

Maamar Bouchareb
John Philip Gibson
Frank Lubich

Drehzahlregulierung von Kälteverdichtern in Verbundsätzen

– Planung und Ausführung

Die Frequenzumrichter-Technologie (FU-Technologie) ist ein wesentlicher Bestandteil der modernen Kälte- und Klimatechnik. Im Vergleich zur herkömmlichen Kältetechnik sind einige wesentlich Anpassungen für einen sicheren Anlagenbetrieb nötig. Im Beitrag werden die Anlagenauslegung und die Montage der Invertertechnologie im Kältekreislauf näher beleuchtet.

Speed Control of Refrigeration Compressors in Compressor Packs Planning and Installation

Frequency Inverter technology (FI technology) plays an important role in modern refrigeration and air-conditioning technology.

Compared with conventional refrigeration technology, safe reliable operation is only possible if various important modifications to the installation are made.

Keywords: Refrigeration, compressor, speed control, frequency inverter, compressor pack, energy saving, refrigeration design, mechanical and electrical plant installation, intelligent power control

Die FU-Technologie wird seit einigen Jahren mit Erfolg in der Kältetechnik eingesetzt.

Nur durch korrekte Anlagenplanung lassen sich die gewünschten Vorteile der Invertertechnologie in der Praxis erreichen.

Die Planungstätigkeit beginnt mit der Auslegung der Kältetechnik, setzt sich über den mechanischen und elektrotechnischen Anlagenaufbau fort und endet bei der Montage der Kältetechnik mit Inbetriebnahme der Anlagenteile.

Grundsätzlich ist eine frequenzgeregelte Kälteanlage als Weiterentwicklung der konventionellen Verbundtechnologie zu betrachten.

Mit einer modernen drehzahlgeregelten Kälteerzeugung sollen

- Betriebskosten gesenkt
- Kühlgüter positiv beeinflusst
- Anlagenleistungen an den aktuellen Leistungsbedarf angepasst

sowie die Kälteerzeugung sicher und stabil realisiert werden.

Bei der Auslegung der Kälteerzeugung ist eine genaue Betrachtung des zu erwartenden Leistungsprofils erforderlich. Hier ist nicht die kleinste Kühlstelle sondern die geringste zu erwartende Kälteleistung ausschlaggebend.

Die Verdichter werden im Beitrag wie folgt bezeichnet:

Verdichter veränderbarer Drehzahl werden mit VvD, *Verdichter fester Drehzahl* mit VfD bezeichnet.

Grundlage der zu erwartenden Energieeinsparung ist ein konstanter Saugdruck im gewählten Temperaturbereich. Dies bedeutet, dass in allen zu erwartenden Betriebspunkten der Mindestkältebedarf oberhalb der geringsten Kälteleistung des VvD liegt. Wird eine Kälteerzeugung optimal ausgelegt, ist der VvD permanent in Betrieb. Durch den permanenten Betrieb an 365 Tage je 24 Stunden kann die Ver-

dampfungstemperatur um bis zu 5 Kelvin angehoben werden. Somit kann allein durch diesen Umstand zwischen 16 % und 20 % Energie eingespart werden. Weiterhin muss auf eine korrekte Abstufung zwischen VvD und den angegliederten VfD geachtet werden.

Wichtig ist hier die Berücksichtigung des erhöhten Leistungsvermögens der Kältemittelverdichter bei Frequenzregelung. Standardverdichter können je nach Herstellerfreigabe bei einer Frequenz von 65 Hz theoretisch bis zu 130 % ihrer normalen Kälteleistung zur Verfügung stellen. Werden Sondermotore eingesetzt, kann die Kälteleistung theoretisch auf bis zu 175 % der normalen Kälteleistung gesteigert werden.

Der Einsatz von Standard-Verflüssigersätzen muss, unter Berücksichtigung der höheren Kälteleistung und der folglich höheren Verflüssigerleistung überprüft werden. Es kann angenommen werden, dass die elektrische Aufnahme der Hubkolbenverdichter im Verhältnis zur Kälteleistungssteigerung steht.

Als Leitsatz für den Anlagenaufbau kann gelten: „Die zuzuschaltende oder abzuschaltende Leistung muss durch Leistungsreduzierung bzw. Leistungssteigerung des VvD aufgefangen werden“.

