

Broschüre | Oberschwingungsreduzierung

Oberschwingungen in Wasser- und Abwasseranlagen – eine wohlüberlegte Auswahl spart Kosten

Sparen Sie mit aktiven
Filterlösungen
von Danfoss

44 %

an Energiekosten
für die Oberschwin-
gungsreduzierung





Behalten Sie mögliche Alternativen im Blick

Für die Oberschwingungsreduzierung gibt es keine Lösung auf dem Markt, die alles kann:

- liefert die beste Performance
- geringste Kosten bei höchster Systemeffizienz
- erfüllt sämtliche Normen
- auf alle Frequenzumrichtergrößen anwendbar
- einsetzbar für Neuinstallationen und Umrüstungen

Die wirtschaftlichste und technisch hochwertigste Lösung für eine bestimmte Anlage basiert immer auf den Anforderungen der Anwendung, dem Schweregrad der Oberschwingungen, den Kosten und den mit verschiedenen Technologien verbundenen Vorteilen.

Können wir also überhaupt von einer kostengünstigen Oberschwingungsreduzierung sprechen? Absolut, und zwar aus den folgenden Gründen:

Oberschwingungen erhöhen das Risiko, beeinträchtigen die Produktqualität und treiben die Betriebskosten in die Höhe. Die Reduzierung von Oberschwingungen sorgt für indirekte Energieeinsparungen durch geringere Verluste in Transformatoren, Kabeln und Geräten. Diese indirekten Einsparungen sind der Grund, warum Systeme mit Oberschwingungsreduzierungslösungen unabhängig von der verwendeten Technologie eine bessere Gesamtsystemeffizienz aufweisen.

Der Einsatz von Active-Front-End-Frequenzumrichtern (AFE-Frequenzumrichtern) zur Oberschwingungsreduzierung hat sich rasch durchgesetzt. AFE-Umrichter sind für die Rückspeisung ausgelegt und die beste Wahl, wenn eine Rückspeisung erforderlich ist. Die Verwendung von AFE-Umrichtern zur Minderung von Oberschwingungen führt jedoch aufgrund von inhärenten höheren Verlusten zu einem erheblichen Anstieg der jährlichen Betriebskosten. Daher ist eine wohlüberlegte Auswahl unerlässlich.

Suchen Sie nach einer wirtschaftlicheren Lösung, die Oberschwingungen gleichermaßen gut mindert? Aktive Filter sind eine äußerst praktikable Alternative, die im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen bis zu 44 % an Energiekosten spart.



Was sind Oberschwingungen?

Eine Wechselstromversorgung ist im Idealfall eine reine Sinuswelle mit einer Grundfrequenz von 50 oder 60 Hz. Alle elektrischen Betriebsmittel sind für eine optimale Leistung bei dieser Versorgung ausgelegt.

Oberschwingungen sind Spannungen und Ströme, deren Frequenzanteile ganzzahlige Vielfache der Grundschwingungsfrequenz sind. Sie verzerren somit die reine sinusförmige Kurvenform.

Leistungselektronik, wie sie in Gleichrichtersystemen, Frequenzumrichtern, USV, Lichtdimmerschaltern, Fernsehgeräten und zahlreichen anderen Geräten eingesetzt wird, nimmt einen nicht sinusförmigen Strom auf.

Durch Wechselwirkungen dieses nicht sinusförmigen Stroms mit der Netzversorgung entstehen somit in Abhängigkeit von der Stärke oder Schwäche der Netzversorgung (Netzimpedanz) stärkere oder schwächere Verzerrungen des Spannungsverlaufs.

Je mehr elektrische Geräte mit integrierter Leistungselektronik vor Ort installiert sind, desto höher ist in der Regel der Grad der Oberschwingungsverzerrung.

Warum stellen Oberschwingungen ein Problem dar?

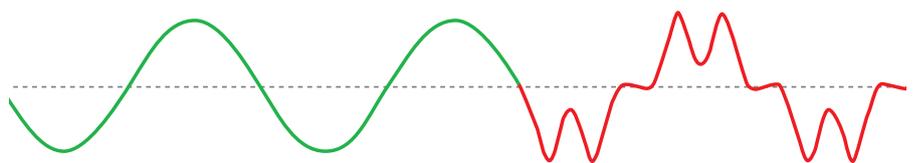
Eine zu starke Oberschwingungsverzerrung der Netzversorgung bedeutet, dass die Quelle nicht nur 50- oder 60-Hz-Frequenzen, sondern auch Anteile höherer Frequenzen enthält.

Diese Anteile fallen für die Nutzung durch elektrische Geräte aus, haben jedoch schwerwiegende nachteilige Auswirkungen, z. B. folgende:

- Einschränkung der Versorgungs- und Netzleistung
- Höhere Verluste
- Stärkere Erwärmung von Transformatoren, Motoren und Kabeln

- Verkürzte Gerätelebensdauer
- Kostspielige unbeabsichtigte Produktionsausfälle
- Ausfälle der Steuerung
- Pulsierendes und reduziertes Motordrehmoment
- Hörbare Geräusche

Einfach ausgedrückt: Oberschwingungen verringern die Zuverlässigkeit, beeinträchtigen die Produktqualität und treiben die Betriebskosten in die Höhe.



Darstellung einer reinen sinusförmigen Kurvenform, die gestört wird

Jeder Frequenzumrichter ist anders

– zur Reduzierung von Oberschwingungen gerüstet

Führt jeder Frequenzumrichter zu Problemen mit Oberschwingungen? Ganz und gar nicht.

