastlæggelse af mulige årsager til fejl, hvilket giver effektiv

support til fjernovervågning af anlægget. Fjernbetjent vedligeholdelse med et modem eller internettet gør, at status- og/eller fejlmeddelelser kan vises hurtigt, selv fjernovervågning.

Bedre anlægsstyring

Operatører i kontrolrum er i stand til at overvåge og justere alle frekvensomformerindstillinger ved fjernbetjening. Statusdata, som f.eks. udgangsfrekvens eller strømforbrug, kan aflæses og behandles på et hvilket som helst tidspunkt. Yderligere data vedrørende energieffektivitet og håndtering af spidsbelastninger er tilgængelig uden yderligere komponenter.

Lavere installationsomkostninger

Det er ikke nødvendigt at udstyre alle frekvensomformere med et display. Brugeren eller operatøren har adgang til alle relevante frekvensomformerdata med styresystemet. Forenklet kabelføring i form af tilslutninger med to ledninger. Frekvensomformerindgange og -udgange, der ikke anvendes, kan bruges som I/O-porte til integration af andre komponenter, som f.eks. følere, filtre og grænseafbrydere i styresystemet. Ingen behov for indgangs- og udgangskomponenter, da et enkelt

hardware-datapunkt er tilstrækkeligt til styring af frekvensomformeren. Overvågningsfunktioner, som f.eks. overvågning af motortermistor, tør-løbssikring osv., samt ydelse og tællere for driftstimer er ligeledes tilgængelige uden yderligere komponenter.

Simpel idriftsættelse

Parameterkonfiguration udføres fra kontrolrummet. Alle indstillinger kan hurtigt og nemt kopieres fra én frekvensomformer til en anden. En sikkerhedskopiering af indstillingerne kan lagres i displayets hukommelse. Designere og idriftsætningsmedarbejdere kan dokumentere indstillingerne ved et tryk på en knap.



Praktiske aspekter vedrørende yderligere udvælgelsesfaktorer

Processtyringsenheder

Moderne frekvensomformere er intelligente i dag. De kan håndtere opgaver og funktioner, som traditionelt håndteres af PLC'ere. De implementerede processtyringsenheder kan også anvendes til at opbygge

uafhængige højpræcisionsapplikationer. Denne type anlæg er især nyttige ved eftermontering af systemer med utilstrækkelig PLC-kapacitet eller helt uden PLC.

Aktive komponenter (transmittere af faktiske værdier for fremløb, tryk eller niveau) kan forsynes med frekvensomformerens 24 VDC-styrespænding, hvis den har tilstrækkelig strømkapacitet.

Vedligeholdelse

De fleste frekvensomformere er stort set vedligeholdelsesfri. Store effekter af frekvensomformere har indbyggede filtre, som skal rengøres alt efter støveksposeringen.

Det skal dog bemærkes, at mange frekvensomformer producenter angiver vedligeholdelsesintervaller for køleventilatorer (ca. 3 år) og kondensatorer (ca. 5 år) i deres udstyr.

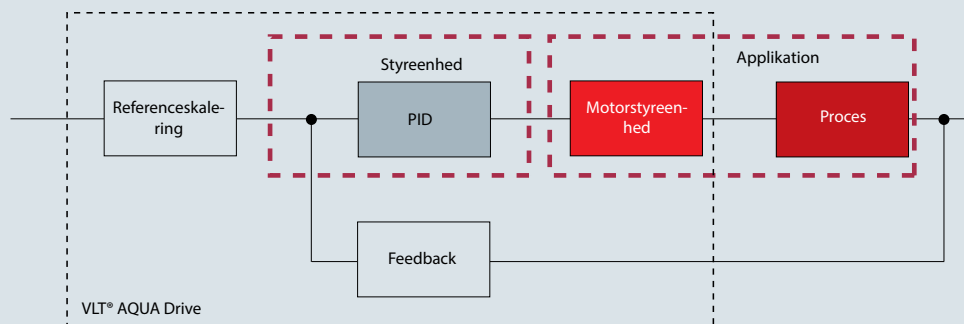
Bemærk: Danfoss VLT®-frekvensomformere op til 90 kW er vedligeholdelsesfri. Effekter på 110 kW eller mere har filtre integreret i køleventilatorerne. De skal kontrolleres jævnligt og om nødvendigt rengøres.