Dadurch wird im Zeitpunkt der Leistungsschaltung nahezu keine Leistungsänderung erzielt, sondern lediglich der Startpunkt einer geregelten Leistungsanpassung fixiert. Um diesen positiven Aspekt zu verstärken sollten die VfD mit Hilfe einer Softstarteinrichtung gestartet werden. Auch können zur Leistungsanpassung VvD und VfD mit Leistungsregulierungen bestückt werden. Durch diese Ausrüstung können selbst mit kostengünstigen Duo-Verbundanlagen große Leistungsspektren realisieren werden.

Bild 1 zeigt schematisch das Schalt-/Regelverhalten einer frequenzgeregelten Kälteanlage.

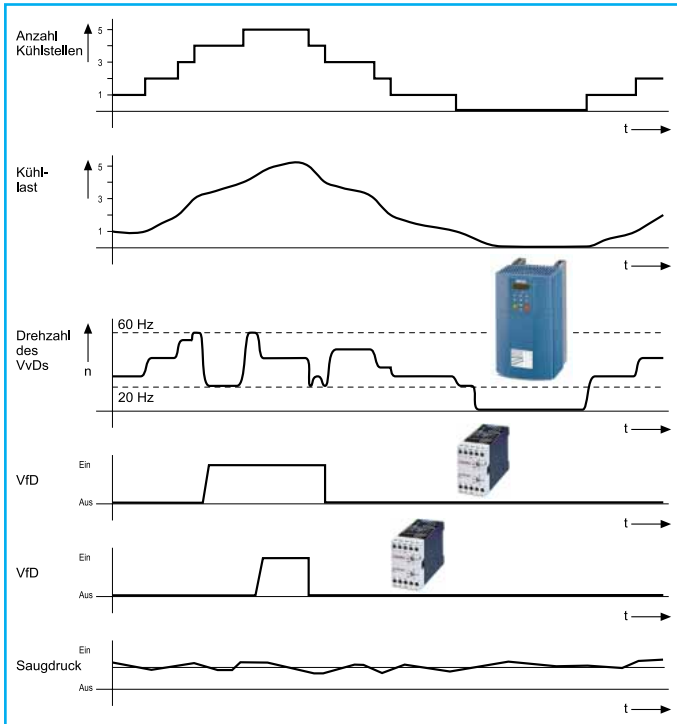


Bild 1 zeigt schematisch das Schalt-/Regelverhalten einer frequenzgeregelten Kälteanlage

Die Erfahrungen aus vielen frequenzgeregelten Kälteanlagen zeigen, dass die Berechnung des erforderlichen Kältebedarfs meist mit zu viel Sicherheit beaufschlagt wird. In der Praxis sind die Anlagen meist für den Betrieb bei maximaler Kühllast überdimensioniert.

Der frequenzgeregelte Verdichter ist somit nicht in der Lage sein Leistungsspektrum vollständig auszuschöpfen. In diesen Fällen läuft der Verdichter bei 50 % bis 75 % seiner Maximalleistung, die zugeschaltete Leistung ist meist zu hoch angesetzt und das Regelverhalten wird stark schwanken. Eine schwankende Regelcharakteristik wirkt jedoch der Forderung nach einem stabilen Saugdruck entgegen und sollte vermieden werden.

Im weiteren Planungsverlauf muss gesteigerter Wert auf die Auslegung des Rohrnetzes gelegt werden. Speziell die Öl-rückführung sollte mit dem Wissen der großen Leistungsspanne eingehend beleuchtet werden. Auf den Einsatz einer doppelt geführten Saugleitung im steigenden Leitungsverlauf sollte im Grenzfall nicht verzichtet werden.

Um die Kälteanlage optimal mit einem intelligenten Frequenzumformer betreiben zu können, ist es erforderlich die Eigenheiten der elektrotechnischen Aufbauten und die Möglichkeiten der Standardprogramme zu verinnerlichen. Hier gibt es auf Anfrage bei der Firma Kimo Industrie-

elektronik Erlangen einschlägige Dokumentationen zur Anlagenplanung.

Bild 2 und Bild 3 sind Auszüge aus dem Softwaremanual Version 2.2 der *Kimo Industrie-Elektronik GmbH* und beschreiben den elektrotechnischen Aufbau sowie bieten sie ein Beispiel der Steuerungseinbindung.

