

Technische Informationen zu allpolige Sinusfilter

1, Begriffe

Ableitstrom:

Der **Ableitstrom** gehört nicht zum Betriebsstromkreis, sondern ist ein Strom, der beim Betreiben eines Gerätes, zum Erdungssystem bzw. zum Schutzleiter fließt. Er kann sich unterteilen und wird hervorgerufen durch:

- Isolationswiderstände von Kabeln, Leitungen oder Betriebsmittel
- Entladewiderstände für Kondensatoren innerhalb der Betriebsmittel
- Parasitäre Ableitkapazitäten angeschlossener elektrischer Betriebsmittel
- Parasitäre Ableitkapazitäten der Kabel und Leitungen

Die Ableitströme stellen ein Sicherheitsrisiko für den Benutzer dar und werden deshalb in den verschiedenen Normen / Produktnormen mit Obergrenzen festgelegt. Oftmals berechnen die Hersteller diese Ströme und haben eine unterschiedliche Auffassung und Herangehensweise zur Ermittlung. Eine eindeutige gesetzliche Regelung ist nicht vorhanden / nicht bekannt. Daher sind die Angaben der Hersteller mit Vorsicht zu betrachten und gegebenenfalls nachzufragen um sinnvolle Vergleiche zu ermöglichen.

Der **Schutzleiter** hat die Aufgabe, bei Fehlfunktionen und Kurzschlüssen den Benutzer vor gefährlichen Berührungsspannungen zu schützen. Um dieses zu gewährleisten muss der Ableitstrom auf ein Minimum beschränkt bleiben.

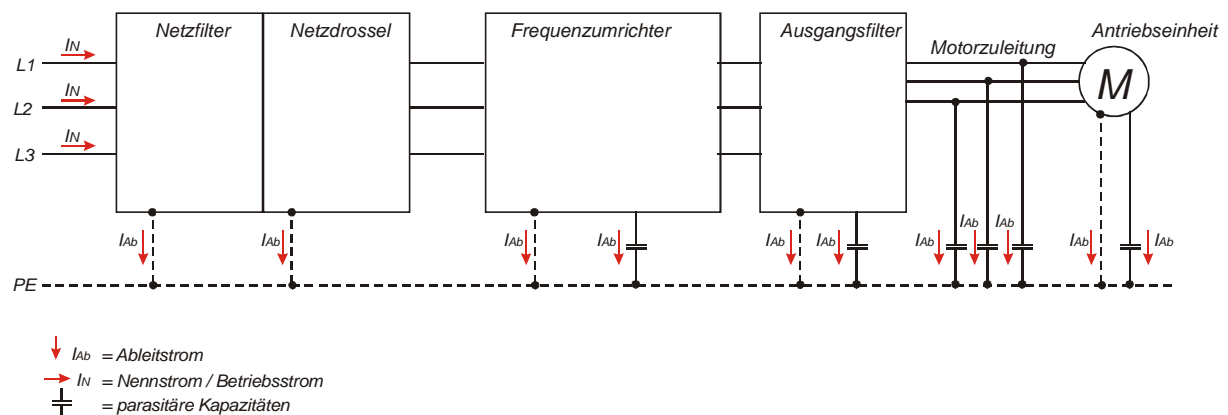
Im **Betriebsstromkreis** fließen die Ströme (Lastströme, Nennströme) durch die Leiter L1, L2, L3, N zum Verbraucher und zurück.

In elektrischen Anlagen mit Frequenzumrichter ist die Höhe des Ableitstromes von der Motorleitungslänge und von der Taktfrequenz abhängig.

Zusätzlich treten bei Schaltvorgängen hochfrequente Spannungsspitzen in den stromführenden Leitern auf, die über die Kapazitäten gegen Erde / Schutzleiter abgeführt werden (Transienten).

Auch EMV-Filter führen Ableitströme gegen PE.

Beispiel für Ableitstrom I_{Ab}



EMV-Filter:

EMV-Filter sind Kombinationen von Induktivitäten und Kapazitäten. Die Schaltungen sind unterschiedlich und werden je nach Ziel der Anwendungen ausgelegt.