Opbevaring

Som enhver anden form for elektronisk udstyr skal frekvensomformere opbevares tørt. Producentens specifikationer skal i denne henseende overholdes. Visse producenter angiver, at kondensatorerne skal genoprettes periodisk. I denne forbindelse skal brugeren tilslutte frekvensomformereren til en angivet

spænding i en bestemt periode. Denne genopretning er nødvendig pga. kondensatorer i apparatets mellemkreds. Hastigheden for nedbrydelse afhænger af kvaliteten af de kondensatorer, der anvendes i frekvensomformereren.

Bemærk: For VLT® frekvensomformere er der valgt en kvalitet af kondensatorer som kan holde til at være uden spænding mellem 2 - 4 år afhængig af effektstørrelsen uden denne genopretning, men det anbefales at spændingen tilsluttes et par gange hvert år i nogle timer for at sikre at reservelager fungerer når det skal anvendes.



Blokdiagram over PID-processtyringsenheder



VLT® AQUA Drive

VLT® AQUA Drive frekvensomformere leveres i et bredt effektområde og forskellige spændinger. VLT® Low Harmonic Drive-versioner fås også til reduktion af netforstyrrelse.



Danfoss VLT® AQUA Drives er særligt udviklet til vand- og spildevandsapplikationer. I modsætning til mange andre fabrikater er alle vigtige komponenter og funktioner integreret som standard.

- Fuld netspænding ved udgangen
- Lange motorkabler kan tilsluttes (150 m skærmet eller 300 m uskærmet)
- Dimensioneret til lang levetid
- Indbygget RFI-filter i overensstemmelse med EN 61800-3 kategori C1 (klasse B-grænser i henhold til EN 55011)
- Indbygget DC-spoler
- PTC-termistorovervågning
- AEO-funktion for optimal energibesparelse
- Termisk overvågning integreret i frekvensomformeren som software-

motorbeskyttelse, hvilket også tager hensyn til lav intern motorventilation ved lave hastigheder (ikke muligt med traditionelle termorelæer.)

- RS-485 seriel grænseflade
- USB-grænseflade
- Realtidsur
- Tørløbssikring
- Overvågning af udløbsgennemstrømning (Flowkompensering)
- Motoralternering styring efter behov, køretid eller dato.
- Rørfyldningsfunktion til reduktion af vandslag.
- Valgfri option med fieldbusser eller ethernet (også med ekstern 24 V DC strømforsyning)
- Integreret kaskadestyring til tre pumper
- Valgfri basis- eller avanceret kaskadestyring op til 8 pumper

- Valgfri sensorless pumpestyring
- Valgfri aktive og passive netforsyningsfiltre for yderligere reduktion af harmoniske svingninger
- Valgfrit sinusfilter og dv/dt-filter til alle effektområder

Du kan altid finde uddybende information på vores hjemmeside.

www.vlt.dk

Direktiver relateret til frekvensomformere

CE-mærket

CE-mærket (Communauté européenne) har til formål at eliminere de tekniske barrierer for fri handel mellem EU- og EFTA-lande (i ECU). CE-mærket indikerer, at produktproducenten overholder alle gældende

EU-direktiver, som er blevet implementeret i de nationale lovgivninger. CE-mærket angiver intet om produktets kvalitet. De tekniske specifikationer kan ikke udledes af CE-mærket. Direktiverne, som skal overholdes

inden for brugen af frekvensomformere, omfatter maskindirektivet, EMC-direktivet og lavspændingsdirektivet.

Maskindirektivet

Anvendelsen af maskindirektivet 2006/42/EC blev obligatorisk den 29. december 2009. Maskindirektivet 98/37/E blev derved ophævet. Hovedbudskabet i direktivet er, at en maskine, der består af en samlet enhed af internt forbundne komponenter eller apparater, hvoraf mindst

et er i stand til at bevæge sig, skal udvikles på en sådan måde, at sikkerheden og helbredet for mennesker og, hvor det måtte være relevant, husdyr eller materiel ikke udsættes for farer, så længe maskinen er korrekt installeret, behørigt vedligeholdt og anvendes efter hensigten. Frekvensomformere er klassificeret som

elektroniske komponenter og er derfor ikke omfattet af maskindirektivet. Når virksomheder anvender frekvensomformere i maskiner, udarbejder de en producenterklæring, som angiver, at maskinen overholder alle relevante love og sikkerhedsforanstaltninger.