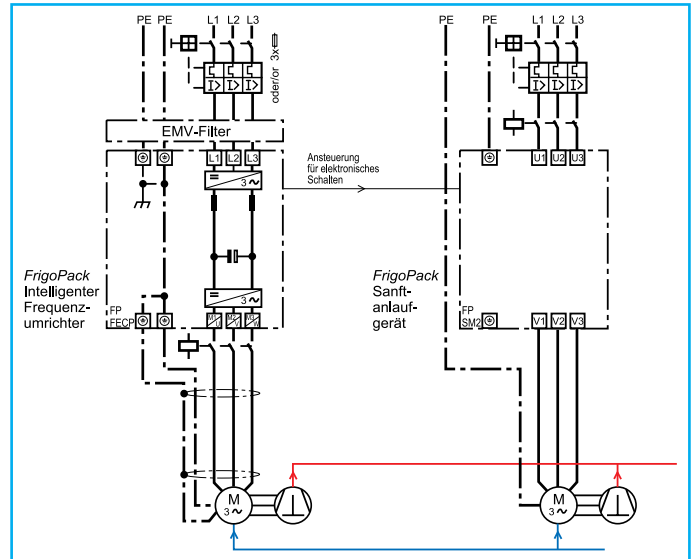


Bild 2: Prinzipschaltbild der Leistungsverdrahtung

Zusammenfassend lassen sich für die Anlagen-Planung folgende wichtige Punkte darlegen

- Kältemaschine nach dem minimal zu erwartenden Leistungsbedarf ausrichten
- Leistungsstufen an die kältetechnische Installation anpassen
- Kälteleistung ohne Angstzuschläge berechnen
- Verflüssiger bei Maximalfrequenz der Verdichter wählen
- Elektrotechnische Erfordernisse abwägen
- Standardprogramme einbinden

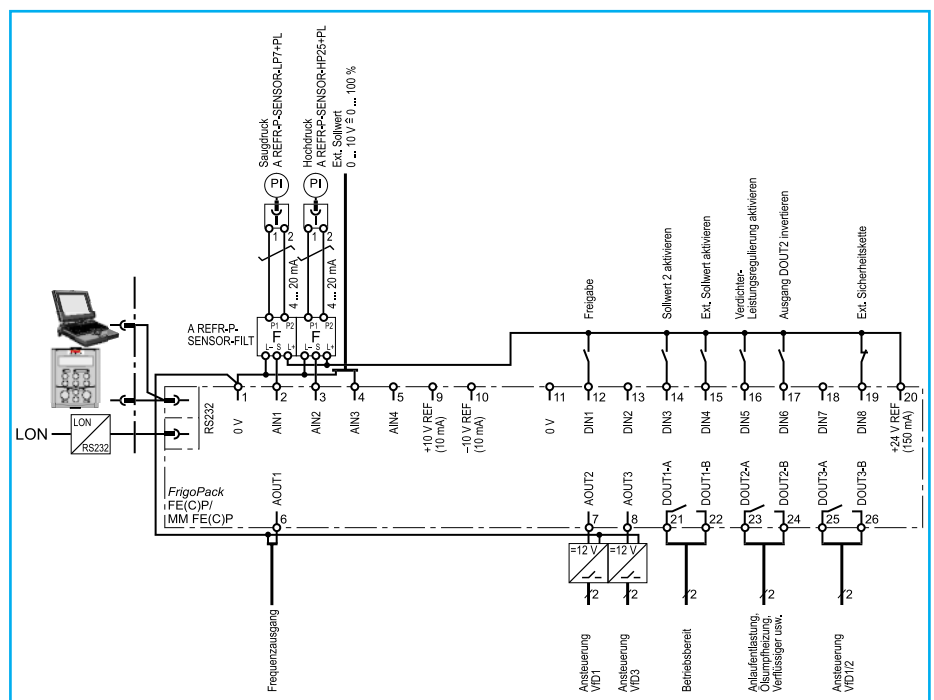


Bild 3: Schaltungsvorschlag der Standardvariante 2

In bezug auf die mechanische Ausstattung des Kälteerzeugers lassen sich nachfolgende Besonderheiten herausstellen.

Grundlegend für den Anlagenaufbau ist die Wahl der geeigneten Verdichter.