Y-Kondensatoren leiten den Strom gegen PE ab (Ableitstrom). X-Kondensatoren wirken zwischen den Phasen L1, L2 und L3, gegebenenfalls zu N.

EMV-Filter werden eingesetzt um hochfrequente Störgrößen auf ein vertretbares Maß (meist gesetzlich vorgeschrieben in den Normen) zu reduzieren. Diese Störungen können sowohl vom Netz in die Anlage (in das Betriebsmittel) gelangen, deshalb auch **Netzfilter** genannt, als auch umgekehrt.

Als **ableitstromarme Filter** gelten, wenn in der Regel ein Ableitstrom $< 3,5 \text{ mA}$ auftritt. Dies erreicht man durch kleinere Y-Kondensatoren und Erhöhung der Induktivität (zur Einhaltung der EMV-Norm-Kurven). Auch durch Einsatz von 4-Leiter-Filtern wird der Ableitstrom reduziert, da der meiste Störstrom über den N-Leiter abfließen kann. Ein Rest verbleibt und fließt zum Schutzleiter. Zu beachten ist, dass bei ableitstromarmen Filtern sich die vorgeschriebene Motorleitungslänge drastisch verkürzen kann.

Bei Frequenzumrichtern kommen häufig auch am Ausgang zum Motor Filter vor, so genannte Sinusfilter. Je nach Notwendigkeit werden auch dU/dt -Filter zur Verringerung der Spannungssteilheit eingesetzt. Hier gilt es lediglich die Lebensdauer der Motorisolation zu erhöhen.

Sinus-Filter:

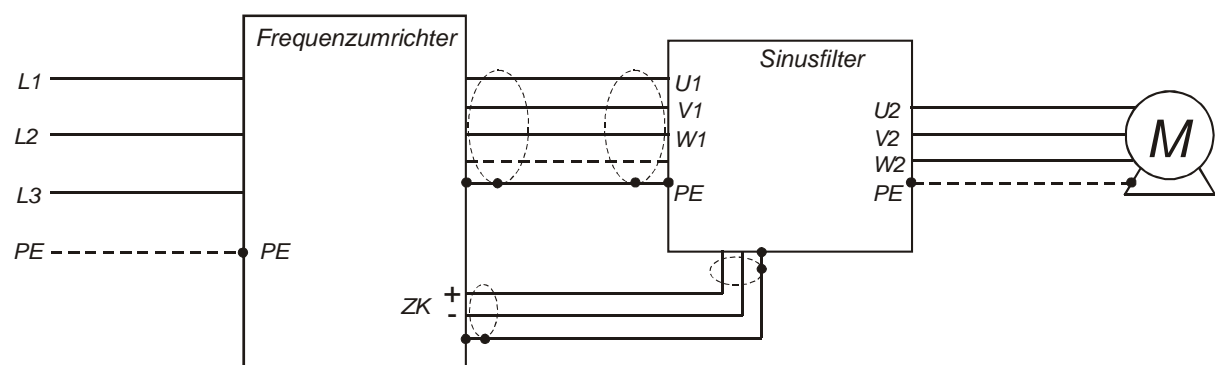
Sinus-Filter reduzieren die Störgrößen aus dem Umrichter auf ein Minimum, zur Verbesserung der Antriebsqualität (Verringerung der Geräusche ...) und Erhöhung der Lebensdauer des Motors. Sie ermöglichen den Einsatz von ungeschirmten Kabeln. Damit reduzieren wir den Ableitstrom um Faktor 2 bis 3 gegenüber geschirmten Kabeln.

Möglichkeiten der Ableitstromreduzierung ergeben sich auch mit Lagerstromdrosseln oder so genannten REOPERM –Kernen. Der optimale Schutz ist aber das PE-wirkende Sinusfilter auch allpoliges Sinusfilter genannt.

PE-wirkende Sinusfilter / allpoliges Sinusfilter

Das Prinzip dieser Sinusfilter beruht auf die Rückführung der Störströme aus den Betriebsstromleitungen nach dem Umrichter, in den Zwischenkreis zurück. Dadurch haben diese nicht mehr die Möglichkeit zu PE zu fließen.

