

Načini smanjenja harmoničkih izobličenja

Kao što je već poznato, Danfoss upotrebljava istosmjerne prigušnice kao osnovni i standardni način smanjenja harmoničkih izobličenja. No jednako tako, u slučajevima strožih zahtjeva za smanjenjem harmoničkih izobličenja, na raspolaganju su različita Danfossova rješenja – svako sa svojim prednostima i manama. Ovdje je potrebno ponovno naglasiti kako ne postoji jedinstveno rješenje koje će u bilo kojoj instalaciji istovremeno biti i financijski i tehnički optimalno. Zbog toga je prvo potrebno analizirati svaku instalaciju, a tek nakon toga postaviti ciljeve koji se žele postići u konkretnom slučaju.

Ne postoji optimalno rješenje za svaku instalaciju i uvjete na mreži. Danfoss će, na Vaš zahtjev, provesti kompletnu analizu harmoničkih izobličenja u vašoj mreži i predložiti Vam tehnički najprimjerenije i financijski najpovoljnije rješenje.

Danfossova rješenja za smanjenje harmoničkih izobličenja

Danfoss nudi široki spektar rješenja za smanjenje harmoničkih izobličenja, a glavna razlika je između pasivnih i aktivnih rješenja, kako je prikazano na donjoj slici:

Tekst uz slike:

Passive – Pasivna

DC-Inductors – istosmjerne prigušnice

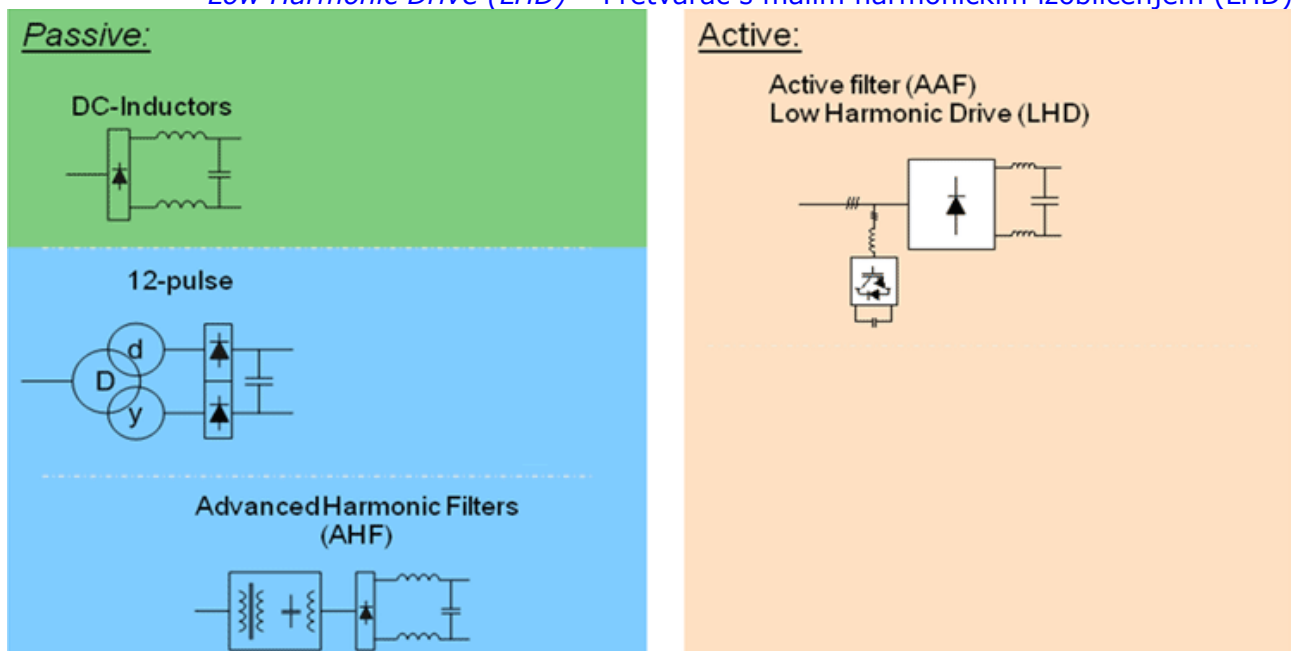
12-pulse – 12-pulsni ispravljač

Advanced Harmonic Filters (AHF) – Napredni harmonički filtri (AHF)

Active – Aktivni

Active filter (AAF) – Aktivni filter (AAF)

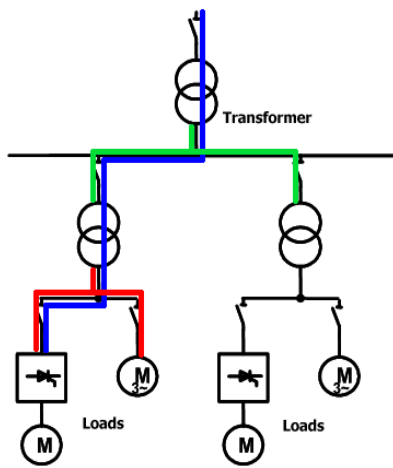
Low Harmonic Drive (LHD) – Pretvarač s malim harmoničkim izobličenjem (LHD)



Na početku, pitanje: zašto pasivna, odnosno aktivna rješenja i koja je njihova podloga ?

