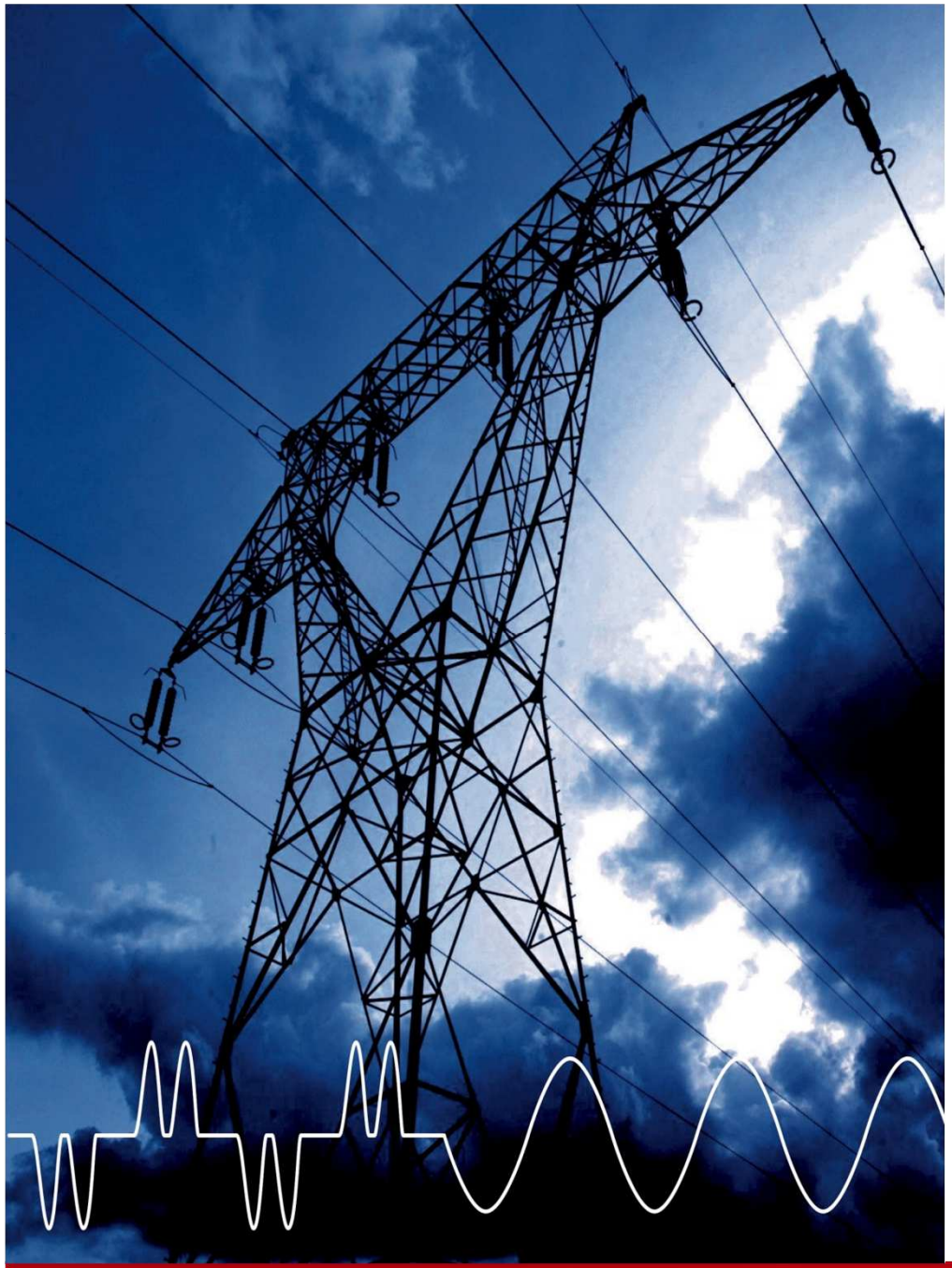
ENGINEERING
TOMORROW

A felharmonikus torzítás **frekvenciaváltós** szemszögből

Zajácz János, Hajtástechnikai szaktanácsadó

www.danfoss.hu/vlt



- A felharmonikus torzításról általánosan
- Teljesítménytényezők értelmezése
- Teljesítménytényezők háttértorzítás jelenléte esetén
- Vonatkozó szabványok
- Az aktív felharmonikus szűrőkről általában
- Egyéb aktív megoldások