Alle VLT®-Frequenzumrichter von Danfoss verfügen über eingebaute DC-Drosseln*, um die Interferenzen durch Oberschwingungen zu reduzieren. In den meisten Fällen reicht dies aus, um Spannungsverzerrungen zu vermeiden.

In einigen Fällen kann eine zusätzliche Oberschwingungsunterdrückung aufgrund von Netzbedingungen oder bei der Installation mehrerer Frequenzumrichter erforderlich sein.

Zu diesem Zweck hält Danfoss eine breite Palette an individuellen Lösungen zur Reduzierung von Oberschwingungen bereit, z. B. 12-pulsige Frequenzumrichter und Standard-Frequenzumrichter mit integrierten oder externen,

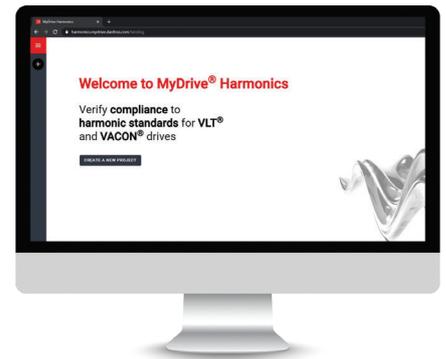
aktiven oder passiven Oberschwingungsfiltern, einschließlich AFE.

Darüber hinaus bietet Danfoss auch aktive Lösungen für die zentrale Oberschwingungsunterdrückung, bei denen mehrere Lasten gleichzeitig kompensiert werden können.

Mit dem kostenlosen digitalen Tool MyDrive® Harmonics können Sie den Störungsgrad Ihres Netzes ganz einfach ermitteln.

MyDrive® Harmonics ist ein professionelles Simulationstool, mit dem Sie prüfen können, ob Oberschwingungen bei der Installation von Frequenzumrichtern zu Komplikationen führen. Es schätzt die vergleichbaren Vorteile der Einführung verschiedener Oberschwingungsreduzierungs-

lösungen aus dem Produktportfolio von Danfoss ab und berechnet dann die Oberschwingungsverzerrung, um die Einhaltung der verschiedenen einschlägigen Normen durch das System sicherzustellen. Es ist das ideale Design-Tool sowohl für Neu- als auch Umbauprojekte.



Entdecken Sie **MyDrive® Suite**, von dort können Sie auf **MyDrive® Harmonics** zugreifen

**Ausgenommen VLT® Micro Drive FC 51 mit einer Nennleistung von 7,5 kW oder weniger, wenn eine externe Reduzierungslösung verfügbar ist.*



Danfoss bietet Planungsunterstützung, um die für jedes Projekt am besten geeignete Lösung zur Oberschwingungsreduzierung zu empfehlen. Sofern dies zweckdienlich ist, umfasst die Danfoss-Unterstützung eine Überprüfung der Oberschwingungsbelastung vor Ort.

Wie wird die beste Lösung zur Oberschwingungsreduzierung ausgewählt?

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Reduzierung der Oberschwingungsbelastung, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben.

Keine einzige Lösung passt perfekt zu allen Anwendungen und Netzbedingungen.

Um eine optimale Reduzierungslösung zu erzielen, müssen mehrere Parameter berücksichtigt werden.

Die Schlüsselparameter lassen sich in folgende Bereiche unterteilen:

- Netzbedingungen einschließlich anderer Lasten
- Anwendung
- Einhaltung von Normen
- Kosten
- Energieeffizienz

Danfoss führt auf Anfrage eine umfassende Oberschwingungsanalyse durch und empfiehlt die für Ihre Anlage am besten geeignete und wirtschaftlichste Lösung.

Bei der Analyse werden die installierten Lasten, die gesetzlichen Vorschriften und Regelwerke und die Vielfalt Ihrer Betriebsabläufe und Ihrer Anwendung berücksichtigt.

Die wichtigsten Aspekte

– ein ganzheitlicher Ansatz optimiert Ihr Geschäft

In der Abwasseraufbereitungsanlage Putrajaya halten aktive Oberschwingungsfilter die THvD unter 5 %.

Drei aktive Oberschwingungsfilter sorgen bei Nordlaks für Sicherheit bei Kreislaufanlagen für Junglachs-Aquakulturen.



Wie beeinflussen die Netzbedingungen die Oberschwingungsbelastung?

Der wichtigste Faktor bei der Ermittlung der Oberschwingungsbelastung eines Versorgungsnetzes ist die Systemimpedanz.

Die Systemimpedanz hängt in erster Linie von der Größe des Transformators im Verhältnis zur Gesamtleistungsaufnahme der installierten Lasten ab. Je größer der Transformator im Verhältnis zur nicht sinusförmigen Leistungsaufnahme ist, desto geringer ist die Störung.

Das Energieversorgungsnetz ist ein Verbundsystem aus Stromversorgungen und Stromverbrauchern, die über Transformatoren miteinander verbunden sind. Alle Lasten, die einen nicht sinusförmigen Strom aufnehmen, tragen zur Oberschwingungsbelastung des Stromnetzes bei – nicht nur an der Niederspannungsversorgung, sondern auch bei höheren Spannungsniveaus.

Bei der Messung an einem Anschlusspunkt ist daher immer ein gewisser Störungsgrad vorhanden. Dies wird als Oberschwingungsvorverzerrung bezeichnet.

Da nicht alle Verbraucher dreiphasigen Strom aufnehmen, ist die Belastung jeder Phase unterschiedlich. Dies führt zu unterschiedlichen Spannungswerten an jeder Phase, was wiederum Phasenasymmetrie verursacht.