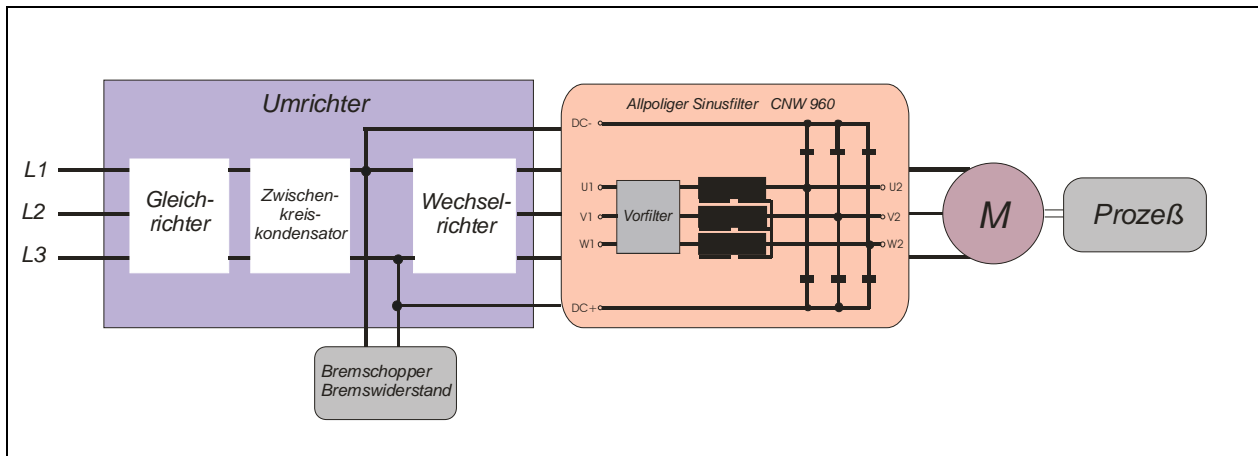
Beispiel:



2. technische Hintergründe

Allpolige Sinusfilter sind für die Beschaltung des Ausgangs von Spannungswischenkreisumrichtern konzipiert. Sie haben die Eigenschaft, aus der pulsweitenmodulierten Ausgangsspannung eine sinusförmige Spannung zwischen den Phasen als auch zum PE-Leiter zu bilden. Die hohe asymmetrische Störkomponente wird stark herausgefiltert.

Prinzipschaltbild:



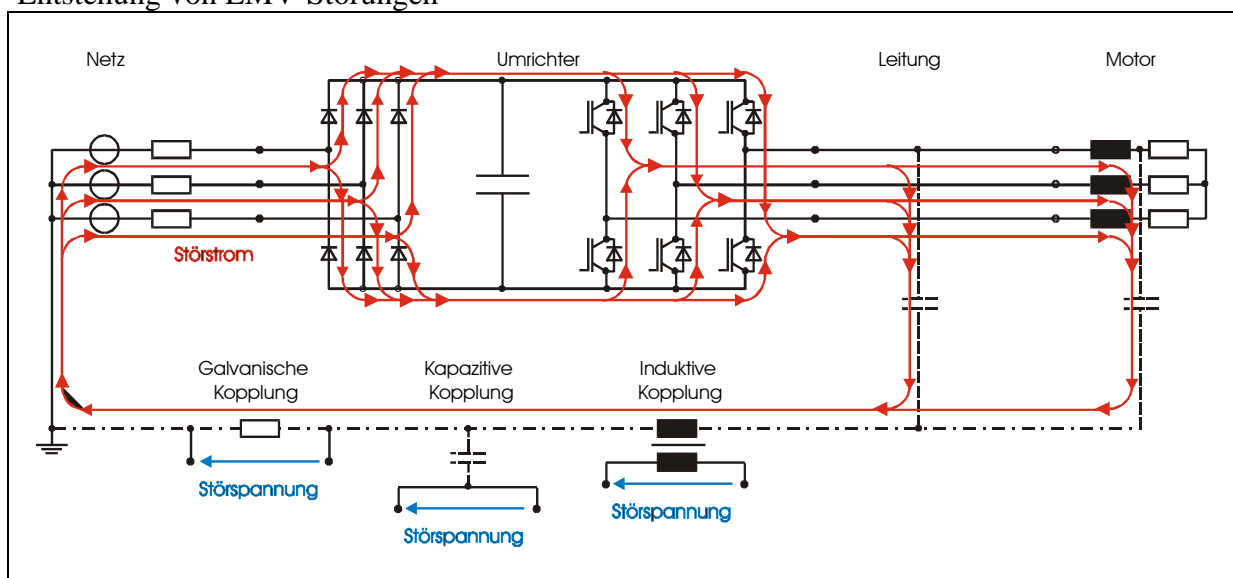
Analyse der Störungen am Umrichterausgang