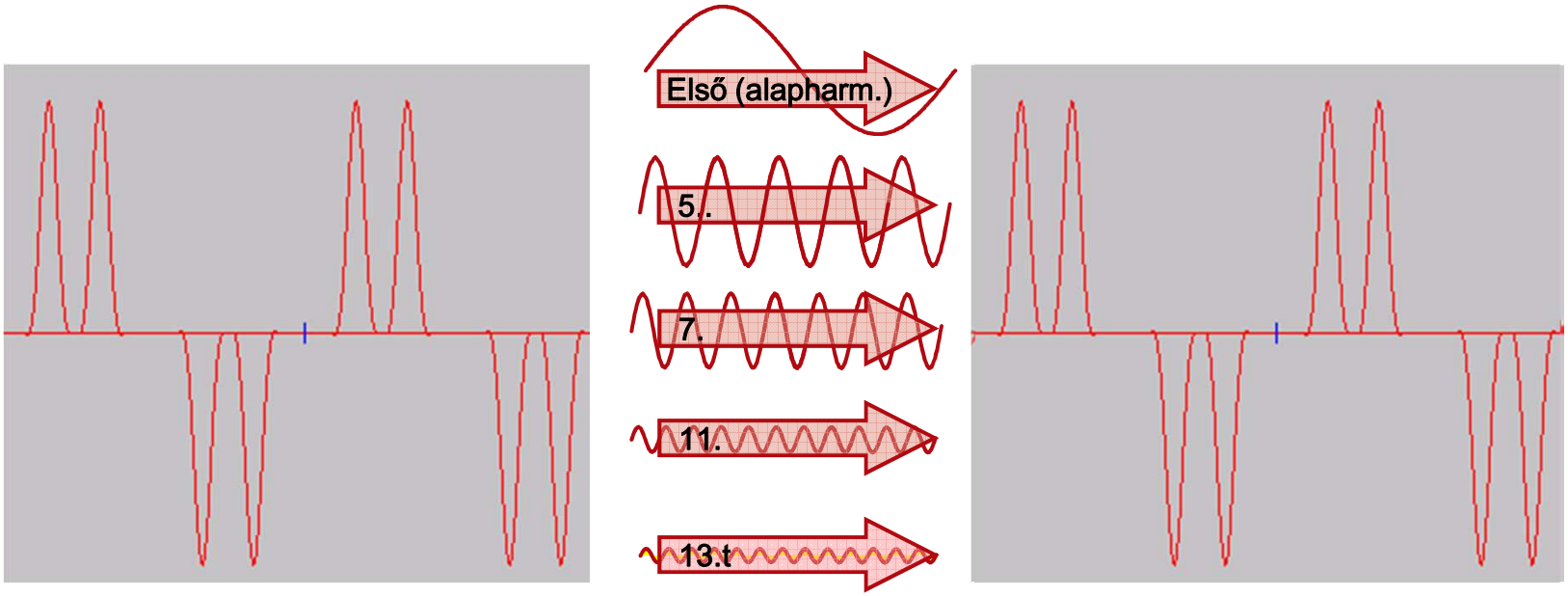
ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

A felharmonikus torzításról általánosan

Mik azok a felharmonikusok?

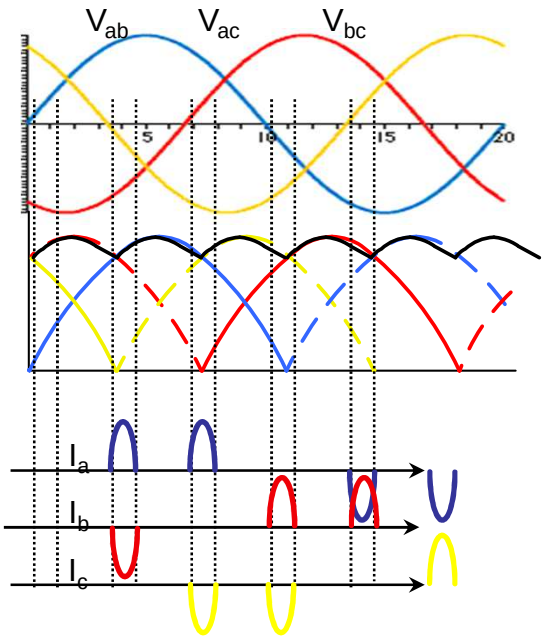
A nem szinuszos áramok felbonthatóak különböző frekvenciájú és amplitudójú szinuszos áramok összegére.
Az 50Hz-es alapharmonikus többszöröseit nevezzük felharmonikusoknak.