U prijašnjim tekstovima objasnili smo što su harmonici. Podsjetimo se ukratko:

Harmonike stvaraju nelinearna trošila priključena na mrežu, i u biti su to sinusni signali čija je frekvencija cjelobrojni višekratnik frekvencije osnovnog signala. U našem slučaju taj signal je struja, ali zbog impedancije sustava i napon. Važno je zapamtiti:



- Izobličenje struje utječe na **opterećenje**.
- Izobličenje napona utječe na **rad sustava**.
- Za izračun izobličenja napona, potrebno je poznavati harmoničko izobličenje struje nelinearnog trošila KAO i impedanciju kratkog spoja sustava. NIJE MOGUĆE procijeniti izobličenje napona poznavajući samo karakteristike trošila.
- Neizravno izobličenje napona također utječe na rad sustava, kao i izobličenje napona na strani sekundarnog namota transformatora. Neizravno izobličenje napona mogu uzrokovati udaljena trošila i uvijek je prisutno u određenom nivou (0,5 % – 3 %).

Tekst uz sliku:
Transformer – Transformator ;
Loads - Trošila

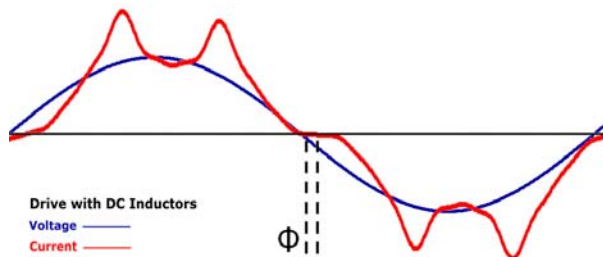
Harmonici također označavaju odnos frekvencija određenog signala u odnosu na referentni. Neka f označava osnovnu frekvenciju valnog oblika izmjenične struje. Mjerna jedinica za frekvenciju je Hertz (Hz). Za signal čija je osnovna frekvencija f , frekvencija drugog harmonika je $2f$, trećeg harmonika $3f$, i tako dalje. Neka w označava valnu duljinu signala ili vala u određenom mediju. Drugi harmonik imat će valnu duljinu $w/2$, treći $w/3$ i tako dalje. Signali frekvencija $2f$, $4f$, $6f$ itd. Nazivaju se parnim, a oni frekvencija $3f$, $5f$, $7f$, itd., neparnim harmonicima.

Isto tako je poznato da nelinearno trošilo, u našem slučaju ispravljački dio pretvarača, proizvodi i pulzirajuću struju, a time umanjuje faktor snage.

Za trošila koja stvaraju harmoničko izobličenje:

$$pf = pf_{TRUE} = \cos \phi = P/S$$

pf_{TRUE} = „Pravi faktor snage (λ)“
 (engl. “True Power Factor”)



Primjer frekventijskog pretvarača s prigušnicama u istosmjernom međukrugu

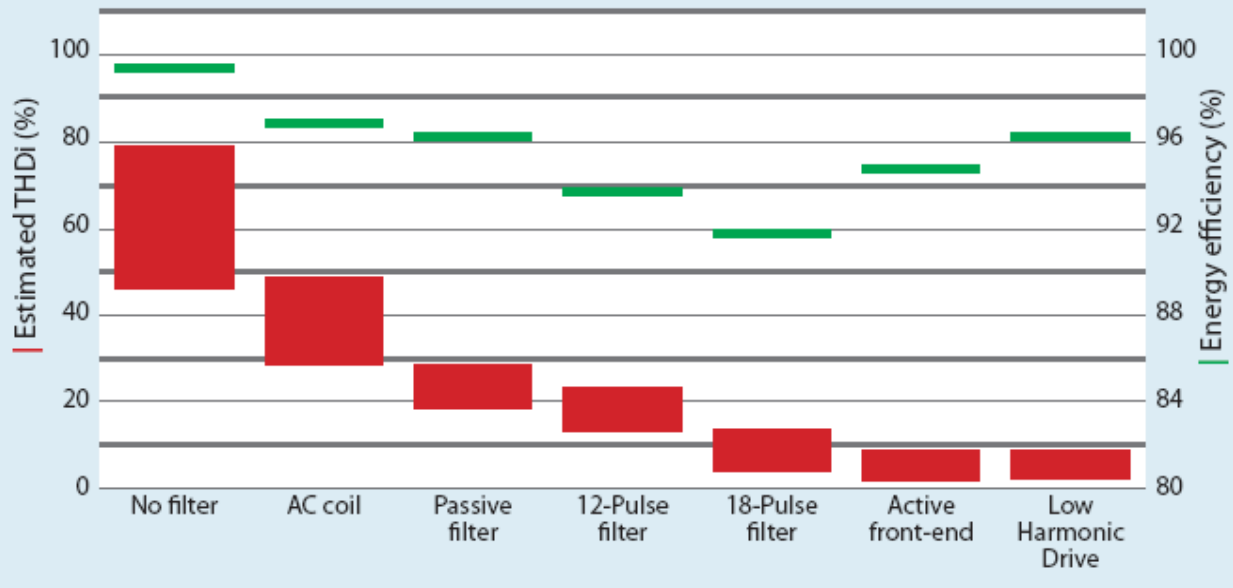
$$pf_{DISP} = \cos \phi = 0,98$$

$$pf_{TRUE} = 0,92$$

Tekst uz sliku :
Drive with DC Inductors – Pretvarač s DC prigušnicama
Voltage – Napon
Current - Struja

Na donjoj slici možemo objasniti pasivna i aktivna rješenja:

Mitigation Comparison (combination drive and filter)



Usporedba različitih načina suzbijanja harmoničkih izobličenja pokazuje kako nisko ukupno harmoničko izobličenje prati i niska energetska učinkovitost. To, međutim, nije slučaj kod primjene aktivnih filtara pri čemu je i energetska učinkovitost relativno dobra.