EMC-direktivet

EMC-direktivet 2004/108/EC har været gældende siden 20. juli 2007. Hovedbudskabet er, at apparater, der med sandsynlighed genererer elektromagnetisk forstyrrelse, eller hvis drift på en ugunstig måde påvirkes af en sådan forstyrrelse, skal konstrueres så dannelsen af elektromagnetisk forstyrrelse er begrænset,

og at radio- og telekommunikationsapparater samt andre apparater udviser en passende grad af immunitet over for elektromagnetisk forstyrrelse, når de betjenes i henhold til den tiltænkte brug, så betjening i henhold til den tiltænkte brug er mulig. Da frekvensomformere ikke er apparater, der kan betjenes uafhængigt og ikke

er alment tilgængelige, er det ikke nødvendigt at dokumentere overensstemmelse med EMC-direktivet i form af et CE-mærke eller en EU-overensstemmelseserklæring. Ikke desto mindre har frekvensomformere fra Danfoss CE-mærket som en indikation på overensstemmelse med EMC-direktivet og en overensstemmelseserklæring er også tilgængelig.

Lavspændingsdirektivet

Lavspændingsdirektivet handler om elektrisk udstyr til brug med en nominal spænding fra 50 til 1.000 V AC eller fra 75 til 1.600 V DC skal konstrueres, så sikkerheden og helbredet for mennesker og dyr og samt materielle værdier ikke beskadiges, så længe udstyret er korrekt installeret og vedligeholdes og anvendes efter hensigten. Da fre-

kvensomformere er elektrisk udstyr, der drives inden for det angivne spændingsområde, er de underlagt lavspændingsdirektivet, og alle apparater, der produceres fra 1. januar 1997 og frem, skal udstyres med CE-mærket.

Bemærk: Producenter af maskiner eller systemer skal sikre, at frekvensomformere, som de anvender, er udstyret med CE-mærket. En overensstemmelseserklæring skal fremvises ved anmodning.

Indeks

A

Afkrydsningsliste for design	61
Aggressiv atmosfære/gasser	28
Aktive filtre	17, 18, 20, 46
Ammoniak	28
Amplitude	15
Anlægsjording	38
Antændelsesbeskyttelsesklasse	30
ATEX	30
Automatisk energioptimering (AEO)	9

B

Beboelsesmiljø	22
Begrænsning af startstrøm	8
Belastningsformer	24
Belastningskurver	41, 42
Beskyttelsesklasser	25, 26
Beskyttende jordleder	12, 48
Betjeningspanel	49, 50
Bortskaffelsesomkostninger	10
Bussystemmer	52
Bølgelængde	14

C

CE-mærkning	55
Coatede printkort	28
Common mode-filter	36
Cos ϕ	23

D

Dataudveksling	52
Datavisning	49, 50, 51
DC Link	19, 45
Design for vand og spildevand	7
Direktiver	15, 21, 55
dU/dt-filter	36
Drift med delvis belastning	8, 9
Drift med flere motorer	43
Driftsomkostninger	8, 9, 10
Driftspunkt	8, 9
Driftssted (EMC)	21, 22, 25
Drøvleventil	10

E

EC-motorer	33, 34
Effektfaktor	23
Eftermontering	8, 36
Eksplodingsbeskyttelse (ATEX)	30
Elektromagnetiske bølger	13
EMC	13, 14, 21, 25, 38, 39, 40, 44
EMC-direktivet	55
EMC-kabler	39, 40
Energiomkostninger	10
Energieffektivitet	8, 9
Energibesparelse	9
Ensretter	15, 17, 24, 45, 46

F

Faseforskydning	23
Fejlstrømsafbrydere	47
Flussyre	28
Forurening	28
Forstyrrelsesemission	13
Forstyrrelsesfelter	14
Forstyrrelsesimmunitet	13
Forstyrrelseskilde	14
Forstyrrelsesmodtager	14
Forstyrrelsesoverførsel	12
Forvrængning	15
Forvrængningsniveau	21
Fuld belastning	8