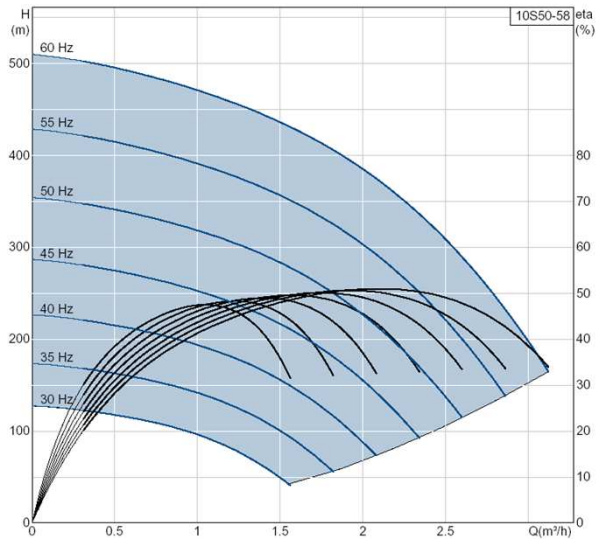
ENGINEERING TOMORROW

Frekvenciaváltók

Hátrány : Nem-szinuszos áramfelvétel

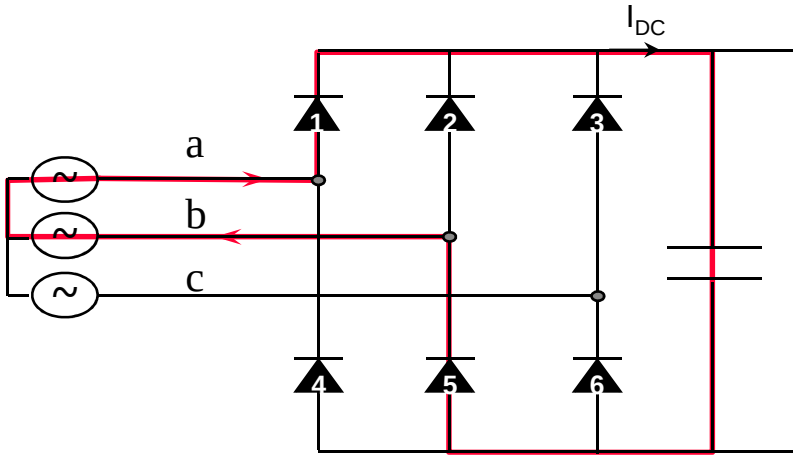


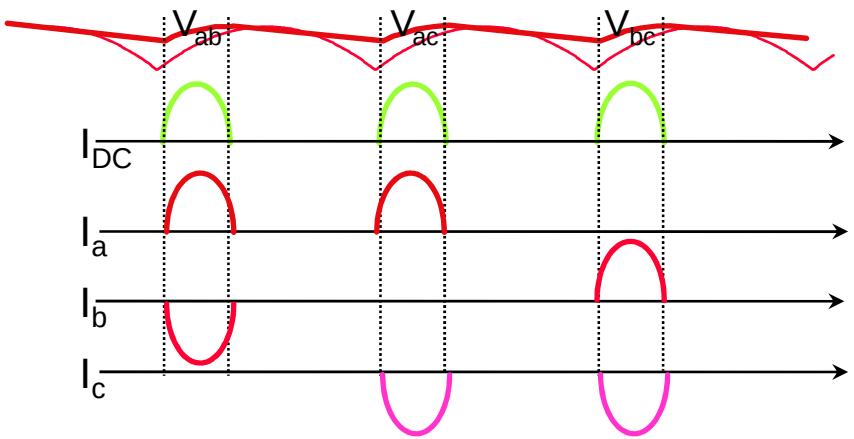
Előny : Energiamegtakarítás



ENGINEERING TOMORROW

Harmonikus torzítás keletkezése





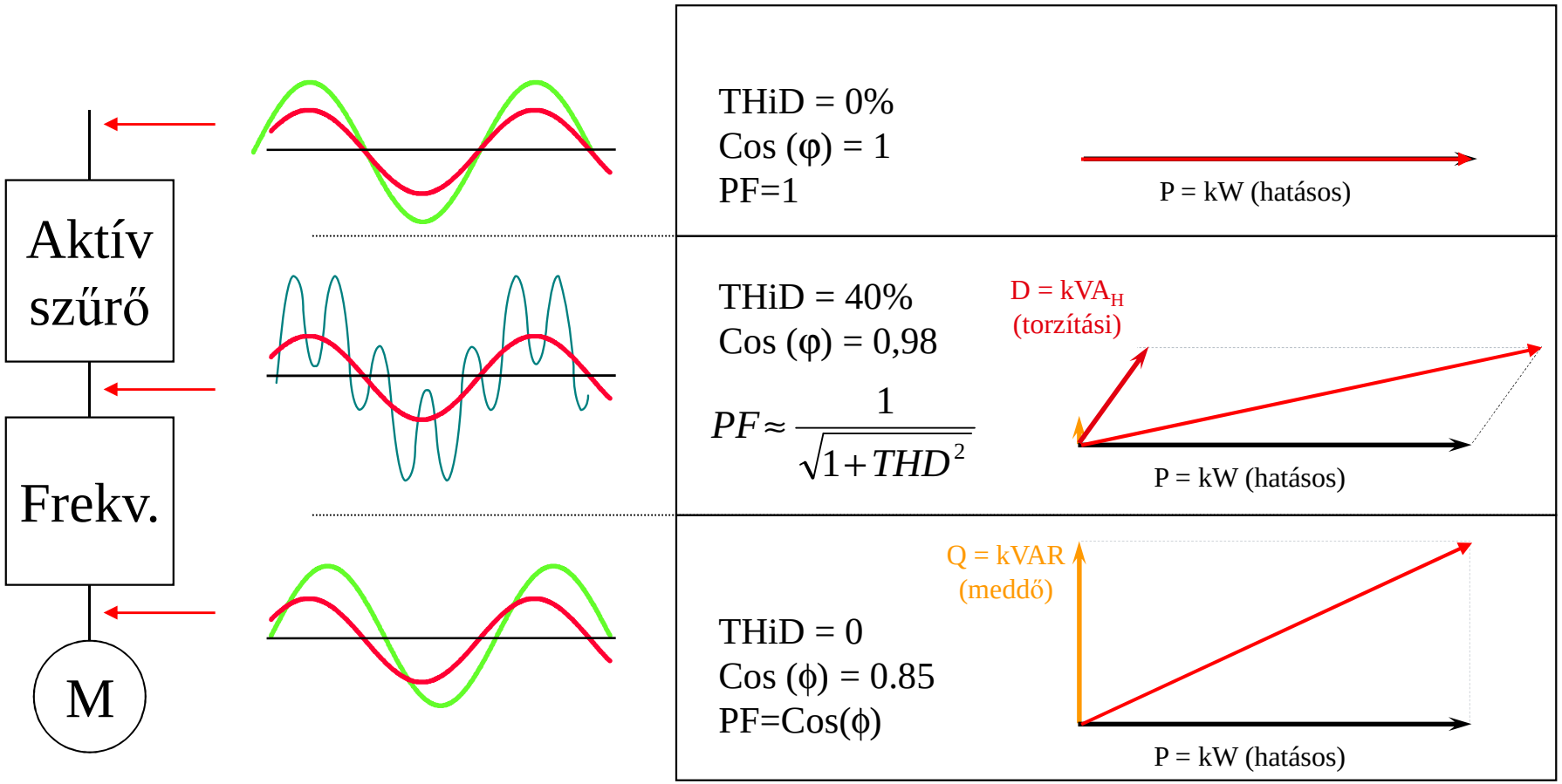
- A 6 ütemű, vezéreletlen egyenirányító áramfelvétele a hálózatból nem lineáris.
- A kondenzátorok által felvett töltő áram nagysága a kondenzátorok méretétől függ.
- Az áram jelalak függ a terheléstől, kisebb terhelés nagyobb harmonikus torzítást eredményez
- Az áramimpulzus fojtóval simítható
- A Danfoss VLT frekvenciaváltók esetén a beépített DC-fojtó az alapkivitel része

ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

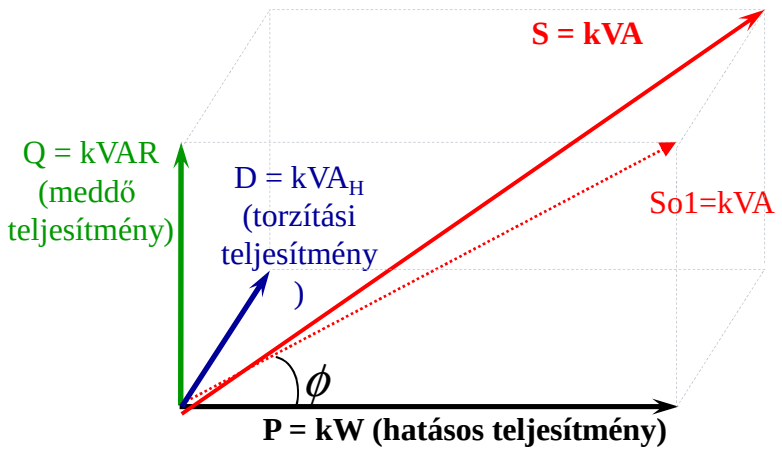
Teljesíténytényezők értelmezése

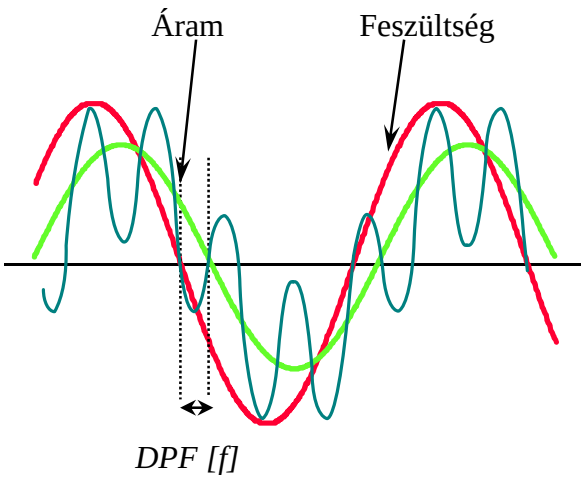
Teljesítménytényezők



ENGINEERING TOMORROW

A valódi teljesítménytényező





- Szinuszos áramfelvételű fogyasztó esetén:

$$PF=\frac{P}{S}=\frac{I_{(1)}\cdot DPF}{I_{RMS}}=DPF=\cos(\phi)$$

$$S=\sqrt{P^2+Q^2}$$

- Torz áram esetén a teljesítménytényező nem csak a cos(ϕ)-től, hanem az áramtorzítástól is függ.