Tekst u slici:

Mitigation Comparison – Usporedba načina suzbijanja harmoničkih izobličenja (kombinacija pretvarača i filtra)

Estimated THDi (%) – Procijenjeno ukupno harmoničko izobličenje – THDi (%)

Energy efficiency (%) – Energetska učinkovitost (%)

No filter – Bez filtra

AC coil – izmjenična prigušnica

Passive filter – Pasivni filtar

12-Pulse filter – 12-pulsni ispravljač

18-Pulse filter – 18-pulsni ispravljač

Active front-end – Aktivni filtar

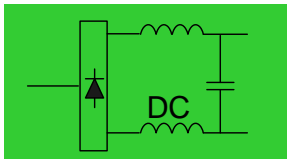
Low Harmonic Drive – Pretvarač s malim harmoničkim izobličenjem

Koristite li neki od pasivnih načina suzbijanja harmoničkih izobličenja (izmjenične ili istosmjerne prigušnice, 12/18-pulsne ispravljače, AHF) njegova učinkovitost će ovisiti o upravljačkom rasponu. Valja istaknuti kako su tehničke karakteristike pretvarača u bilo kojem uputstvu za upotrebu date za nominalnu brzinu i nominalno opterećenje. Kako se pretvarači koriste za upravljanje ili regulaciju brzine vrtnje, potrebno je poznavati ograničenja pojedinih načina suzbijanja harmoničkih izobličenja. Općenito, pasivni načini suzbijanja harmoničkih izobličenja su u odnosu cijena / učinkovitost jeftiniji. Međutim, njihova učinkovitost drastično pada ako je raspon regulacije brzine velik. Aktivni načini suzbijanja harmonika predstavljaju najbolje rješenje budući njihova učinkovitost ne ovisi o rasponu regulacije brzine vrtnje. Jednako tako, primjenom aktivnih načina suzbijanja harmonika i pravi koeficijent snage bit će bolji (zbog kompenzacije).

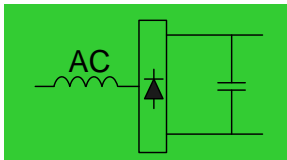
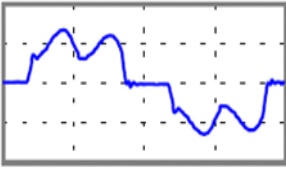
Analizirajmo svako od tih rješenja uspoređujući cijenu i karakteristike:

Istosmjerne i izmjenične prigušnice

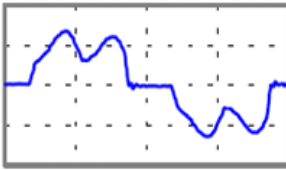
Ključne prednosti istosmjernih prigušnica



HARMONIC CURRENT	
Fund.	36.2 A
THiD	42.5%
RMS current	39.5 A



HARMONIC CURRENT	
Fund.	36.8 A
THiD	43.8%
RMS current	40.2 A



- Standardno rješenje u svakom Danfossovom pretvaraču
- Postižu zadovoljavajući nivo smanjenja harmoničkih izobličenja
- Drastično smanjuju izobličenje
- Praktične su / jednostavne
- Cijena prigušnica uključena je u cijenu pretvarača
- Manja izmjenična komponenta na prigušnici – manji gubici nego na izmjeničnim prigušnicama
- Manja valovitost istosmjernog napona – dulji vijek trajanja kondenzatora u istosmjernom međukrugu
- Stabilniji istosmjerni napon – preciznije upravljanje motorom
- Male dimenzije – potrebne su samo dvije prigušnice

Tekst u slikama:

HARMONIC CURRENT – STRUJA HARMONIKA

Fund. – Osnovni

THiD – Ukupno harmoničko izobličenje

RMS current – Efektivna vrijednost struje



Danfossove standardno ugrađene istosmjerne prigušnice

Kako je i prikazano na slici, izmjenične prigušnice u usporedbi s istosmjernim prigušnicama imaju nešto lošije karakteristike, no njihove prednosti su :

- Komutacija diodnog ispravljača ne utječe na mrežu
- Štiti pretvarač od kolebanja napona mreže
- Učinkovitije su u suzbijanju harmonika višeg reda

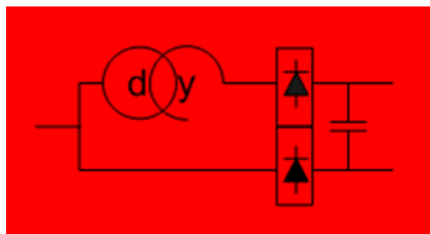
Svi Danfossovi pretvarači standardno imaju ugrađene istosmjerne prigušnice. One smanjuju harmoničko izobličenje. Kod pretvarača bez ugrađene opreme za suzbijanje harmoničkih izobličenja presjek napojnog kabela ponekad je, zbog povećane efektivne vrijednosti struje uslijed harmoničkih izobličenja, veći od presjeka kabela za pogon motora.