Geeignete Verdichter für den Einsatz am Frequenzumformer sind die Typen mit der größten Motorbaureihe innerhalb der Verdichter-Leistungs-Stufe. Mechanisch sind Hubkolbenverdichter sowie Schraubenverdichter in den gewählten Grenzen geeignet, jedoch sind Scrollverdichter nur mit Einschränkungen geeignet.

Ein besonderes Augenmerk sollte auf eine gute Schwingungsentkoppelung der Verdichterbaugruppe innerhalb der Kältemaschinen gelegt werden. Frequenzgeregelter Verdichterbaugruppen sind starr auf einem Grundrahmen zu montieren. Die den Verdichtern beiliegenden Schwingmetalle sind beispielsweise durch Kunststoff oder Aluminiumblöcke zu ersetzen. Dadurch werden eventuell auftretenden Schwingungen beherrschbar und müssen erst im Übergang zum Maschinenbau gedämpft werden. Hier sollte die Verdichterbaugruppe mit Hilfe von Elastomeren im Maschinenaufbau schwingungsentkoppelt werden. Im schwingungsentkoppelnden Übergang sind die starren Rohrleitungen mit Rohrleitungsschwingungsdämpfern zu versehen.

Bild 4 und Bild 5 verdeutlichen die beschriebenen Aufbauempfehlungen.

Gesteigerter Wert sollte auf die Überwachung des Ölniveaus in den Kältemittelverdichtern gelegt werden. Eine ausreichend bemessene Ölausgleichsleitung zwischen den einzelnen Verdichtergehäusen ist von großer Bedeutung. Vorteilhaft ist die Installation einer zusätzlichen Verbindungsleitung für den Gasausgleich. Sollten der Öl-/Gasausgleich nicht korrekt bemessen sein, wird das Kältemaschinenöl innerhalb des Verdichterverbundes verlagert. Dies hat unterschiedliche Ölniveaus in den Kurbelgehäusen zur Folge. Es können maximale Ölstände überschritten und minimale Level erreicht werden.

Somit könnten Verdichter mit mangelhafter Schmierung starten, im gleichen Moment können die im Betrieb befindlichen Verdichter Schaden durch Ölüberfüllung nehmen.

Der Einsatz einer modernen elektronischen Öl-Niveau-Überwachung mit Alarmmeldung ist in den meisten Fällen nicht als überflüssig anzusehen.

Soll auf einen Ölausgleich verzichtet werden, sind strömungsangepasste Saugsammelkollektoren zwingend erforder-



Bild 4:
Schwingungsentkoppelung der Verdichterbaugruppe

lich. Der Öltransport zu den Verdichtern erfolgt in diesem Falle aus dem Sammelkollektor über die Saugleitung zum jeweiligen Verdichter. Diese Art der Ölrückführung sollte jedoch nur bei Lösungen mit planbaren Verhältnissen angedacht werden.

Werden Kälteanlagen in den thermischen Grenzbereichen betrieben sind die Einsatzgrenzen der Verdichter mit den jeweiligen Herstellern abzustimmen. Grundsätzlich sollten Verdichter im Tieftemperaturbereich sowie einige Zweizylindermodelle mit erhöhter minimaler Frequenz betrieben werden. Dies sichert Motor Kühlung, Öltransport sowie Startvermögen der Verdichter. Der Einsatz eines Druckgasüberhitzungsschutzes kann vorteilhaft im Bezug auf Maschinensicherheit und Anlagenlebensdauer sein.

Zusammenfassend lassen sich für den mechanischen Aufbau folgende wichtige Punkte darlegen

- Mechanischen geeignete Verdichter auswählen

- Stärkste Motorvariante der Verdichtersbaureihe wählen
- Starre Montage der Verdichter einschließlich der zugehörigen Bauteile
- Öl-Gasausgleich großzügig bemessen
- Öl-Level-Control in Betracht ziehen
- Druckgas-Temperaturüberwachung in Betracht ziehen
- Einsatzgrenzen der Verdichter bei Frequenzregelung beleuchten

Für die elektrotechnische Ausstattung des Kälteerzeugers lassen sich nachfolgende Besonderheiten herausstellen.