$$PF=\frac{DPF}{\sqrt{1+\sum_{h=2}^{h_{max}}\left(\frac{I_{(h)}}{I_{(1)}}\right)^2}}$$

$$S=\sqrt{P^2+Q^2+D^2}$$

ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

Teljesítménytényezők háttértorzítás jelenléte esetén

Háttértorzítás

$$S = 3 * U_o * I_o$$

- Háttértorzítás esetén a felírható teljesítmények
- Aszimmetrikus feszültségek
- Alapharmonikus és felharmonikus feszültségek, áramok

$$U_o = U_{o1}^2 + U_{oH}^2 = \frac{U_{L11}^2 + U_{L21}^2 + U_{L31}^2}{3} + \sum_{h \neq 1}^{\infty} \left(\frac{U_{L1H}^2 + U_{L2H}^2 + U_{L3H}^3}{3} \right)$$

$$I_o = I_{o1}^2 + I_{oH}^2 = \frac{I_{L11}^2 + I_{L21}^2 + I_{L31}^2}{3} + \sum_{h \neq 1}^{\infty} \left(\frac{I_{L1H}^2 + I_{L2H}^2 + I_{L3H}^3}{3} \right)$$

$$S^2 = (3 * U_o * I_o)^2 = (3 * U_{o1} * I_{o1})^2 * (3 * U_{o1} * I_{oH})^2 * (3 * U_{oH} * I_{o1})^2 * (3 * U_{oH} * I_{oH})^2$$

Alapharmonikus látszólagos teljesítmény:

$$S_{o1} = 3 * U_{o1} * I_{o1}$$

$$S_{o1}^2 = (S_1^+)^2 + (S_{U1})^2$$

$$S_1^+ = 3 * U_1^+ * I_1^+ \rightarrow (S_1^+)^2 = (P_1^+)^2 + (Q_1^+)^2$$

$$P_1^+ = 3 * U_1^+ * I_1^+ * \cos\varphi_1^+$$

$$Q_1^+ = 3 * U_1^+ * I_1^+ * \sin\varphi_1^+$$

$$S_{U1} = S_1^- + S_1^o$$

A negatív és zérus sorendű összetevők, az aszimmetria hatására jelennek meg!

ENGINEERING TOMORROW Danfoss

Háttértorzítás

Torzítási látszólagos teljesítmények

$$S_{oH} = 3 * U_{oH} * I_{oH}$$

$$P_{oH} = \sum_{h \neq 1; k = L1, L2, 3}^{\infty} U_{kh} * I_{kh} * \cos \varphi_{kh}$$

$$N_{oH} = \sqrt{S_{oH}^2 - P_{oH}^2}$$

$$D_{oU} = 3 * U_{oH} * I_{o1} = 3 * S_{o1} * THuD_{oH}$$

$$D_{oI} = 3 * U_{o1} * I_{oH} = 3 * S \ * THiD_{oH}$$

$$THuD_{oH} = \frac{U_{oH}}{U_{o1}}$$

- Harmonikus látszólagos teljesítmény
- Aktív harmonikus teljesítmény – DOL motorokban nyomatéklüktetés!
- Nem aktív harmonikus teljesítmény – melegedés, zavar
- Feszültség torzítási teljesítmény
- Áram torzítási teljesítmény
- Teljes harmonikus feszültségtorzítás
  - Az áramtorzítás hozza létre a hálózat impedanciáján.

ENGINEERING TOMORROW Danfoss

Mit mér a fogyasztásmérő?

$$S = 3 * U * I$$

$$P_1^+ = 3 * U_1^+ * I_1^+ * \cos \varphi_1^+$$

$$Q_1^+ = 3 * U_1^+ * I_1^+ * \sin \varphi_1^+$$

- Látszólagos teljesítmény
  - RMS értékek!
- Hatásos teljesítmény
  - Alapharmonikus értékek!
- Meddő teljesítmény
  - Alapharmonikus értékek!

A negatív és zérus sorendű összetevők, az aszimmetria hatására jelennek meg!

ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

Vonatkozó szabványok

Szabványok / ajánlások

A hálózati feszültségre vonatkozó szabványok és ajánlások a feszültségtorzítás szintjére vonatkoznak.

Pár példa:

- IEC61000-2-x
- IEEE519
- G5/4
- GB/T 14549
- DNV-OS-D201

Néhány szabvány termék szinten is tartalmaz ajánlásokat az egyes felharmonikus áramtorzítás értékekre.

Table 10-3—Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69 000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \le h < 17$	$17 \le h < 23$	$23 \le h < 35$	$35 \le h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L.

where
I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

ENGINEERING TOMORROW

Szabványok / ajánlások

- **EN50160**
  - A csatlakozási ponton megengedett legnagyobb feszültségtorzítás

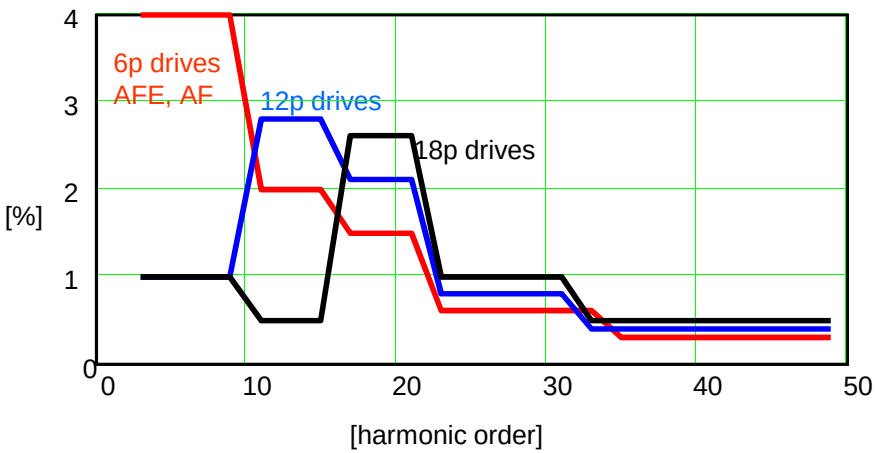
Rendszám	5	7	11	13	17	19	23	25
Relatív feszültség	6 %	5 %	3,5 %	3 %	2 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %

ENGINEERING TOMORROW

Rendszer-szintű ajánlás

I_{sc}/I_L	h < 11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35 ≤ h	TDD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20<50	7	3.5	2.5	1	0,5	8
……	……	……	……	……	……	……
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Even limited to 25% of odd harmonics



Harmonikus IEEE 519 for Isc/Il<20

IEEE519

- A cél, hogy középfeszültségen 5%-ra csökkenjen a feszültségtorzítás
- Határértékeket tartalmaz az egyes felharmonikus áramok szintjére és a teljes torzításra is

$$TDD=\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}}\left(\frac{I_{(h)}}{I_{(L)}}\right)^2}\cdot 100\,[\%]$$

ENGINEERING TOMORROW

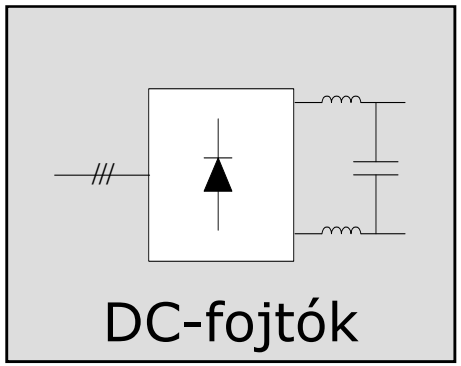
ENGINEERING
TOMORROW

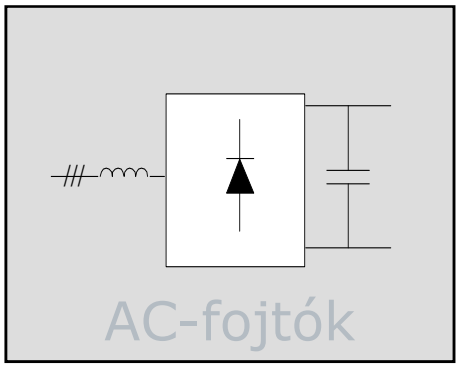
Az aktív felharmonikus szűrők

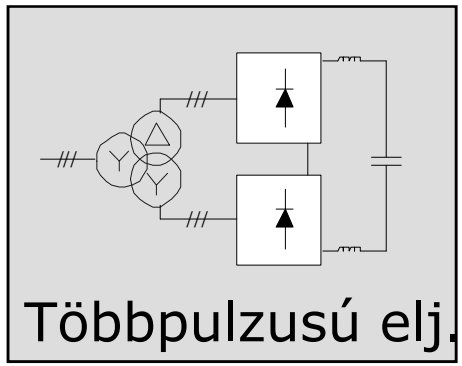
www.danfoss.hu/vlt

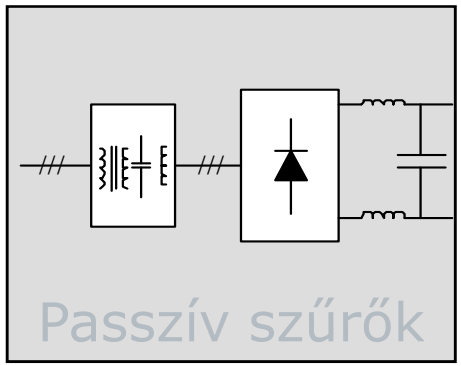
Felharmonikus csökkentő eljárások

Passzív megoldások:

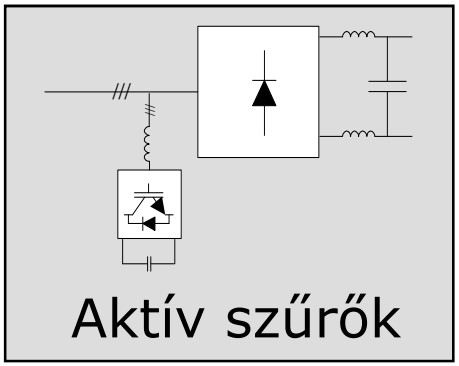


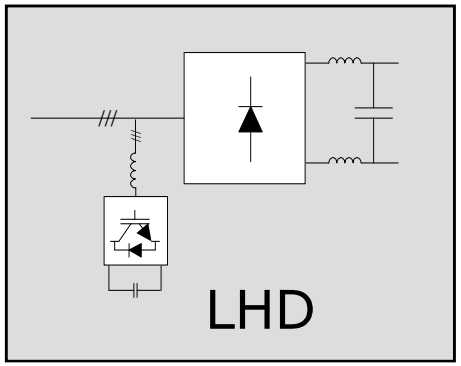


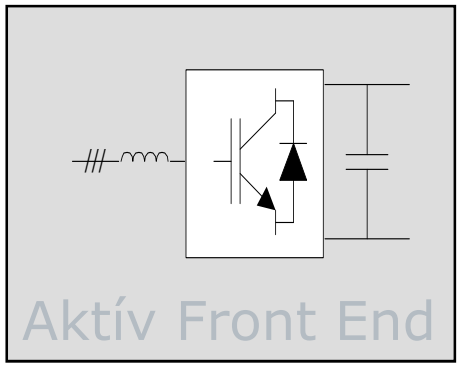




Aktív megoldások:







ENGINEERING TOMORROW

Aktív felharmonikus szűrő

Mikor szükséges?