Zunächst stellen sich die Fragen, wo entstehen bei Zwischenkreisumrichtern die HF - Ströme, welche Probleme sind hiermit verbunden und wie können diese HF - Ströme eliminiert werden?

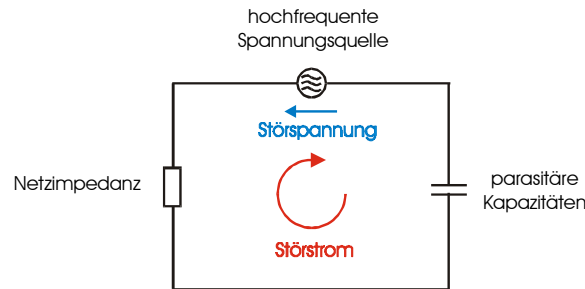
Fakt ist, diese HF - Ströme lassen sich nicht eliminieren, man kann diese Störungen nur auf ein Minimum dämpfen.

Zur Veranschaulichung der Entstehung von EMV-Störungen soll folgendes Bild dienen.

Entstehung von EMV-Störungen



Die Pulsweitenmodulation besteht aus Rechteckimpulsen. In einem Rechteckimpuls sind theoretisch alle Frequenzen enthalten. Die Amplitude nimmt dabei um 40dB pro Dekade ab. In der Praxis sind dies harmonische Oberwellen der Taktfrequenz und reichen bis einige 10MHz. Sie fließen über Leitungs-, Filter-, Gehäuse- und Motorkapazitäten, Schutzterde und Netzimpedanz, und bilden einen Störstromkreis. Hieraus ergibt sich ein **EMV-Ersatzschaltbild**.



Bestimmt man alle Kapazitäten und die Netzimpedanz lässt sich der Störstrom ausrechnen. Dieser Störstrom kann durch galvanische, kapazitive und induktive Kopplung in andere Anlagenteile als Störspannung anliegende und diese bis zum Ausfall der Funktion beeinflussen.

Der ideale Lösungsansatz ist die Schaffung eines niederohmigen Stromfades zurück in den Zwischenkreis. Durch Verkleinerung der Leiterschleife (Netzimpedanz) und Vergrößerung der Kapazität im EMV-Ersatzschaltbild wird die Amplitude des Störstromes größer.

Vorteil: Es fließen nur ganz geringe Störströme durch andere Anlagenteile.

Nachteil: Die Transistoren / IGBT's der Endstufe im Umrichter werden sehr stark zusätzlich belastet und die Verlustleistung des Umrichters erhöht sich.

Aus der Praxis ergeben sich zwei entscheidende Probleme:

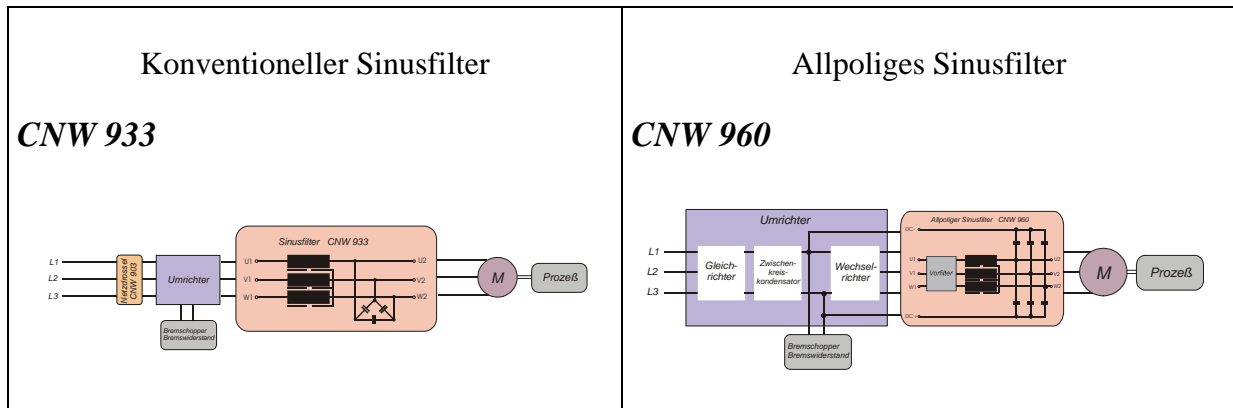
1. Durch das Schalten von Kondensatoren auf PE hinter einem Sinusfilter verändert man die Potentialverteilung im Zwischenkreis. Der Umrichter schaltet ab, da sonst die Zwischenkreiskondensatoren explodieren.
2. Durch hohe Kapazitäten, welche im HF-Bereich ausreichend niederohmig sind, zwischen den Ausgängen und dem Zwischenkreis können die Transistoren / IGBT's im Umrichter abbrennen.

Hier kann nur ein Kompromiss zwischen

- Funktion und Verluste des Umrichters und
- die Störaussendung auf andere Anlagen, die Lösung sein.

Auch die Kosten spielen eine Rolle.