Die Frequenzumformer erzeugen hochfrequente Oberwellen. Diese Hochfrequenzen erzeugen bei unsachgemäßer Abschirmung der Motorleitungen Störungen in benachbarten Leitungen und Baugruppen. Hochfrequente Ströme werden auf der Leiteroberfläche transportiert!

Somit ist ein großflächiger Abgriff der Schirmung von großer Bedeutung. Zusammengedrückte Schirmungen wirken wie Sendeantennen und bilden einen

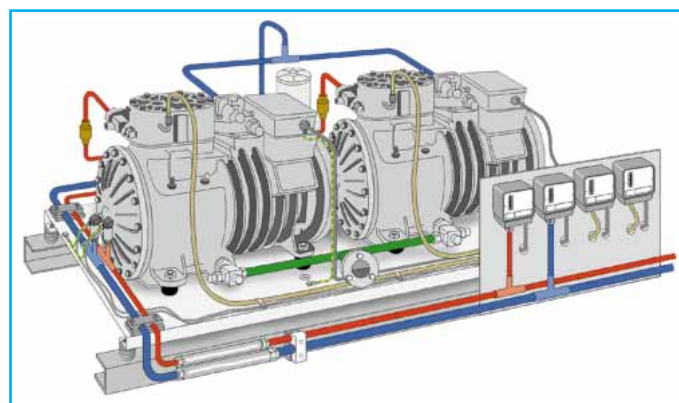


Bild 5:
Graphische Darstellung des Anlagenaufbaus

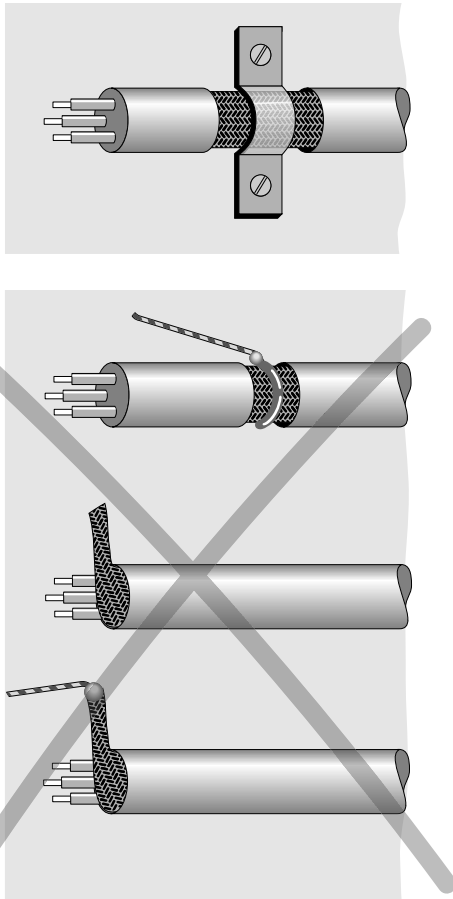


Bild 6: Leitungsschirmung

Ausgangspunkt für die Störung anderer Baugruppen. Bild 6 zeigt den sachgemäßen Abgriff der Schirmung und die wirkungsvollste Möglichkeit der Leitungsschirmung.

Wichtig ist Leitungen mit Kupferschirm zu verwenden. Die Leitungen sind unter der Bezeichnung YSLY-CY-xxx zu beziehen. Die Schirmung an Hochfrequenzleitungen sind beidseitig anzubringen, das heißt an jedem Kabelende! Analoge Sensorleitungen sind in den gleichen Leitungstypen zu führen, jedoch ist der Schirm einseitig am Frequenzumformer auf Masse zu führen. Bild 7 zeigt symbolisch ein Aufbau mit elektrotechnischer Anschlussabfolge der zu schirmenden Leitungsabschnitten im Lastkreis des Frequenzumformers.

Die Leistungsteile der Frequenzumformer, Filter und Schaltgeräte sind durch Erdungsbänder direkt mit der Montageplatte zu verbinden.

Zum Schutz der Steuerungen sind alle Schaltgeräte mit RC-Gliedern zu entstören!

Zu empfehlen ist der Einbau von analogen Filterbaugruppen im Schaltschrank.