- Túl nagy felharmonikus tartalom
- Hosszú kábelek (kapacitív meddőkompenzáció)
- Transzformátor csere kiküszöbölése
- Felharmonikus csökkentés és meddőkompenzáció egyben (helytakarékos)

ENGINEERING TOMORROW

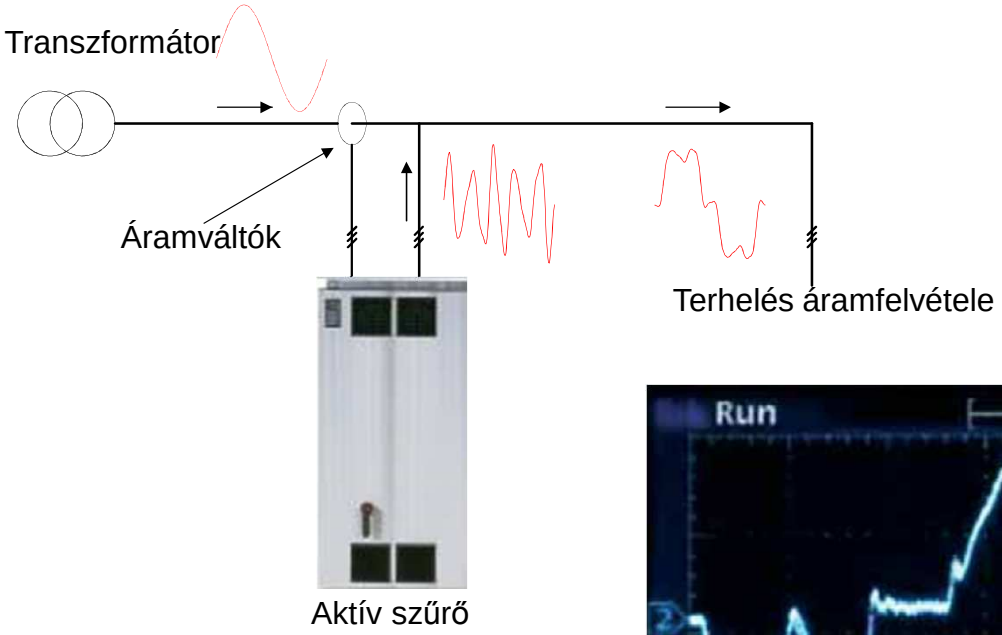
Aktív szűrők (AAF 006)