Verschiedene Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung weisen unterschiedliche Störfestigkeiten gegen Vorverzerrung und Asymmetrie auf. Dies muss daher bei der Auswahl der am besten geeigneten Lösung zur Oberschwingungsreduzierung beurteilt werden.

Mehr als 100 Frequenzumrichter laufen bei dieser Abwasseraufbereitungsanlage, die zusätzliche Energie erzeugt, in perfektem harmonischen Gleichgewicht.

Affinity Water spart durch den Einsatz von Frequenzumrichtern von Danfoss, die durch den Einsatz von aktiven Filtern zur Oberschwingungsreduzierung außerordentlich effizient sind, 300.000 britische Pfund.



Welche anwendungsspezifischen Aspekte sind zu berücksichtigen?

Die Oberschwingungsverzerrung nimmt mit der von der nicht-linearen Last aufgenommenen Leistung zu. Daher müssen sowohl die Anzahl der verbauten Frequenzumrichter als auch deren individuelle Leistungsgrößen und Lastprofile berücksichtigt werden.

Die Verzerrung eines Frequenzumrichters wird durch die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung des Stroms (THDi) bestimmt, die das Verhältnis zwischen der Summe der Oberschwingungsanteile und der Grundfrequenz ist.

Die Auslastung des Frequenzumrichters ist wichtig, weil die THDi bei Teillast zunimmt. So erhöht eine Überdimensionierung von Frequenzumrichtern die Oberschwingungsbelastung des Netzes.

Darüber hinaus müssen umgebungs-technische und physikalische Beschränkungen berücksichtigt werden, da die verschiedenen Lösungen Eigenschaften besitzen, die für bestimmte Einsatzbedingungen unterschiedlich gut geeignet sind.

So sind beispielsweise Wandfläche, Kühlluft (verunreinigt/kontaminiert), Vibrationen, Umgebungstemperatur, Höhenlage, Luftfeuchtigkeit usw. zu berücksichtigen.

Werden Normen weltweit einheitlich eingehalten?

Um eine bestimmte Netzqualität sicherzustellen, verlangen die meisten Energieversorger von ihren Verbrauchern, die gültigen Normen und Vorgaben einzuhalten.

In verschiedenen Ländern und Industriebereichen gelten verschiedene Normen, allen ist jedoch ein grundlegendes Ziel gemeinsam: Die Begrenzung der Netzspannungsverzerrung.

Die Normen hängen von den Netzbedingungen ab. Daher ist es nicht möglich, die Erfüllung von Normen und Vorschriften zu garantieren, ohne die speziellen Netzspezifikationen zu kennen.

Die jeweiligen Normen legen keine bestimmte Lösung zur Oberschwingungsreduzierung zwingend fest. Daher ist es wichtig, Normen, Vorschriften und Empfehlungen zu kennen, um unnötige Kosten für Reduzierungsmaßnahmen zu vermeiden.

Welche Kostenauswirkungen hat die Anwendung einer Oberschwingungsreduzierung?

Schließlich sind die Anschaffungs- und Betriebskosten auszuwerten, um sicherzustellen, dass die wirtschaftlich rentabelste Lösung gefunden wird.

Die Anschaffungskosten der unterschiedlichen Lösungen zur Reduzierung von Oberschwingungen im Vergleich zum Frequenzumrichter sind vom Leistungsbereich abhängig. Die Lösung, die für einen Leistungsbereich am wirtschaftlichsten ist, ist nicht unbedingt über den gesamten Leistungsbereich kostenoptimiert.

Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus dem Wirkungsgrad der Lösungen über das gesamte Lastprofil und den Wartungskosten über ihre Lebensdauer.

Aktive Lösungen bieten den Vorteil, dass sie den Wirkleistungsfaktor über den gesamten Leistungsbereich nahe Eins halten, wodurch sich eine bessere Energienutzung bei Teillast ergibt.

Zudem sollten auch zukünftige Entwicklungspläne für das Werk oder die Anlage mit in die Planung einbezogen werden. Denn obwohl eine Lösung optimal für ein statisches System ist, kann sich eine andere als flexibler erweisen, wenn das System erweitert werden muss.



Energieeffiziente Oberschwingungsreduzierung – mehr als nur ein Weg

Bei der Planung eines Systems steht der Schutz der Ressourcen und der Umwelt ebenso im Vordergrund wie die Leistung und technische Sicherheit eines Produkts.

Wichtigste Auswahlkriterien: Energieverbrauch und Betriebskosten

Aus sowohl ökologischer als auch wirtschaftlicher Sicht müssen wir Energie so effizient wie möglich einsetzen. Den Energieverbrauch an die tatsächlichen Bedürfnisse der Anlage anzupassen ist daher naheliegend und logisch. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten.

Lüfter und Pumpen werden oft rund um die Uhr betrieben, sodass ein optimaler Energieverbrauch und geringe Betriebskosten (OPEX) die entscheidenden Kriterien bei der Planung einer Anlage sind. Wussten Sie, dass ineffiziente Methoden

zur Oberschwingungsreduzierung und die blinde Einhaltung überstrenger Vorgaben unnötige Kosten verursachen können? Danfoss empfiehlt, mit Augenmaß und anhand von praktischen Gesichtspunkten wirtschaftliche und zugleich nachhaltige Entscheidungen zu treffen.

Active Front-End oder nicht?

Die sogenannte Active-Front-End-Technik (AFE) hat sich rasch als gefragte Methode zur Oberschwingungsreduzierung etabliert. Die Verwendung eines AFE-basierten Produkts kann eine gute Lösung sein, sollte jedoch wohlüberlegt erfolgen.