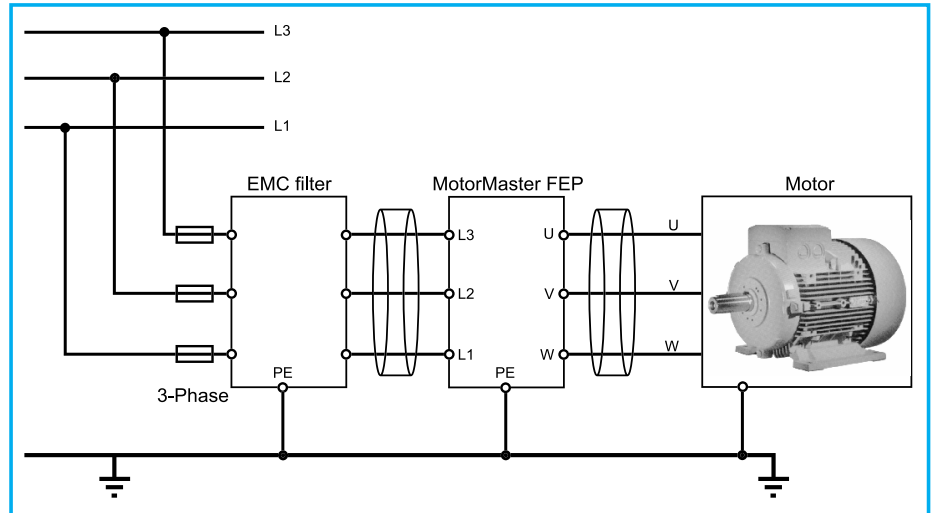


Bild 7: Installationsbeispiel Laststromkreis

Die Regelsignale werden hier nochmals geglättet und die Regelgüte der Anlage angehoben. Bild 8 stellt die Einbindung der Filterbaugruppen in die Sensorverdrahtung dar.

In kritischen Anlagenkonstellationen ist der Einsatz von Motorfiltern zwischen Frequenzumformerausgang und Motor zu empfehlen.

Dadurch wird aus der puls-weiten-modulierten Blockspannung ein sinusförmiger Spannungsverlauf generiert und dem Motor zur Verfügung gestellt. Wichtig ist dies bei Motoren mit schwach bemessenen Wicklungen und Standardlüfter auf Wärmetauschern.