12-pulsni i 18-pulsni ispravljači:

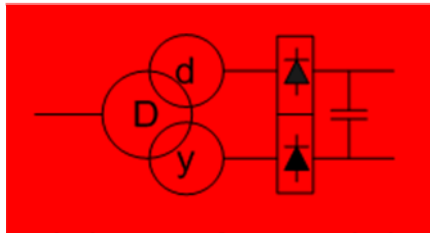
Tekst u slici:

Autotransformer solution – Rješenje s autotransformatorom

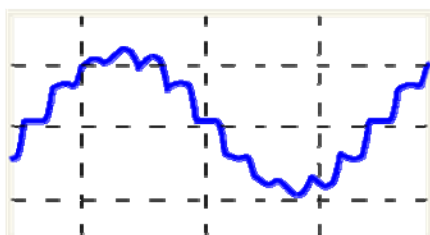
Isolation transformer solution – Rješenje s izolacionim transformatorom



Autotransformer solution



Isolation transformer solution



Dugi niz godina, 12 i 18-pulsni ispravljači smatrani su standardnim načinom smanjenja harmoničkih izobličenja koje stvaraju frekventni pretvarači. Ovdje je potrebno naglasiti kako pretvarači s ugrađenim 12, odnosno 18-pulsnim ispravljačima sami po sebi ne potiskuju harmonička izobličenja. Izobličenja se potiskuju u transformatoru ispred pretvarača! Teorijski, struje 5. i 7. harmonika (a za 18-pulsne ispravljače i 11., te 13. harmonika) poništavaju se transformatorima s pomakom faze ili upotrebom dva (ili tri) 6-pulsna diodna ispravljača.

Prednosti višeimpulsnog pretvarača:

- Otporni i trajni
- Poznata tehnologija – jednostavni – priključi i uključi
- Često uvjetovani od investitora
- Pretvarač galvanski odvojen od mreže
- Besplatni u slučajevima kada je potreban transformator (npr., u primjenama s transformatorom ispred, odnosno iza pretvarača, kao i pretvaračima u pogonima izuzetno velikih snaga)
- Ne generiraju visokofrekvencijske smetnje
- Autotransformatori imaju najnižu cijenu za pretvarače iznad 200 kW
- U idealnoj mreži, ukupno harmoničko izobličenje (THiD) je na nivou od 12% do 15%

Tekst u slikama:

12-pulse ideal – 12-pulsni, idealni

12-pulse @ THvD=2% - 12-pulsni uz THvD = 2%

1% unbalance – 1% nesimetrično

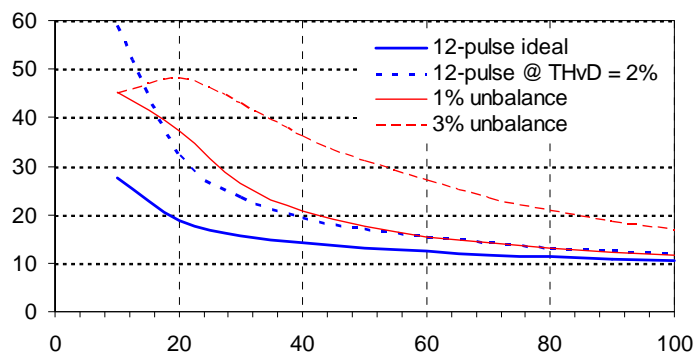
3% unbalance – 3% nesimetrično

12p aims to reduce 5th & 7th harmonics, and multiples – 12-pulsni ispravljači smanjuju 5., 7. harmonik i višekratnike

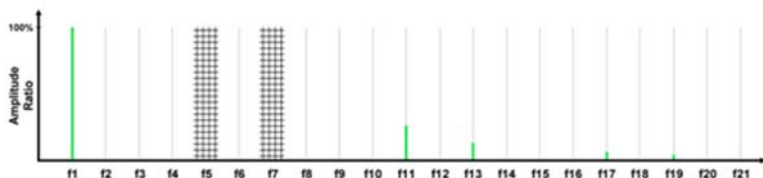
Amplitude Ratio – Odnos amplituda

18p aims to reduce 5th, 7th, 11th & 13th harmonics, and multiples – 18-pulsni ispravljači smanjuju 5., 7., 11., 13. harmonik i višekratnike

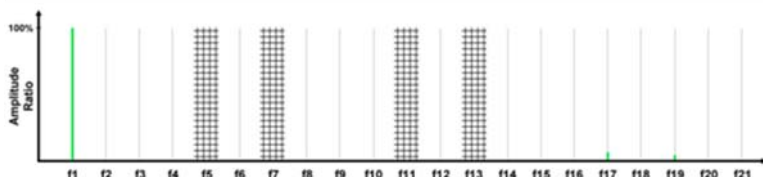
Danfoss 1 pulse drive, 250 kW – Danfossov 12-pulsni pretvarač 250 kW



■ 12p aims to reduce 5th & 7th harmonics, and multiples.



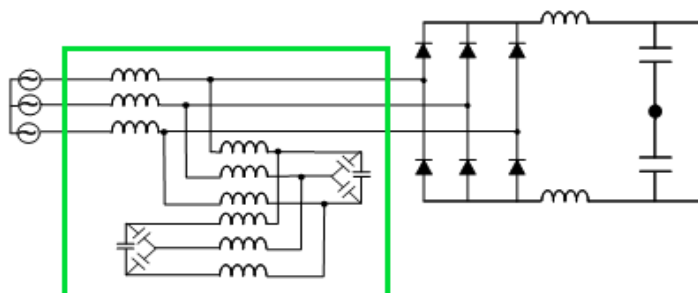
■ 18p aims to reduce 5th, 7th, 11th & 13th harmonics, and multiples.