G

Generator	24
Generisk standard	21
Gruppe harmonisk kompensation	18

H

Harmonisk belastning	24
Harmonisk forvrængning	15, 17, 18, 24
Harmoniske filtre	16, 17, 18
Harmoniske strømme	15, 16, 17, 18, 24
Harmoniske svingninger	15

I			L	
Idriftsættelsesomkostninger	10		Lavspændingsdirektivet	55
IE-klasser	32		Lavspændingsnet	12
Ikke-lineære karakteristik	42		LC-filter, -kredsløb	36
Ikke-sinusformet strøm	15		Ledende kobling	14
Indgangsensretter	15		Lejebelastning	35
Individuel harmonisk kompensation	18		Lejestrøm	35
Individuel jording	12, 38		Levetid	8, 27, 29, 41, 42
Induktiv kobling	14		Levetidsomkostninger (LCC)	10
Industriel netforsyning	12		Lineære karakteristik	41, 42
Industrimiljø	12, 25, 27, 39, 40, 43		Low Harmonic Drive (LHD)	17, 19, 46
			Luftgennemstrømning	27, 29
Installationsmåder	25		Luftkonditionering	27
Installationsomkostninger	10		Lækstrøm	47, 48
IP-klasser	26			
Isoleringsbelastning	35		M	
IT-netforsyningssystemer	12		Magnetisk felt	14
K			Maskindirektivet	55
Kabler	39, 40		Materialeslitage	8
Kapacitetsforøgelse	8		Miljø (1 eller 2)	21, 22, 23, 39
Kapacitiv kobling	14		Miljøomkostninger	10
Karakteristikkurver	41, 42		Momentkarakteristik	8, 41, 42
Klor	28		Motorleje	35, 36
Kondens	27		Motorkabel	32, 35, 37, 39, 40
Kondensator	53		Motorvirkningsgrad	31, 33, 34, 35
Konstant karakteristikkurve	41, 42		Motorisolering	36, 37
Korrosion	28		N	
Kvalitet af netforsyningsspænding	15, 16, 17, 18, 19, 20		Nedetidsomkostninger	10
			Netforsyningsanalyse	16
Køleventilatorer	29		Netforsyningsberegning	16
Køling	27, 29		Netforsyningsfiltre	17, 18, 19, 20, 46
Kørselstid, pumpe	10		Netforsyningssystem	12, 23
J			Netforsyningstyper	12
Jording	38, 48		Netforvrængning	15, 16, 17, 18, 19, 24, 45, 46
Jordsløjfe	38			
Jordtilslutning	38		Nettransienter	23
			Nominel motorstrøm	41
			Nulleleder med jord	12
			Nulleleder, separat/kombineret	12
			Nødstrømsgenerator	24

Indeks

O

Offentligt forsyningsnet	12
Omgivelsestemperatur	27
Omkostningsberegning	10
Overbelastningskapacitet	41
Oversynkront område	8, 34
Ozon	28

P

Paralleldrift	43
Passive harmoniske filtre	17, 20, 46
Permanentmagnetmotorer (PM/PMSM)	33, 34
PLC	53
Potentielle energibesparelser	8, 9
Processtyringsenheder	53
Produktstandard	21
Programmering	49, 50, 51
Projektudvikling	7
Proportionalitetsprincipper	9
PTB Atex gokendelse	30
PTC-termistor	30, 43, 48, 54
Pumpesystemer	8, 9

R

Radiofrekvensforstyrrelse	21, 22, 44
RCD (fejlstrømsafbryder)	47
Reaktiv effekt	23
Relativ luftfugtighed	27
Reparationsomkostninger	10
RFI	44
RFI-filtre	21, 22

S

Sinus filter	36
Sinusbølgeforvrængning	15
Sinusformet spænding	15
Skærmning	39, 40
Spændingsfald	37

Standarder for minimumskrav for effektiv virkningsgrad (MEPS)	31, 32
Startstrøm	8
Stråling (EMC)	14
Strømforbrug	9, 15
Støveksposering	29
Svovlbrinte	28

T

Tavlemontering (central montering)	25
Tavlemonteringssæt	50
Tavlerum	27
Termisk belastning	35
THD (total harmonic distortion)	15, 16, 17, 18, 19, 20, 45
Tilbagebetalingstid	8
Tilsluttet belastning	8
TN-netforsyningssystemer	12
Transformer (belastning, udnyttelse)	24, 45
Transienter	23
Trefasede induktionsmotorer (TIPM)	33
Tryk	8
TT-netforsyningssystemer	12