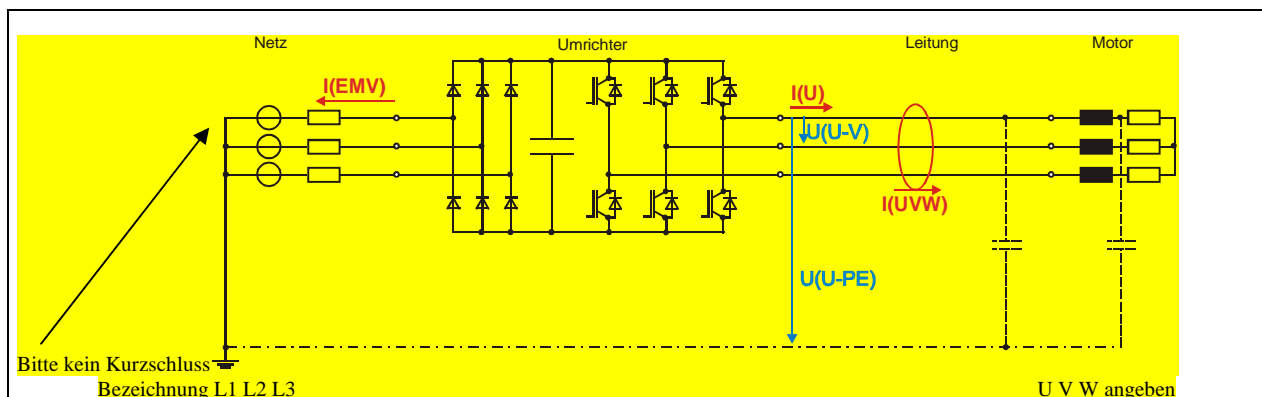
Vergleich der Schaltung



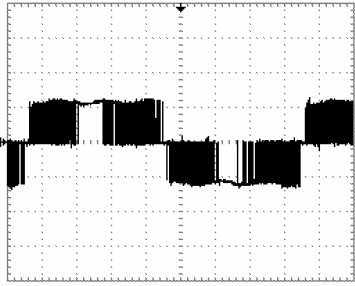
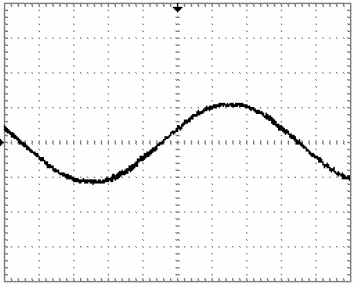
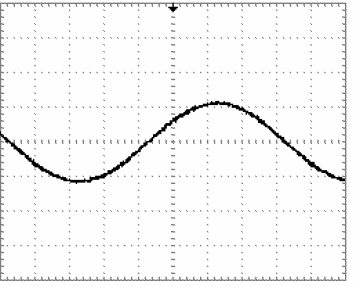
Bei einem allpoligen Sinusfilter wird eine Rückführung in den Zwischenkreis realisiert. Durch die Kondensatoren im Sinusfilter besteht im HF-Bereich ein niederohmiger Strompfad zurück in den Zwischenkreis. Dadurch müssen das Filter und der Umrichter aufeinander abgestimmt werden. Bei einem Anwendungsfall musste die „Testroutine zur Überprüfung der Isolation“ durch den Hersteller im Umrichter geändert werden. Die IGBT's werden mit einem zusätzlichen Gleichtaktstrom belastet. Um die Amplitude klein zu halten, muss die Taktfrequenz auf mindestens 8kHz eingestellt werden!

Elektrische Größen zum Vergleich der Wirkung

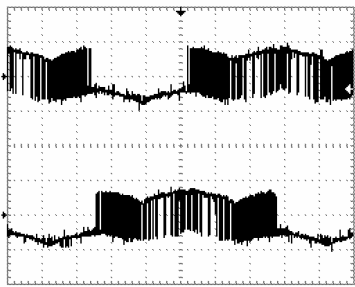
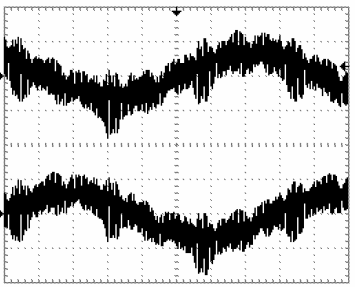
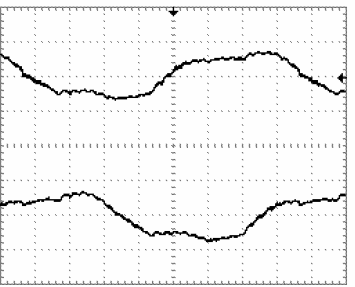
Leiter - Leiter - Spannung U(V-U)	Spannung zwischen den Außenleitern hinter dem Frequenzumrichter!
Leiter - Erd - Spannung U(U-PE)	Spannung von den Außenleitern zur Schutzterde PE am Frequenzumrichterausgang!
Ausgangsstrom I(U)	Strom im Außenleiter, dieser ist verantwortlich für die Bildung des Drehfeldes!
Gleichtaktstrom I(UVW)	Der Summenstrom aller drei Außenleiter ist im normalen Netz immer gleich Null. Dieser Strom ist ein Maß für den Lagerstrom!
hochfrequente Störstrom I(EMV)	Netzseitiger Störstrom