Danfoss 12-pulsni pretvarač 250 kW

Danfoss napredni antiharmonički filter:

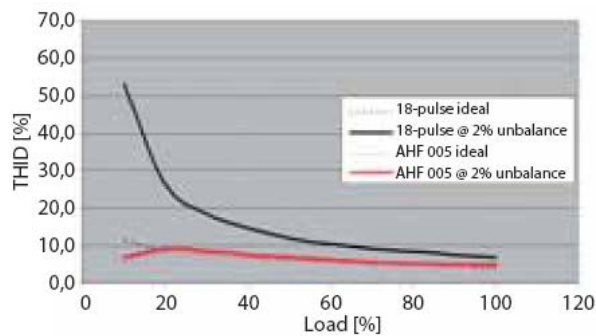
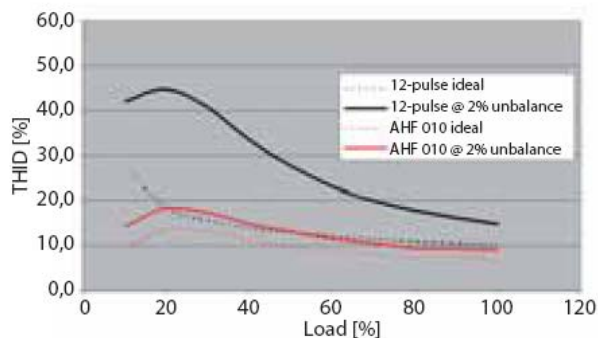
Danfoss paket naprednih rješenja potiskivanja harmoničkih izobličenja (AHS), kao finansijski najpovoljnije cjelovito rješenje, kombinira pouzdanost i ostale dobre karakteristike pretvarača VLT® serije s inovativnim rješenjima filtera serije AHF. Danfossovi VLT® AHF filteri posebno su prilagođeni Danfossovima VLT pretvaračima.



Jednostavna shema AHF filtera

Prednosti AHF filtera:

- Karakteristike usklađene s Danfossovima VLT® pretvaračima
- Jednostavno puštanje u rad, bez podešavanja parametara
- Ne zahtijevaju periodično održavanje
- Jednim filtrom može se štititi više pretvarača
- Karakteristike usklađene s normom IEEE 519-1992 o maksimalnom izobličenju struje
- AHF 010 postiže THiD < 10%; jednakih je ili boljih karakteristika, kao i manje cijene u odnosu na 12-pulsni ispravljač.
- AHF 005 postiže THiD < 5%; jednakih je ili boljih karakteristika, kao i manje cijene u odnosu na 18-pulsni ispravljač.



Tekst u slici:

THiD (%) – Ukupno har. izobličenje (%)

12-pulse ideal – 12-impulsni

12-pulse@ 2% unbalance – 12-impulsni uz 2% nesimetrije

AHF 010 ideal – AHF 010

AHF 010 @ 2% unbalance – AHF 010 pri 2% nesimetrije

Load (%) – Opterećenje (%)

THiD (%) – Ukupno har. izobličenje (%)

12-pulse ideal – 12-pulsni

12-pulse@ 2% unbalance – 12-pulsni uz 2% nesimetrije

AHF 010 ideal – AHF 010

AHF 010 @ 2% unbalance – AHF 010 pri 2% nesimetrije

Load (%) – Opterećenje (%)



Danfossovi napredni harmonički filtri

Napredni aktivni filter (Advanced Active Filter) AAF 006:

Danfossov napredni aktivni filter, (engl. **A**dvanced **A**ctive **F**ilter, AAF) predstavlja najsuvremenije aktivno rješenje suzbijanja harmoničkih izobličenja. Međutim, uz suzbijanje harmoničkih izobličenja, primjenom VLT® Danfossovih aktivnih filtara postiže se i :

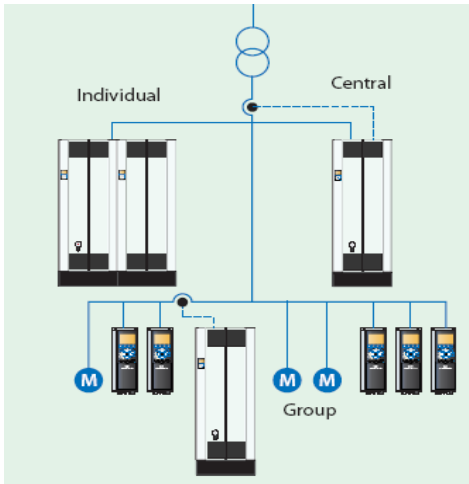
- dinamička kompenzacija reaktivne snage
- ravnomjerno opterećenje trofazne mreže
- smanjenje impulsnih smetnji
- prigušenje rezonancije mreže