Für ein besseres Verständnis betrachten Sie die drei Wege zu einer wirtschaftlichen Oberschwingungsreduzierung und sehen Sie sich das Beispiel auf Seite 11 an, das die Kostenauswirkungen verschiedener Alternativen zur Oberschwingungsreduzierung unter die Lupe nimmt. Eine dieser Alternativen ist eine AFE-Lösung. Die andere Lösung basiert auf aktiven Filtern.

Drei Wege zu einer kosteneffizienten Oberschwingungsreduzierung

1. Verwenden Sie Oberschwingungsreduzierungsmaßnahmen nur bei Bedarf

Eine Übererfüllung der Normvorgaben ist nicht erforderlich. Ihr Ziel sollte es sein, Oberschwingungen nur auf die erforderliche Norm und entsprechend den Anforderungen der Anlage zu regeln. Wie zum Beispiel bei Motor-kabeln: Würden Sie die Verkabelung überdimensionieren, weil Sie in ferner Zukunft vielleicht einen größeren Motor benötigen könnten? Wohl kaum.

Es gibt keine perfekte Lösung für alle Anforderungen. Berücksichtigen Sie verschiedene Aspekte der Systemleistung, um eine optimale Lösung zu finden. Danfoss kann Sie bei der Auswahl der optimalen Lösung zur Oberschwingungsreduzierung für Ihr System unterstützen.

Faustregel: Liegt die Last des Frequenzumrichters unter 40 % der Gesamtbelastung des Transformators, sind keine Maßnahmen zur Oberschwingungsreduzierung erforderlich. Vorsicht bei Generatorversorgung (Backup-Versorgung)

2. Auslegung auf die Einhaltung der Vorschriften

Die Vorschriften legen die THDv-Anforderungen fest, geben jedoch keine THDi-Anforderungen an.

Aus diesem Grund ist die Auslegung auf 5 % THDv zu beziehen, um die Vorschriften zu erfüllen. Es gibt keine Vorschriften, die THDi $\leq 5\%$ oder gar THDi $\leq 8\%$ an den Umrichter-Leistungsanschlüssen vorsehen. Die Vorgabe solcher THDi-Werte für eine Auslegung verursacht unnötige Kosten.

Führen Sie einfache Analysen durch. Mit Berechnungen von weniger als 10 Minuten können Sie Tausende von Euro sparen. Bewerten Sie das System als Ganzes, um die optimale Lösung zu finden.

Das geht ganz einfach mit unserer kostenlosen Version von MyDrive® Harmonics.



Entdecken Sie **MyDrive® Harmonics**

3. Auswahl von Oberschwingungsreduzierungsmaßnahmen anhand der OPEX-Berechnung

In einer Anlage trägt der Energieverbrauch von Frequenzumrichtern wesentlich zu den Betriebskosten bei. Aus diesem Grund ist die Ermittlung des Wirkungsgrads, einschließlich der Berechnung der Energieverluste, ein wichtiger Schritt bei der Auswahl von Maßnahmen zur Oberschwingungsreduzierung.

Die Wirkungsgrade von 6-pulsigen Frequenzumrichtern verschiedener gängiger Marken liegen in der Regel um ganze 0,5 % auseinander. Hingegen sind Unterschiede bei den Wirkungsgraden von bis zu 1–2 % bei Geräten zur Oberschwingungsreduzierung verschiedener Anbieter nicht ungewöhnlich. Es ist wichtig, die Berechnungen durchzuführen, bevor Sie Ihre Wahl treffen.

Abwasseraufbereitungsanlage – Oberschwingungsreduzierung in der Praxis

Da typische Abwasseraufbereitungsverfahren 25–40 % des kommunalen Strombedarfs ausmachen, besteht hier enormes Einsparpotenzial.

Abwasseraufbereitungsanlagen sind normalerweise die größten Einzelenergieverbraucher einer Stadt oder Gemeinde. Die hohe Leistungsaufnahme steht im Zusammenhang mit sehr energieintensiven Prozessen in Kombination mit durchgehenden Betriebszyklen rund um die Uhr und an 365 Tagen im Jahr. Die Wasser- und Abwasseraufbereitung weist hohe Lastunterschiede innerhalb von 24 Stunden und zu verschiedenen

Jahreszeiten auf. Um sich an die unterschiedlichen Anforderungen anzupassen, werden bei der Regelung von Gebläsen, Pumpen und anderen motorbetriebenen Geräten vermehrt Frequenzumrichter eingesetzt.

Ziehen Sie die Alternative eines aktiven Filters in Betracht

Oberschwingungen im Stromnetz verursachen Systemstörungen, die vorhandene Geräte zusätzlich belasten und Leistungsschwankungen bewirken. Herkömmliche AFE-Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung arbeiten mit Filtern an jedem einzelnen Frequenzumrichter im System.

Jedoch geben die geltenden Vorschriften keine derartigen Anforderungen bei einzelnen Frequenzumrichtern vor. Um Investitionsaufwand, Energiekosten und Platz einzusparen, empfehlen wir nur die Installation von Filtern, die zur Erfüllung von beispielsweise der Norm IEEE 519 notwendig sind.

Unsere Advanced Active Filter ermöglichen ein Setup mit einer zentralen Filterlösung, das sämtlichen gesetzlichen Vorgaben gerecht wird.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Oberschwingungsreduzierung auf Basis der Active Front End-Technologie erkennt der Advanced Active Filter

Oberschwingungsverzerrungen im System und speist einen Gegenstrom ein, um die Netzurückwirkungen zu neutralisieren.