Die Geräteanordnung muss so gewählt werden, dass die vom Verdichterhersteller

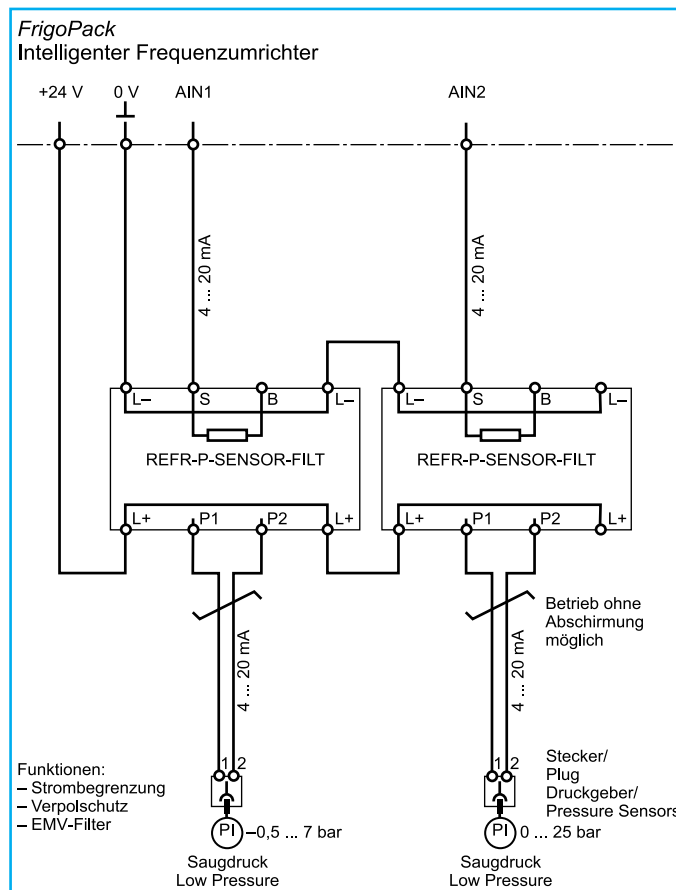


Bild 8: Schema Signal-filter



Bild 9: Abstände zur Gerätemontage

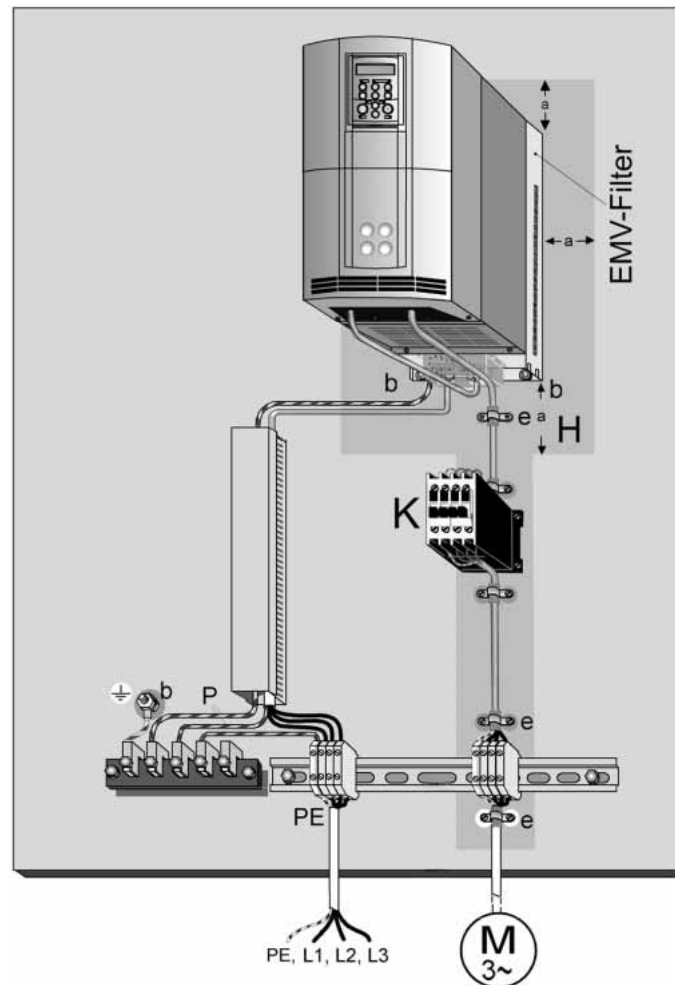


Bild 10: Abstände bei EMV-gerechter Leitungsverlegungen

vorgegebene Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung eingehalten wird. Die Norm gibt hier in der DIN VDE 530 einen Wert von $du/dt < 1300 \text{ V/ms}$ vor. Dieser Wert ist für Standardmotore gültig und weicht von den Grenzwerten bei der Frequenzregelung mit freigegebenen Motoren ab.

Als Fehlerstromschutzschalter müssen allstromsensitive Geräte zu Einsatz kommen. Die Geräte sind normal über den Fachhandel zu beziehen. Werden abweichende Geräte verwendet muss durch den über die Abschirmung abfließenden induzierten Strom bei normalem Betrieb mit fehlerhaftem Auslösen der Schutzeinrichtung gerechnet werden. Es kann in extremen Situationen auch keine Auslösung erfolgen, wodurch in diesen Fällen kein effektiver Schutz gewährleistet ist.

Die Leitungsquerschnitte sind entsprechend den Tabellen der FU-Hersteller zu wählen. Abweichende Querschnitte sind lediglich bei Einsatz einer zusätzlichen, entsprechend Leitungsquerschnitt bemessenen Schutzeinrichtung zulässig. Hier sind die maximal auftretenden Stromstärken in den einzelnen Anlagen-

teilen als Bemessungsgrundlage heranzuziehen.

Leitungslängen von bis zu 30 m können bei Einhaltung der Richtlinien problemlos realisiert werden. Werden vom Frequenzumformer ausgehend mehrere Antriebe gleichzeitig gespeist, sind die Einzelängen zu addieren. Überschreitet die Motorleitungen die vom FU-Hersteller freigegebene Leitungslänge, wird der Einsatz einer Motordrossel nötig. Diese Motordrossel ist auf den entsprechenden Frequenzumformer abzustimmen.