Danfossovi VLT® aktivni filtri osiguravaju uravnoteženo opterećenje sve tri faze napojne mreže, optimiziraju ukupan faktor snage, te smanjuju impulsne smetnje koje generiraju fluorescentna rasvjetna tijela. Rezultat je optimalno korištenje energije, veća učinkovitost sustava i povoljniji pogonski uvjeti. Zbog brzog vremena odziva, VLT® aktivni filter djeluje kao oscilator s prigušenjem i tako smanjuje vjerojatnost iskapčanja i zaustavljanja proizvodnje. Filter radi s najmanjom mogućom prekidačkom frekvencijom kako bi se smanjili gubici IGBT sklopa. To od ugrađenog LCL magnetskog sklopa zahtijeva viši stupanj filtriranja, čime se i toplinsko opterećenje prebacuje s IGBT modula na toplinski otporniji magnetski sklop. Ovo osigurava visoku energetska učinkovitost, posebno pri djelomičnom opterećenju i poboljšava termičku otpornost. Kako bi se potrošnja energije dodatno smanjila, moguće je aktivirati način rada u kojem će uređaj hibernirati ukoliko filtriranje nije potrebno. Tada je kompenzacija isključena, ali nadzor mreže je i dalje aktivan. Ukoliko se uvjeti promijene i kompenzacija postane potrebna, filter odmah izlazi iz hibernacije i gotovo istovremeno daje punu harmoničku kompenzaciju.

Tekst u slici :

Individual – pojedinačno

Central – centralno
Group – grupno



➤ **Centralna kompensacija**

Jednostavno ugradite filter paralelno na mjestu glavnog priključka bez intervencija na postojećoj instalaciji i cijeli pogon će biti kompenziran s jednog mjesta, čak i na srednjim naponima preko autotransformatora.

➤ **Pojedinačna kompensacija**

Jedinstveno, Danfoss nudi seriju pretvarača s ugrađenim AAF za kompenzaciju pojedinačnih tereta upravljanih VSD. Strujni transformatori su ugrađeni u uređaj.

➤ **Grupna kompensacija**

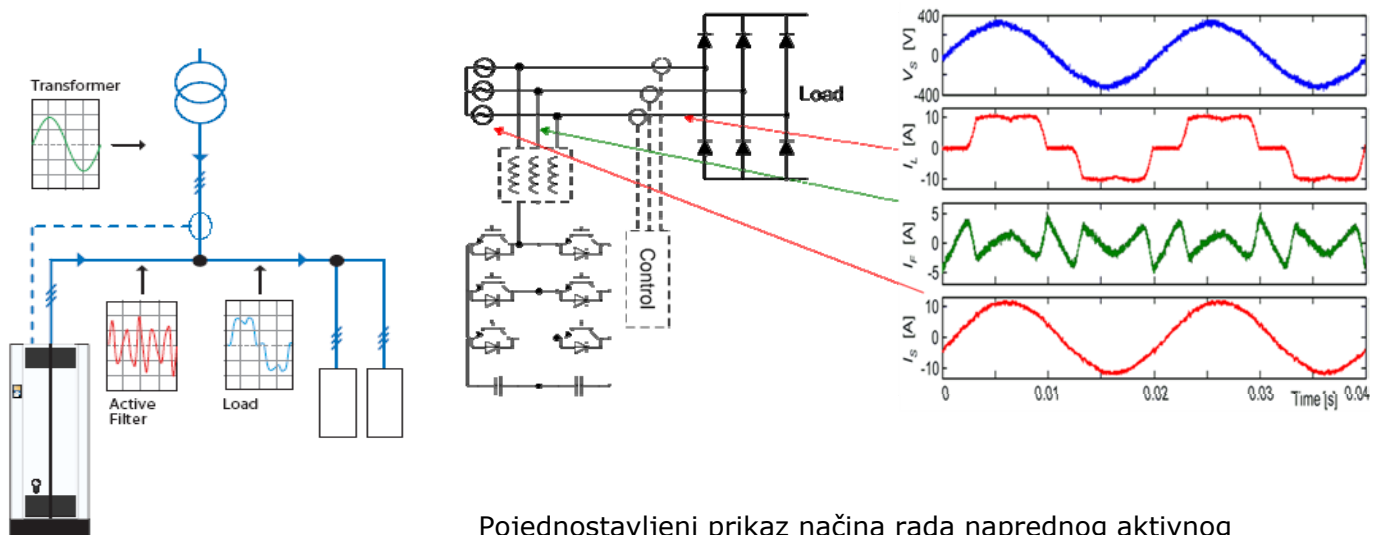
Moguća je kompenzacija odabrane grupe potrošača. AAF se automatski prilagođava opterećenju i neovisan je o stabilnosti napojne mreže.

Kako rade

- **jednostavno i pouzdano**

Funkcioniranje aktivnog filtra analogno je načinu na koji aktivne slušalice potiskuju vanjske šumove.

Upotrebom vanjskih strujnih transformatora aktivni filtri nadziru struju uključujući bilo kakvo izobličenje. Upravljački sustav koristi signal aktivnog filtra, određuje potrebnu kompenzaciju i generira upravljački algoritam za IGBT sklopke. To stvara putanju niske impedancije prema filteru koji harmonici slijede i ne odlaze u smjeru izvora napajanja. Na taj se način harmoničko izobličenje struje gotovo u potpunosti potiskuje. Time i briga o izobličenju napona transformatora ili generatora više nije potrebna. Filter svoju funkciju obavlja kontinuirano i neovisno o trenutnim ili dnevnim promjenama opterećenja mreže postrojenja.