Aktive Filter bieten eine kompaktere Möglichkeit, Oberschwingungsverzerrungen zu reduzieren als herkömmliche AFE-Technologie – und halbieren gleichzeitig den Energiebedarf für diese Aufgabe!

Energieeffiziente Lösungen sind auch ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl Ihrer Lösung zur Oberschwingungsreduzierung. Durch die Auswahl einer hocheffizienten Lösung zur Oberschwingungsreduzierung können Sie oft 2 % Ihres Energiebedarfs einsparen und Ihre Amortisationszeit um 1 Jahr verkürzen. Gemeinsam können wir einen großen Schritt zur Erreichung unserer Klimaziele zurücklegen.

Weitere Informationen finden Sie [hier](#) 

Danfoss Advanced Active Filter AAF 007

Danfoss hat den Advanced Active Filter AAF 007 entwickelt, um die Oberschwingungsbelastung durch zentral oder dezentral installierte Danfoss-Frequenzumrichter zu verringern. Die SiC-Switches der neuesten Generation bieten einen unübertroffenen hohen Wirkungsgrad mit 60 % geringeren Verlustleistungen im Vergleich zu ähnlichen Filtern und eine wirkungsvolle Abschwächung von Oberschwingungen höherer Ordnung. Der Filter ist mit allen Frequenzumrichtern des Danfoss-Produktportfolios kompatibel. Er kommt vorkonfiguriert sowie werkseitig abgestimmt und ist mit den zugehörigen Stromwandlern sofort einsatzbereit.

 Erfahren Sie mehr über den Danfoss Advanced Active Filter AAF 007

Beispiel

Für eine bestehende Abwasseraufbereitungsanlage ist eine Kapazitätserweiterung erforderlich. Neben der Einhaltung lokaler Standards verlangen Investoren oft eine technisch unnötige Sicherheitsmarge, nur um auf der sicheren Seite zu sein: ein THDi-Level von nicht mehr als 5 %, unabhängig von der Last.

Den meisten Investoren ist nicht bewusst, dass dieser zusätzliche Puffer im THDi-Grenzwert zu erheblichen zusätzlichen Betriebskosten führen kann. Es wird erwartet, dass der Anbieter ein effizientes, zuverlässiges System mit einem hohen Maß an Redundanz, Service und technischem Support und vor allem mit einem hohen Fokus auf Effizienz und Energieeinsparungen bietet.

Um die Anforderungen zu erfüllen, werden wir uns die Effizienz und die Kostenauswirkungen von zwei möglichen Umrichterlösungen anschauen:

- Szenario A: Standard VLT® AQUA FC 202 in Kombination mit einem aktiven Filter
- Szenario B: AFE Low Harmonic Drives

Die für die einzelnen Szenarien erforderlichen Betriebsmittel sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Erforderliche Betriebsmittel für Szenarien A und B der Oberschwingungsreduzierung in einer Abwasseraufbereitungsanlage

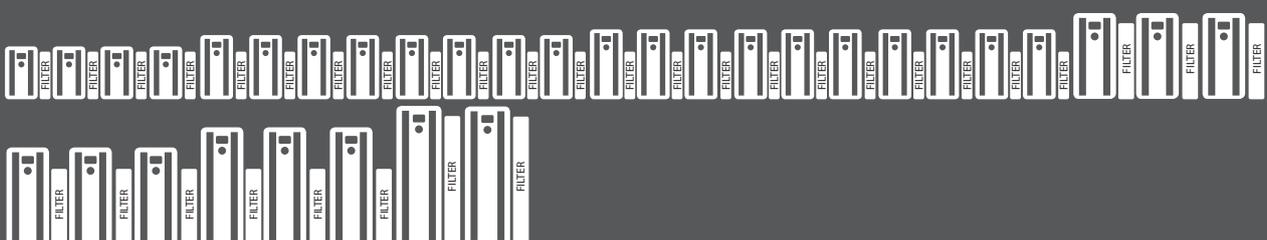
Installierte Betriebsmittel								
Motorwellenleistung [kW]	5,5	7,5	11	22	75	90	250	
Anz. Rührwerke		3	4	2				
Anz. Pumpen	3	3	4		2	2		
Anz. Gebläse							1	
Anz. Frequenzumrichter	3	6	8	2	2	2	1	
Anz. Backup-Rührwerke/-Pumpen/-Gebläse und -Frequenzumrichter	1	2	2	1	1	1	1	
Anz. Filter								1
Szenario A: Danfoss Oberschwingungsreduzierung mit VLT® AQUA Drive FC 202 und Aktivfilter								
Verluste pro Frequenzumrichter [W] ¹⁾	187	225	291	444	1022	1232	4039	
Filterverluste [W]								7925
Stromkosten für Verluste pro Frequenzumrichter für 10 Betriebsjahre ²⁾	1.311 €	1.577 €	2.039 €	3.112 €	7.162 €	8.634 €	28.305 €	55.538 €
Szenario B: Herkömmliche Oberschwingungsreduzierung mit entsprechenden Frequenzumrichtern auf AFE-Basis								
Verluste pro Frequenzumrichter [W] ¹⁾	329	395	579	912	2963	3168	9135	
Stromkosten für Verluste pro Frequenzumrichter für 10 Betriebsjahre ²⁾	2.306 €	2.768 €	4.058 €	6.391 €	20.765 €	22.201 €	64.018 €	
Gesamtkosten der Verluste								
	3.931 €	9.461 €	16.315 €	6.223 €	14.324 €	17.268 €	28.305 €	151.366 €
Szenario B: Herkömmliche AFE-Frequenzumrichterlösung								
	6.917 €	16.609 €	32.461 €	12.783 €	41.529 €	44.403 €	64.018 €	218.720 €