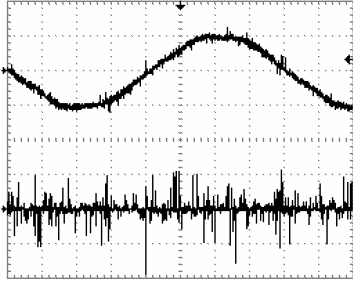
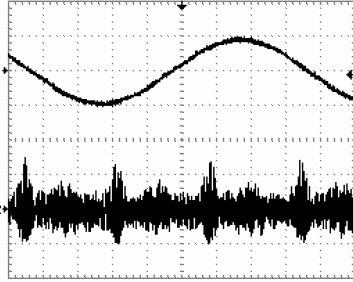
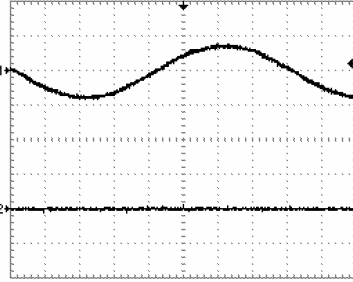
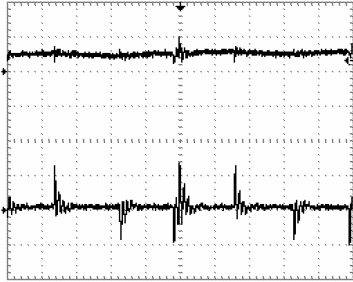
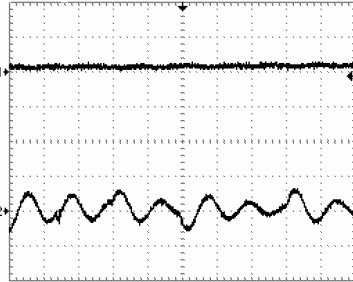
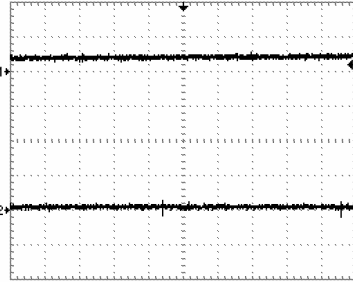
Die Leiter-Leiter-Spannung U(U-V)

Ohne Sinusfilter	Mit konventionellem Sinusfilter	Mit allpoliger Sinusfilter
		
M: U(U-V) 500 V/Div 2,5ms/Div	M: U (U-V) 500 V/Div. 2,5ms/Div.	M: U (U-V) 500 V/Div. 2,5ms/Div.
<p>Zwischen den Phasen wirkt der konventionelle Sinusfilter sehr gut. Zum allpoligen Sinusfilter gibt es keinen Unterschied.</p>		

Die Leiter-Erd-Spannung U(U-PE)

Ohne Sinusfilter	Mit konventionellem Sinusfilter	Mit allpoligem Sinusfilter
		
CH1: U (U-PE) CH2: U (V-PE) 500 V/Div 2,5ms/Div	CH1: U (U-PE) CH2: U (V-PE) 500 V/Div 2,5ms/Div	CH1: U (U-PE) CH2: U (V-PE) 500 V/Div 2,5ms/Div
<p>Bei der Spannung zur Schutzerde liegt der entscheidende Vorteil bei dem allpoligen Sinusfilter. Denn durch das störende HF-Potential zur Erde entstehen die eigentlichen Störquellen für benachbarte Anlagen! Die Leiter-Erd-Spannung ist auch verantwortlich für Überlastung des Netzfilters bei längeren Leitungen. Diese Spannung treibt den Störstrom über parasitäre Kapazitäten.</p>		

Leiterstrom I(U) und Gleichtaktstrom I(UVW)

Ohne Sinusfilter	Mit konventionellem Sinusfilter	Mit allpoligem Sinusfilter
		
CH1: I(U) CH2: I(UVW) 20 A/Div. 5 A/Div. 2,5ms/Div.	CH1: I(U) CH2: I(UVW) 20 A/Div. 5 A/Div. 2,5ms/Div.	CH1: I(U) CH2: I(UVW) 20 A/Div. 5 A/Div. 2,5ms/Div.
		
CH1: I(U) CH2: I(UVW) 20 A/Div. 5 A/Div. 25µs/Div.	CH1: I(U) CH2: I(UVW) 20 A/Div. 5 A/Div. 25µs/Div.	CH1: I(U) CH2: I(UVW) 20 A/Div. 5 A/Div. 25µs/Div.

Auf dem Leiterstrom (Nennstrom bzw. Betriebsstrom) des Motors haben konventionelle und allpolige Sinusfilter die gleiche Wirkung. Dieser wird geglättet und es kommt zu den bekannten Verbesserungen: Ruhiger Lauf, kein störendes Pfeifen, Schutz der Motorisolierung, besonders zwischen den Wickelköpfen!

Was ist mit den hochfrequenten, vagabundierenden Strömen über das Motoreisenpaket und den Motorlagerschildern?