Pojednostavljeni prikaz načina rada naprednog aktivnog filtra

Tekst u slici:

Transformer – Transformator

Active Filter – Aktivni filter

Load – Trošila

Control – Upravljanje

Time (s) – Vrijeme (s)

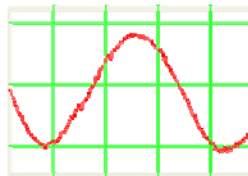
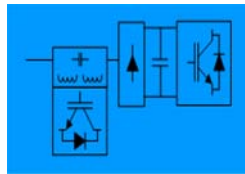
Na tržištu frekvencijskih pretvarača, Danfoss je učinio još jedan korak naprijed i proizveo frekvencijski pretvarač s niskim harmoničkim izobličenjima (eng. **Low Harmonic Drive**).

Danfossov pretvarač s niskim harmoničkim izobličenjima (LHD) kombinacija je standardnog pretvarača i aktivnog filtra. Projektiran je s najmanjim mogućim brojem komponenti u glavnom strujnom krugu.

Napredni aktivni filter (AAF) i LHD priključeni su paralelno trošilima. Povećana energetska učinkovitost izravna je posljedica činjenice kako se ne filtrira cjelokupna struja opterećenja, već samo dio potreban za generiranje valnog oblika potrebnog za poništavanje harmonika, poboljšanje faktora snage ili za uravnoteženje struje pojedinih faza.

Prednosti primjene pretvarača s niskim harmoničkim izobličenjem (LHD)

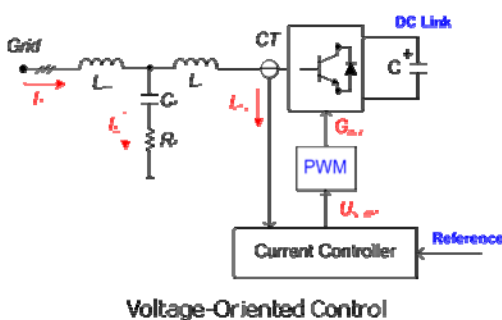
- Jednostavan odabir i instalacija
- Najveća učinkovitost (automatsko podešavanje sklopne frekvencije kako bi se smanjili gubici)
- Cjelokupno hlađenje kroz stražnji ventilacijski kanal – manja zaprljanost unutar kućišta
- Uvid u stanje mreže na upravljačkoj ploči sa zaslonom od tekućih kristala
- Najbolje potiskivanje harmonika (čak i parnih harmonika)
- Najmanja osjetljivost na kolebanja napona napojne mreže
- Potiskivanje harmonika neovisno o ukupnom opterećenju
- U slučaju poteškoća/ispada filtra iz funkcije, pretvarač i dalje radi
- Nema povećanja napona u istosmjernom međukrugu pretvarača
- Režim mirovanja ukoliko filtriranje nije potrebno
- Usklađen s normom EN 60034-17
- Pravi faktor snage > 0.98
- Usklađen s normom IEEE (i za parne harmonike)



HARMONIC CURRENT	
Fund.	36.0 A
THiD	<5.0%
RMS current	36.2 A

Valni oblik struje pretvarača s niskim harmoničkim izobličenjem

Tekst u slici:



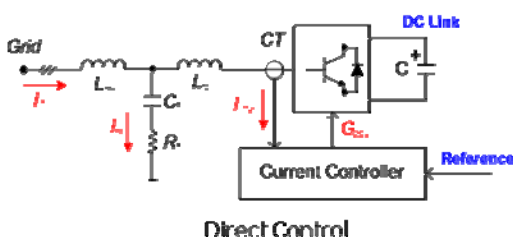
Harmonic Current – struje harmonika
Fund. – Osnovni
THiD – Ukupno harmoničko izobličenje
RMS current – Efektivna struja

Zašto smo toliko uspješni i brzi u suzbijanju harmonika ?

Danfoss upravlja signalima IGB tranzistora direktno iz strujnih regulatora, čime je vrijeme odziva regulatora na svaku promjenu u mreži unutar jedne poluperiode.

Postoje dva osnovna principa regulacije

- Naponski orijentirana regulacija
- Izravna regulacija



Naponski orijentirana regulacija:
Poznata kao PWM - regulacija pulsnoširinskom modulacijom (elektronička ili programska).

Svi ostali proizvođači aktivnih filtara koriste pulсноširinsku modulaciju, najčešće programsku. Postoje različite varijante, sve poznate iz tehnologije frekvencijskih pretvarača – upravljanja EM pogonima.

Prednosti: preciznost, nisko harmoničko izobličenje struje i dobra kompenzacija pojedinih harmonika.

Izravna regulacija:

Upravljanje IGB tranzistorima direktno iz strujnog regulatora.

Prednosti: Brži i snažniji odziv na brze promjene na mreži (harmonici, impulsne smetnje, promjene impedance mreže)

Tekst u slici:

Grid – mreža

DC Link – istosmjerni međukrug

Current Controller – strujni regulator

Reference – referentna vrijednost

Voltage-Oriented Control – Naponski orijentirana regulacija

Direct Control – Izravna regulacija

** - sve ostale oznake kao u originalnom tekstu

Karakteristične primjene u kojima opterećenje harmonicima zahtijeva procjenu

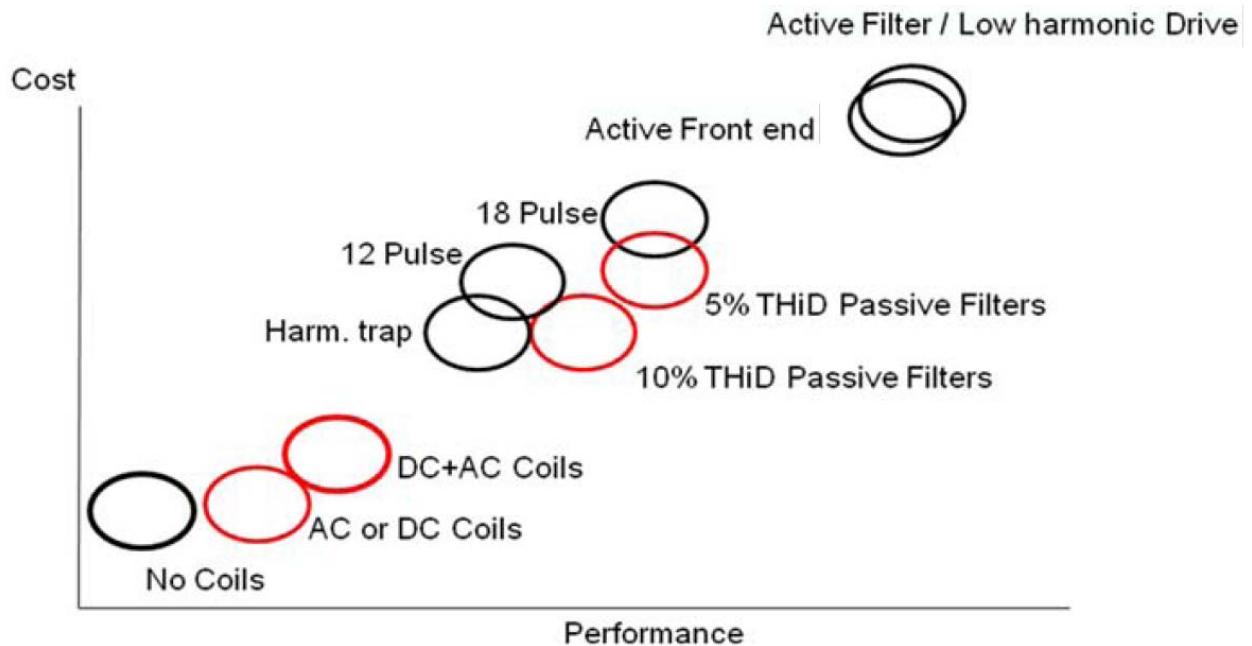
Poštivanje standarda

Područje	Primjena	Dobitak
Ugovaranje specifičnih novih projekata	<ul style="list-style-type: none"> - Voda i otpadne vode - Ventilatori i kompresori - Hrana i piće 	<ul style="list-style-type: none"> - Poštivanje normi - Smanjivanje harmoničkih izobličenja na mreži
Realizacija zahtjevnih projekata/osjetljivo okruženje	<ul style="list-style-type: none"> - Graditeljstvo - Nafta i plin - „Čiste“ prostorije - Zračne luke - Energetska postrojenja - Obrada otpadnih voda 	<ul style="list-style-type: none"> - Poštivanje normi - Smanjivanje impulsnih smetnji - Siguran rad - Potiskivanje smetnji

Naročito izložena područja

Područje	Primjena	Dobitak
Autonomne distribucijske mreže ili područja napajana generatorima	<ul style="list-style-type: none"> - pomorske instalacije - pomorski sektor - bolnice 	<ul style="list-style-type: none"> - dodatno osigurava kvalitetu napajanja na primarnoj i rezervnoj mreži - smanjuje impulsne smetnje - izbjegavanje iskapčanja
Nedovoljan kapacitet napojne mreže	<ul style="list-style-type: none"> - područja visoke stope razvoja - zemlje u razvoju 	<ul style="list-style-type: none"> - povećava mogućnost opterećenja transformatora - povećava faktor snage
Udaljena područja	<ul style="list-style-type: none"> - udaljena područja - rudnici - nafta i plin 	<ul style="list-style-type: none"> - smanjuje opterećenje sistema povećavajući faktor čiste snage

		- izbjegava iskapčanje i osigurava pouzdan rad
--	--	--



Tekst u slici:

Cost – troškovi

Active Filter / Low harmonic Drive – Aktivni filtar / Pretvarač s niskim harm. Izobličenjem

Active Front End – Aktivni ispravljač

18 Pulse – 18-pulsni

12 – Pulse – 12-pulsni

5% THiD Passive Filters – 5% THiD pasivni filtri

Harm. trap – selektivni filtar

10% THiD Passive Filters – 10% THiD pasivni filtri

DC+AC Coils – istosmjerne plus izmjenične prigušnice

AC or DC Coils – istosmjerne ili izmjenične prigušnice

No Coils – Bez prigušnica

Performance – Karakteristike

Danfoss je spreman pružiti Vam svu podršku s ciljem odabira najboljeg rješenja za Vaš pogon. Ukoliko imate bilo kakvih dodatnih pitanja, kontaktirajte me. Mi smo ovdje zbog Vas !

3. Pitanje :

U koju svrhu koristimo Danfossov aktivni filtar VLT AAF 006?

a) Suzbijanje harmonika, smanjenje reaktivne snage i uravnoteženje opterećenja trofazne mreže

b) Stabilizaciju istosmjernog napona

c) Smanjenje efektivne vrijednosti struje

Odgovor treba poslati na spomenko.hulak@danfoss.com