1) Verluste im Motor werden nicht berücksichtigt. Geschätzte maximale Verlustleistung, entnommen aus den Frequenzumrichterhandbüchern
2) 0,1 Euro pro kWh x 24 Stunden x 365 Tage x 10 Jahre. Geräteauslastung ist auf 80 % eingestellt, da Frequenzumrichter nicht immer bei Vollast laufen

Szenario A: Aktive Filterlösung von Danfoss



Szenario B: Herkömmliche AFE-Frequenzumrichterlösung



Abwasseraufbereitungsanlage

– Oberschwingungsreduzierung in der Praxis

Analyse

Szenario A – Aktive Filterlösung von Danfoss

Mit dem Tool MyDrive® Harmonics können Sie die unterschiedlichen Lastzustände simulieren und sich einen Filter empfehlen lassen. Die Simulationsergebnisse finden Sie in Tabelle 2.

Tabelle 2: Simulationsergebnisse aus dem MyDrive® Harmonics-Tool

Performance auf der Sekundärseite des Transformators: 80 % Last auf Frequenzumrichter							
AAF-Größe	Kein AAF	90 A	180 A	270 A	360 A	450 A	540 A
THDu (%) Sekundärseite Transformator	2,6	2,0	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0
THDi (%)	27,1	21,5	15,1	9,6	5,0	2,2	2,2

Performance auf der Sekundärseite des Transformators: 40 % Last auf Frequenzumrichter							
AAF-Größe	Kein AAF	90 A	180 A	270 A	360 A	450 A	540 A
THDu (%) Sekundärseite Transformator	1,7	1,1	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
THDi (%)	35,2	25,2	16,2	8,8	2,7	2,7	2,7

AAF: Advanced Active Filter

Schauen wir uns die Simulationsergebnisse an. In diesem Fall empfiehlt Danfoss, überhaupt keinen Filter zu installieren. Die Auslegung gemäß den nationalen THDv-Anforderungen von 5 % THDv gewährleistet einen störungsfreien Betrieb bei geringstmöglichem Investitionsaufwand und höchstem Wirkungsgrad der Installation. Dadurch entfallen die Investitionskosten für einen Filter komplett und es entstehen weniger Filterverluste.

Um die kundenspezifische THDi-Anforderung von maximal 5 % THDi zu erfüllen, wäre ein Filter von 360 A erforderlich. Dies ist jedoch eine Überkompensierung, die unnötigerweise sowohl die Investitionsausgaben als auch die Betriebskosten erhöht, ohne dass dies zu einer Verbesserung der Robustheit der Anlage führt.

Aus Vergleichsgründen werden wir jedoch bei den Berechnungen den 360-A-Filter verwenden.



Die aktive Filterlösung ermöglicht wertvolle Einsparungen über die gesamte Lebensdauer

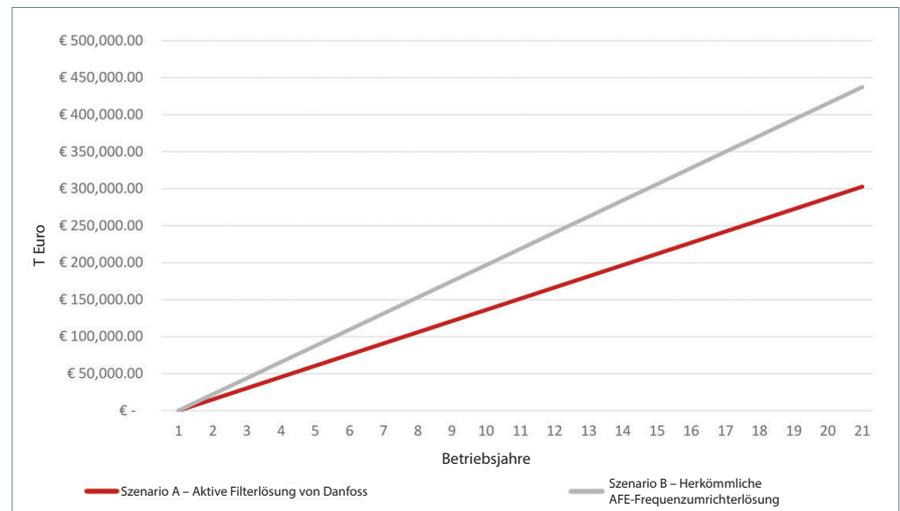
Szenario B – AFE-Frequenzumrichterlösung

Der AFE-basierte Low Harmonic Drive erfüllt die THDi-Anforderung von unter 5 % bei allen Lasten.

Warum ist es so wichtig, den Wirkungsgrad der Lösung zu berücksichtigen? Der Wirkungsgrad ist der mit Abstand wichtigste Faktor für die Betriebskosten. Schauen wir uns die Entwicklung der Kosten für Stromverluste im Zeitverlauf an, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Es ist eindeutig zu erkennen, dass die aktive Filterlösung (A) von Danfoss im Laufe der Zeit erheblich geringere Verluste verursacht als die herkömmliche AFE-basierte Frequenzumrichterlösung (B).

Abbildung 1. Summe der Stromverluste im Zeitverlauf



Warum ist der Wirkungsgrad so wichtig?

Lüfter und Pumpen werden oft rund um die Uhr betrieben, sodass ein optimaler Energieverbrauch und geringe Betriebskosten (OPEX) die entscheidenden Kriterien bei der Planung einer Anlage sind.