U

Udgangsfiltre	36
Udregning af harmoniske svingninger	16, 24
Underspændingstab	16

V

Varmetab/-afledning	27, 35
V/f-karakteristik	9
Vedligeholdelse	53
Vedligeholdelsesomkostninger	10
Ventilatorfiltre	29
Ventilstyring	8, 9
Virkningsgradsklasser	31
Volumenstrøm	10
Vægmontering (lokal)	25

Forkortelser

AHF	Avancerede harmoniske filtre
ATEX	Atmosphère explosible
CE	Communauté européenne
CEMEP	European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics
EMD	Elektromagnetisk afladning
EMC	Elektromagnetisk kompatibilitet
EN	Europæisk standard
IE	International virkningsgrad (motorer)
IEC	Den Internationale Elektrotekniske Kommission
IP-klasser	Tæthedsklasser
LCC	Levetidsomkostninger
MEPS	Minimum Efficiency Performance Standards
PLC	Programmerbar Logic controller
PTB	Physikalisch - Technische Bundesanstalt
PTC	Positiv temperaturkoefficient
THD	Total harmonisk forvrængning



Afkrydsningsliste for frekvensomformerdesign

De fire trin til design af frekvensomformere til pålidelig drift i vand- eller spildevandsanlæg

Anvendes efter at applikation og momentkarakteristik er blevet fastlagt.

Hvis du afkrydser alle punkter i afkrydsningslisten, kan du forvente problemfri anlægsdrift.



Netforsyningssystemer		
☐	Netforsyningstype: TN-C, TN-S, TT, IT	TN-S fordelagtig i forhold til EMC. Særlige foranstaltninger er nødvendige ved IT-netforsyningssystemer.
☐	EMC	Overhold EMC-standarderne
☐	Netforstyrrelse (lavfrekvent)	Hvor stor er den allerede eksisterende netforvrængning? Hvad er den maksimalt tilladte harmoniske strøm (THD)?
☐	Radiofrekvensforstyrrelse (højfrekvent)	Hvad er anlæggets "Environment" (kontor eller industri).
☐	Udstyr til effektfaktorkorrektion	Anvend udstyr med den højeste power faktor (PF).
☐	Nettransienter	Er frekvensomformeren tilstrækkeligt beskyttede mod transienter?
☐	Maks. transformerudnyttelse	Fingerregel for transformerbelastning: ca. 40 % frekvensomformer belastning med AC- eller DC-spoler.
☐	Drift med en nødgenerator	Andre forhold er gældende ved drift med en nødgenerator end ved netforsyningsdrift.

Omgivelsesforhold		
☐	Installationssted	Frekvensomformeren monteret centralt i en tavle (IP20) eller lokalt på væggen (IP54 eller IP66)?
☐	Kølekoncept	Omgivelsestemperatur og effektiv køling for at minimere temperaturen på de elektroniske komponenter.
☐	Aggressiv atmosfære/gasser	Ekstra coated printkort til beskyttelse mod aggressive gasser: svovlbrinte (H ₂ S), klor (Cl ₂) og ammoniak (NH ₃).
☐	Støveksposering	Støv på eller i frekvensomformeren nedsætter effektiviteten af kølingen.
☐	Potentielt eksplosive atmosfærer	Her er frekvensomformere underlagt restriktioner.





Motor og kabelføring

☐	Motorvirkningsgrads-klasser	Valg af en energieffektiv motor
☐	Motor egnet for anvendelse sammen med frekvensomformer	Kontakt motorleverandøren for at bekræfte egnethed for drift med frekvensomformer.
☐	Udgangsfiltre: sinus eller dv/dt	Supplerende filtre til særlige applikationer.
☐	Motorkabel	Brug et kabel med egnet skærmning. Overhold den angivne maks. kabellængde for frekvensomformerne.
☐	Jordingsforanstaltninger	Sørg for korrekt potentialeudledning. Findes der en plan for jording?
☐	Skærmningsforanstaltninger	Brug EMC-kabelforskrutninger og afslut skærmningen korrekt.