Mit Hochfrequenz belastete Leitungen sind grundsätzlich separat von Steuer- und Sensorleitungen zu verlegen. Dieser Grundsatz gilt innerhalb von Schaltanlagen und im Besonderen in der anlagentechnischen Elektroinstallation. Sollte in der anlagentechnischen Installation eine separate Leitungsführung nicht realisierbar sein, ist die Verlegung der abstrahlenden, „hochfrequenten“ Leitung in einem geerdeten Stahlrohr zu empfehlen.

Innerhalb der Schaltanlage ist der Frequenzumformer unter Einhaltung der Herstellervorgaben zu montieren. Bild 9 und Bild 10 zeigt stellvertretend die vor-

gegebenen Abstände zu anderen Baugruppen.

Von Wichtigkeit ist die Einhaltung der thermischen Grenzwerte der im Schaltschrank eingebundenen Baugruppen. Bei Installation von Frequenzumformern und Sanftanlaufgeräten ist es unumgänglich eine gute Wärmeabfuhr zu realisieren.

Die Schaltschranklüftung oder -kühlung ist entsprechend der vom Gerätehersteller angegebenen Verlustleistungen zu berechnen.

Näherungsweise kann je 100 Watt Abwärme eine Luftleistung von $60 \text{ m}^3/\text{h}$ angenommen werden.

Werden die thermischen Grenzen von maximal 40 °C nicht eingehalten, unterliegen die Baugruppen einem erhöhten Verschleiß und schalten bei Erreichen der maximal zulässigen Betriebstemperatur selbstständig ab. Dies kann die Abschaltung von Anlagenteilen oder zum Totalausfall der gesamten Installation führen.

Will man Standardmotore bei 65 Hz betreiben, ist eine Spannungsanhebung durch den Einsatz eines Trafos in der Ein-

speisung des Frequenzumformers erforderlich. Diese Transformatoren heben die Spannung beispielsweise von 400 Volt auf eine Ausgangsspannung von 440 Volt an, wodurch das Verhältnis von Spannung zu Frequenz für den Motor konstant gehalten wird.

Zusammenfassend lassen sich für den elektrotechnischen Aufbau folgende wichtige Punkte herausstellen

- Schirmung der Leitungen großflächig abgreifen und auf Masse führen
- Bei Motorleitungen beidseitig die Schirmung auf Masse führen
- Schirmung der Sensorleitungen einseitig am Frequenzumformer auf Masse legen
- Steuerelektronik zusätzlich mit Erdpotential verbinden
- Schütze mit RC-Gliedern beschalten
- Leitungslängen beachten
- Sensorfilter einplanen
- Maßnahmen zur sicheren Abfuhr der Verlustwärme ergreifen

Sind die vorbeschriebenen Ausführungen, ausgehend von Anlagenplanung über den Bau der Kälteanlage einschließlich der Schaltungstechnik bis zur Montage vor Ort beachtet worden, steht einer problemlosen Inbetriebnahme und dem störungsfreien Anlagenbetrieb nichts entgegen.

Ausblick

In einer Zeit allgemeiner Energieverteuerung und steigender Umweltauflagen ist es um so bedeutsamer geworden, Energie zu sparen.

Im Gegensatz zum Stufenschaltwerk ist die stufenlose Leistungsregelung von Verdichtern durch Drehzahlveränderung mittels Frequenzumrichter eine optimale Lösung.

Die Verdichterleistung wird exakt an die erforderliche Kälteleistung angepasst, ohne den optimalen und gewünschten Arbeitspunkt zu verlassen, der Wirkungs-

grad des Verdichters wird erheblich verbessert.

Durch die, auch bei Lastschwankungen der Kühlanlage, nahezu konstanten Druckverhältnisse im Sauggasbereich, werden folgende Vorteile erzielt:

- Reduzierung von Temperatur Schwankungen an den Kühlstellen.
- Höhere relative Luftfeuchtigkeit.
- Verbesserte Kühlgut Qualität.
- Reduzierung des Vereisungsgrades der Verdampfer.
- Verlängerte Abtauintervalle.

Nähere Ausführung in der kommenden Ausgabe der KI Luft- und Kältetechnik

Schlüsselwörter

Drehzahlregulierung von Kältemittelverdichtern

Energieeinsparung

Auslegung der Kältetechnik

mechanischer und elektrotechnischer Anlagenaufbau

intelligente Leistungsregelung