In den letzten Jahrzehnten sind die Kosten für die variable Drehzahlregelung durch Frequenzumrichter gesunken und die Strompreise sind gestiegen. Dies macht die Verwendung von Frequenzumrichtern an mehr oder weniger allen rotierenden Maschinen attraktiver. Über die Lebensdauer eines Frequenzumrichters betrachtet sind die Energiekosten der vorherrschende wirtschaftliche Faktor, insbesondere da Pumpen in Abwasseraufbereitungsanlagen rund um die Uhr in Betrieb sind. Bei der Auswahl einer

Frequenzumrichterlösung sind der Wirkungsgrad und die Kosten der Verluste daher entscheidende Parameter.

Das Beispiel zeigt, dass die Frequenzumrichterlösung mit Oberschwingungsreduzierung von Danfoss aufgrund der Kombination aus Frequenzumrichter und Wirkungsgrad des aktiven Filters einen erheblich höheren Wirkungsgrad aufweist als die herkömmliche Alternative.

Wie in Tabelle 1 dargestellt, liegen die jeweiligen Verlustkosten bei 151.366 € für die Danfoss-Lösung und 218.720 € für die herkömmliche Lösung. Basierend auf Tabelle 1 verbraucht die Danfoss-Lösung 44 % weniger Strom als die herkömmliche Lösung. Aus diesem Grund spart die Abwasseraufbereitungsanlage 44 % an Energiekosten für die Oberschwingungsreduzierung, wenn sie sich für die aktive Filterlösung von Danfoss entscheidet, wie in Abb. 2 dargestellt.

Abbildung 2. Vergleich Energieverbrauch

Szenario A – Aktive Filterlösung von Danfoss

44 % weniger

Szenario B – AFE-Frequenzumrichterlösung



€

Abwasseraufbereitungsanlage

– Oberschwingungsreduzierung in der Praxis

Fazit

Das Beispiel zeigt eindrucksvoll, dass eine Oberschwingungsreduzierung durch die Verwendung eines aktiven Filters ohne Betriebsausfälle realisiert werden kann, und zwar zu 44 % geringeren Betriebskosten und mit höherem Wirkungsgrad im Vergleich zu einer AFE-basierten Lösung.

In Szenario A kann ein aktiver Filter eine Oberschwingungsreduzierung für mehrere 6-pulsige Frequenzumrichter Systeme ermöglichen. Werden die Backup-Umrichter in Betrieb genommen, so werden ihre Oberschwingungen durch denselben aktiven Filter reduziert.

In Szenario B ist pro Frequenzumrichter ein AFE erforderlich. Dies kann zu vielen AFEs für ein Gesamtsystem aus mehreren Frequenzumrichtern führen. Zusätzliche AFE sind auch für die Backup-Umrichter erforderlich, was die Investitionskosten noch weiter in die Höhe treibt.

Zusätzliche Vorteile des Danfoss Advanced Active Filter AAF 007

- Der aktive Filter wird parallel zum Frequenzumrichtereingang installiert. Daher funktioniert der Frequenzumrichter bei einem Filterdefekt ordnungsgemäß und sorgt so für einen fortlaufenden Betrieb der Abwasseraufbereitungsanlage. Diese Struktur sorgt für ein zuverlässiges System mit hoher Redundanz.
- Der aktive Filter spart Energie, indem er in den „Energiesparmodus“ wechselt, wenn die Oberschwingungen niedrig sind. Wenn diese Funktion bei der Berechnung berücksichtigt wird, sind noch größere Stromeinsparungen möglich als hier dargestellt.

Zusätzliche Vorteile eines VLT® AQUA Drive

- Wartungsfrei konstruiert für mindestens 10 Jahre Betrieb
- Sparen Sie mit der einzigartigen Rückspülfunktion für Pumpen des VLT® AQUA Drive zusätzlich 10–50 %
- Sparen Sie dank des einzigartigen Kühlkonzepts im rückseitigen Kühlkanal bis zu 90 % an Investitionsaufwand für die Klimatisierung
- Zustandsbasierte Überwachungsfunktionen basierend auf Edge Computing sind im Frequenzumrichter integriert

 **Weitere Informationen zum VLT® AQUA Drive**

 **Weitere Informationen zum Danfoss Advanced Active Filter AAF 007**



Haben Sie noch Fragen?

– Hier finden Sie die Antworten

Sollte ich zur Oberschwingungsreduzierung immer einen aktiven Filter verwenden?

Hinsichtlich der Oberschwingungsreduzierung gibt es keine allumfassende Lösung auf dem Markt, die

- die beste Leistung liefert
- zu geringsten Kosten bei höchster Systemeffizienz arbeitet
- sämtliche Normen erfüllt
- auf alle Frequenzumrichtergrößen anwendbar ist
- in Neuinstallationen und Umrüstungen eingesetzt werden kann

Die wirtschaftlichste und technisch hochwertigste Lösung für eine bestimmte Anlage basiert immer auf den Anforderungen der Anwendung, dem Schweregrad der Oberschwingungen, den Kosten und den mit verschiedenen Technologien verbundenen Vorteilen. In einigen Fällen steht physischer Platz für die Installation von Filtern zur Verfügung, in anderen Fällen gibt es keinen.

Danfoss möchte seinen Kunden unter Berücksichtigung aller Aspekte die bestmögliche Lösung anbieten und hält ein umfangreiches Produktportfolio zur Oberschwingungsreduzierung bereit.

Bitte wenden Sie sich an Ihren lokalen Vertriebsmitarbeiter, um Unterstützung bei Ihrer individuellen Oberschwingungsreduzierung zu erhalten.

Warum führt der AFE-Umrichter zu höheren Verlusten als ein standardmäßiger 6-pulsiger Umrichter?