Frekvensomformer

☐	Dimensionering og udvælgelse	Dimension i henhold til motorstrøm. Tag hensyn til spændingsfald.
☐	Særligt tilfælde drift med flere motorer	Der gælder særlige forhold her.
☐	Radiofrekvensforstyrrelse (højfrekvent)	Særligt egnede RFI-filtre til det faktiske EMC-miljø.
☐	Netforstyrrelse (lavfrekvent)	Brug DC-spoler indbygget i frekvensomformerens til reducere af harmoniske strømme.
☐	Jordingsforanstaltninger	Er der udført foranstaltninger til modvirkning af lækstrøm?
☐	HPFI relæer	Brug kun type B.
☐	Motorbeskyttelse og motor PTC-termistor	Frekvensomformerens overvåger motor PTC-termistoren. (EX zone PTB-godkendelse)
☐	Operatørstyring og datavisning	Med operatørstyring og datavisning med tekstdisplay (installeret i i front af tavlen).
☐	Dataudveksling	Med bussystemer, EtherNet eller med konventionel kabelføring mellem klemmer.
☐	Processtyringsenheder	Frekvensomformerne kan udføre PLC-opgaver eller etablere autonome styresløjfer.
☐	Vedligeholdelse	Er frekvensomformerens vedligeholdelsesfri?

Kommentarer

Grundideen i VLT®

Danfoss VLT Drives er markedsførende blandt leverandører af frekvensomformere – og vores markedsandel bliver stadig større.

Miljøbevidst

VLT® produkter produceres med respekt for de ansatte sikkerhed og sundhed samt miljøet.

Alle aktiviteter er planlagt og udføres med tanke på den enkelte ansatte, arbejdsmiljøet og det eksterne miljø. Produktionen foregår med et minimum af støj, røg og anden forurening, og der er tænkt på miljørigtig bortskaffelse af produkterne.

FN Global Compact

Danfoss har underskrevet FN Global Compact-initiativet om socialt og miljømæssigt ansvar, og vores virksomheder handler ansvarligt i de lokale samfund.

EU-direktiver

Alle fabrikker er certificeret i henhold til ISO 14001-standard. Alle produkter opfylder EU-direktiver om produktsikkerhed i almindelighed samt Maskindirektivet. For alle produktserier implementerer Danfoss VLT Drives EU-direktivet vedrørende farlige stoffer i elektrisk og elektronisk udstyr (RoHS) og udvikler alle nye produktserier i overensstemmelse med EU-direktivet om affald af elektrisk og elektronisk udstyr (WEEE).

Indvirkning på energibesparelser

Et års energibesparelser fra den årlige produktion af VLT® frekvensomformere vil spare energi, der svarer til energiproduktionen fra et elkraftværk. Bedre processtyring forbedrer produktets kvalitet samtidig med, at spild og slid i forbindelse med udstyret reduceres.

Dedikeret til frekvensomformere

Dedikation har været et nøgleord siden 1968, hvor Danfoss introducerede verdens første masseproducerede frekvensomformer med variabel hastighed til vekselstrømsmotorer – og gav den navnet VLT®.

Vi har 2.500 ansatte, der udvikler, producerer, sælger og servicerer frekvensomformere og softstartere i mere end 100 lande, og som kun fokuserer på frekvensomformere og softstartere.

Intelligent og nyskabende

Udviklerne hos Danfoss VLT Drives anvender fuldt ud modulære principper inden for udvikling såvel som design, produktion og konfiguration.

Morgendagens funktioner vil være udviklet parallelt med de øvrige funktioner ved brug af dedikerede teknologiplatforme. Dette åbner op for et parallelt udviklingsforløb for alle elementer, samtidig med at der

går kortere tid, før produktet kommer på markedet, og sådan sikrer vi, at kunderne altid kan drage fordel af de nyeste funktioner.

Stol på eksperterne

Vi tager ansvar for hver del af vores produkter. Din garanti for pålidelige produkter er, at vi udvikler og producerer vores egne funktioner, hardware, software, effektmoduler, printplader og tilbehør.

Lokal support – globalt

VLT® motorstyringer anvendes i applikationer over hele verden, og Danfoss VLT Drives' eksperter i mere end 100 lande står klar til at yde support til vores kunder uanset hvor i verden, de befinder sig, herunder applikationsrådgivning og service.

Danfoss VLT Drives' eksperter giver ikke op, før kundens problemer er løst.