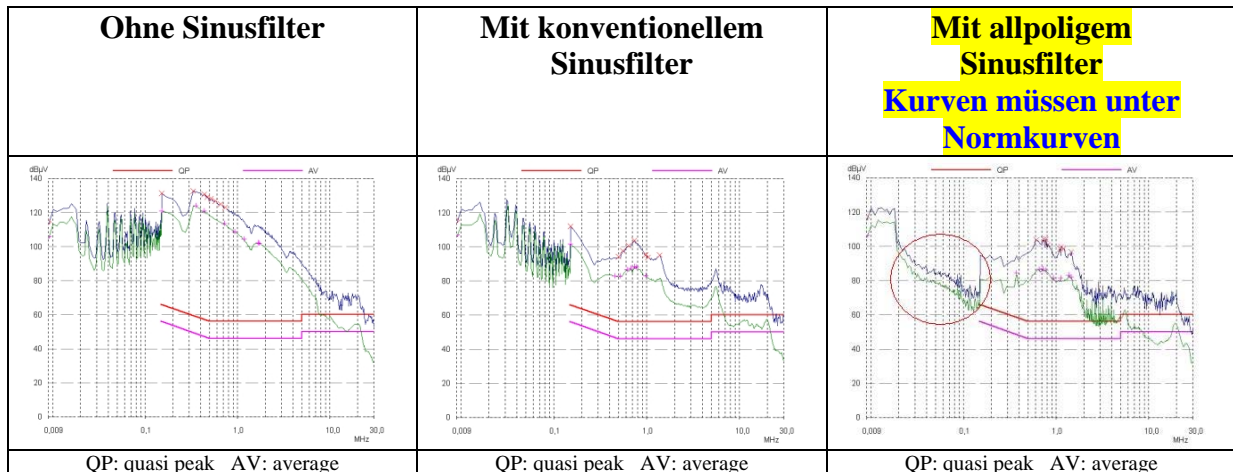
Die Summe dieses vagabundierenden Stromes ist am Umrichter Ausgang messbar. Ohne Filter beträgt der Spitzenwert bis 7 A. Die Frequenz des Einschwingvorganges beträgt bis zu 200 kHz.

Mit dem konventionellen Sinusfilter reduziert sich die Amplitude auf 4 A und die Frequenz auf 40 kHz.

Beim allpoligen Sinusfilter wird der Gleichtaktstrom fast völlig eliminiert. Somit können auch Lagerströme ausgeschlossen werden!

Die EMV am Netzeingang

Die Messungen wurden an einem Laboraufbau durchgeführt. Es gilt hier die Wirkung zu zeigen und die Grenzkurven einzuhalten!



Wie zu erwarten, erhält man im Frequenzbereich 150 - 500 kHz einen Störpegel von ca. 120 dB. Vergleiche hierzu die Messung Gleichstrom (7 A bei 200 kHz)!

Mit dem herkömmlichen Sinusfilter wird der worst case entschärft. Im Bereich von 150-500 kHz wird der Pegel um 20 dB (100 fache) gedämpft. Man beachte und vergleiche die Messungen über die Zeit! Die Amplitude von 4 A max. ist noch immer vorhanden. Sie ist aber im Frequenzbereich nach unten verschoben worden!

Mit dem allpoligen Sinusfilter gibt man dem Störstrom einen definierten Strompfad. Aus der Messung (siehe Kreis) ist ersichtlich, dass im Bereich von 20-100 kHz der Störpegel von 120 dB auf 90 dB reduziert wird! Dieser Bereich ist zwar nicht genormt, aber sehr wichtig, da das der Bereich der Taktfrequenzen mit ihren Oberwellen ist.

Großfirmen haben hier eigene Werksnormen. Bei einem Anwendungsfall sind die Relais für die Temperaturschalter zu heiß geworden und funktionierten nicht mehr richtig. Auf der Steuerleitung parallel zu den Motorleitungen wurde eine hochfrequente Spannung von über 100 V gemessen! Mit dem allpoligen Sinusfilter war keine Spannung mehr vorhanden!

Messung an dem Chassis des Kunden mit **REO**-Komponenten:

Welche??