Ein AFE-Umrichter enthält doppelt so viele Leistungselektronikkomponenten wie ein Standard-Umrichter sowie einen

LCL-Filter, der in einem Standard-Umrichter nicht vorhanden ist. Die doppelte Menge an Leistungselektronik verdoppelt das Risiko eines Bauteilausfalls, bedeutet aber auch einen höheren Leistungsverlust am Frequenzumrichter, wie im Beispiel gezeigt wird.

Führt eine AFE-basierte Lösung zur Oberschwingungsreduzierung zu einer besseren Gesamtsystemeffizienz?

Wenn eine Oberschwingungsreduzierung erforderlich ist, wird jede Lösung, die Oberschwingungen mindert, die gesamte Systemenergieeffizienz verbessern.

Die Oberschwingungsreduzierung sorgt durch die Verbesserung des Wirkleistungsfaktors bekanntlich für indirekte Energieeinsparungen durch geringere Verluste in Transformatoren, Kabeln und Geräten. Dies ist jedoch nicht nur bei AFE-Technologien der Fall.

Das Beispiel zeigt, wie die Verluste der einzelnen Komponenten bei der Auswahl einer Methode zur Oberschwingungsreduzierung eine wichtige Rolle spielen. Diese Verluste haben einen erheblichen Einfluss auf die Betriebskosten.

AFE sind für die Rückspeisung ausgelegt und die beste Wahl, wenn eine Rückspeisung erforderlich ist.

Was ist der Unterschied zwischen THDi, THDv und TDD?

THD ist die Abkürzung für Total Harmonic Distortion (Gesamte Oberschwingungsverzerrung). Sie ist in Spannung und Strom messbar und beschreibt, wie verzerrt das Signal im Vergleich zu seinem idealen sinusförmigen Zustand ist.

Die Stromverzerrung THDi ist die gerätespezifische Stromverzerrung und beschreibt daher nur die Wirkung des Produkts selbst, seiner Zuleitung und des Transformators.

Normen und Standards zielen darauf ab, die Spannungsverzerrung (THDv) gering zu halten. Daher sollte beim Bestreben, Oberschwingungen zu reduzieren, die THDv auf ein Minimum reduziert werden, um sicherzustellen, dass die Spannungsqualität im gesamten Versorgungsnetz der Anlage aufrechterhalten wird.

Es ist nicht zweckdienlich, die Stromverzerrung (THDi) einzelner Verbraucher zu betrachten, da sich nur die Parameter auf Systemebene auf alle Verbraucher desselben Netzes auswirken. Das Verhältnis von elektrischer Spannung zur Stromstärke wird als Impedanz (Ohmsches Gesetz) bezeichnet. Daher ist es wichtig, THDi nur in Bezug auf die Impedanz zu berücksichtigen, um die Auswirkungen der Spannungsverzerrung beurteilen zu können.

TDD (Total Demanded Distortion) ist die Gesamtverzerrung auf Systemebene. Sie beinhaltet alle Stromverbraucher für die Installation. Um die Verzerrungen zu senken, können Sie die einzelnen THDi-Werte durch einen Oberschwingungsfilter (aktiv oder passiv) verringern, den Kurzschlussstrom erhöhen oder das Gleichgewicht zwischen netzbetriebenen Motoren und Frequenzumrichter-Antrieben ändern (Direkt-Motoren führen zu geringeren Verzerrungen).





Aktive Filterlösungen von Danfoss im Einsatz – Affinity Water, Großbritannien

Die Abwasseraufbereitungswerke von Affinity Water Chertsey werden über ihre 20-jährige Lebensdauer voraussichtlich mehr als 300.000 britische Pfund an Betriebskosten einsparen, da der VLT® AQUA Drive anstelle der „nächstbesten“ Lösung für das Projekt ausgewählt wurde.

Der hervorragende Wirkungsgrad des Systems basiert auf aktiven Filtern zur Oberschwingungsreduzierung und einem einzigartigen Kühlkonzept mit rückseitigem Kühlkanal.

Weitere Fallstudienberichte zum VLT® AQUA Drive finden Sie **hier**

Abwasseraufbereitungs-
werke **sparen**
300.000 Pfund
an Betriebskosten

Abwasseraufbereitungsanlage von Affinity
Water in Chertsey (Großbritannien)



Fallstudie lesen

Folgen Sie uns und erfahren Sie mehr über Frequenzumrichter



VLT® | VAGON®

Alle Informationen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Informationen zur Auswahl von Produkten, ihrer Anwendung bzw. ihrem Einsatz, zur Produktgestaltung, zum Gewicht, den Abmessungen, der Kapazität oder zu allen anderen technischen Daten von Produkten in Produkthandbüchern, Katalogbeschreibungen, Werbungen usw., die schriftlich, mündlich, elektronisch, online oder via Download erteilt werden, sind als rein informativ zu betrachten, und sind nur dann und in dem Ausmaß verbindlich, als auf diese in einem Kostenvorschlag oder in einer Auftragsbestätigung explizit Bezug genommen wird. Danfoss übernimmt keine Verantwortung für mögliche Fehler in Katalogen, Broschüren, Videos und anderen Drucksachen. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung Änderungen an seinen Produkten vorzunehmen. Dies gilt auch für bereits in Auftrag genommene, aber nicht gelieferte Produkte, sofern solche Anpassungen ohne substantielle Änderungen der Form, Tauglichkeit oder Funktion des Produkts möglich sind. Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum von Danfoss A/S oder Danfoss-Gruppenunternehmen. Danfoss und das Danfoss Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.