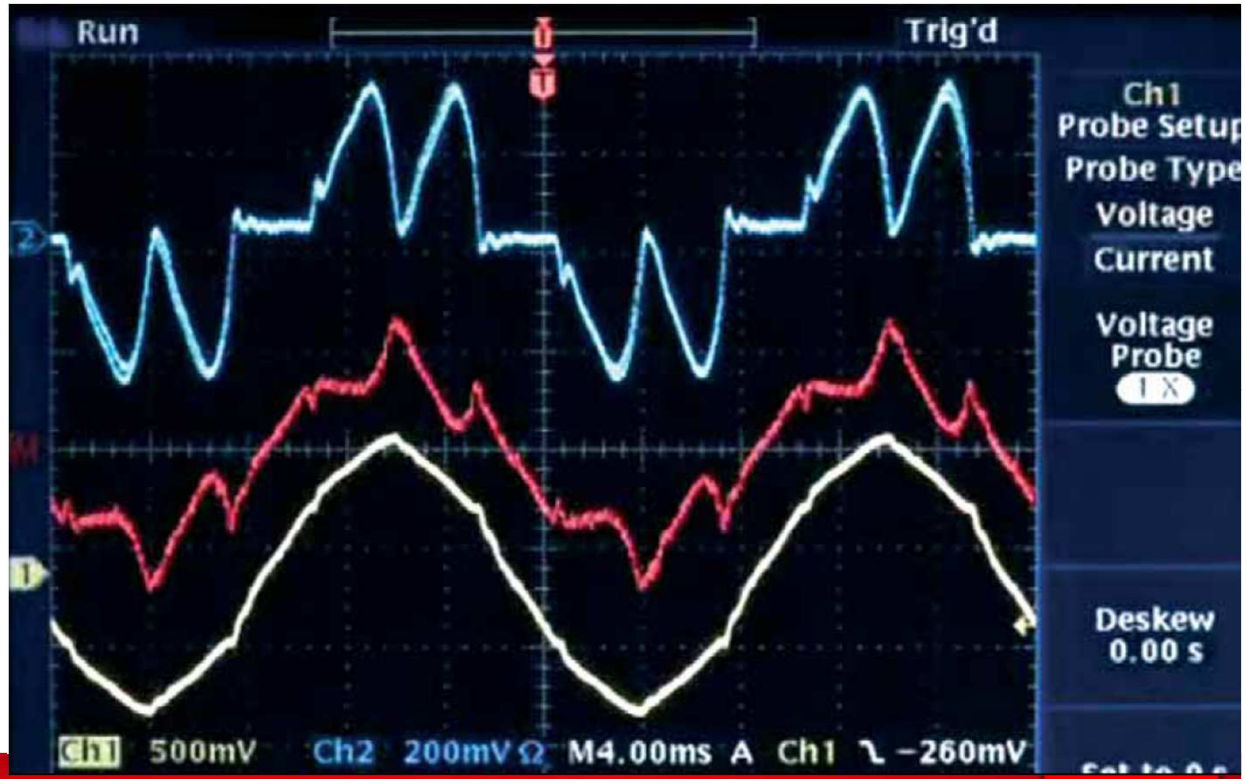
Az aktív szűrők alapelvei

- Párhuzamosan kapcsolt eszköz
- Áramváltók segítségével méri az áramot
- Kompenzálja a nem kívánt harmonikusokat ellenfázisú áramok beinjektálásával
- A működési elve a zajelnyomásos fülhallgatókéhoz hasonlít

ENGINEERING TOMORROW

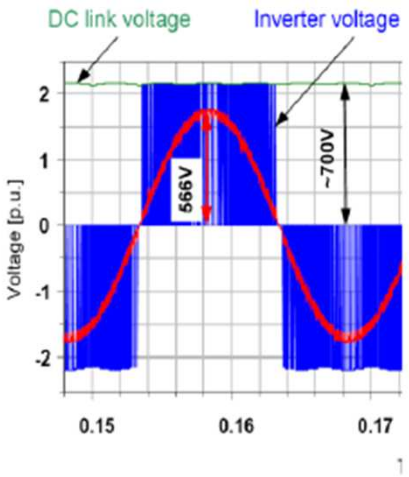
Aktív szűrők (AAF 006)

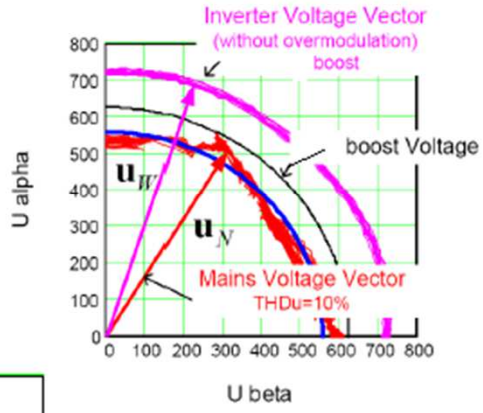


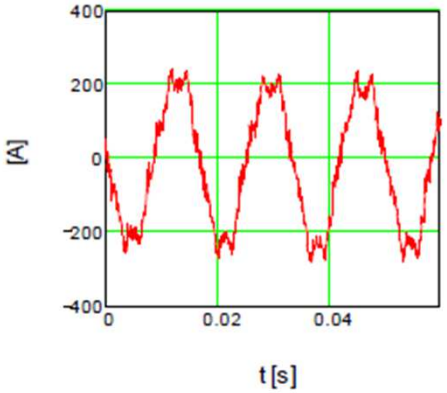


ENGINEERING TOMORROW

Feszültségnövelés







- Az aktív szűrő közbenső körében az egyenfeszültségnek nagyobbnak kell lennie a hálózati feszültség csúcsértékénél
- Így tud kompenzáló áram folyni a hálózat felé
- Minél nagyobb a feszültségnövelés, annál jobb a kompenzáció

ENGINEERING TOMORROW

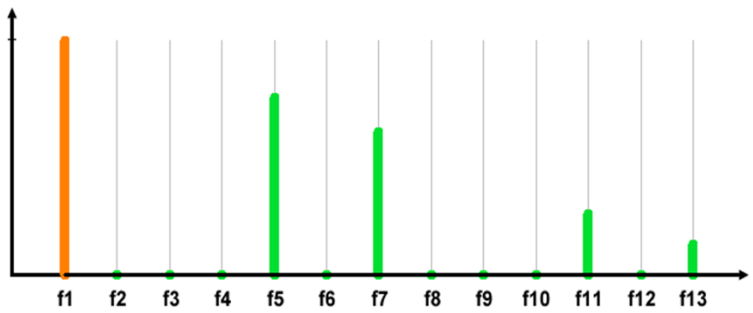
Aktív szűrő jellemzők

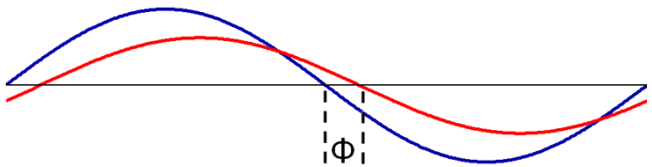
- Feszültségszint: 380-480 (±10%)
- Frekvencia: 50-60Hz (±10%)
- Mechanikai védettség: IP21, IP54
- Működési módok:
  - Általános harmonikuskompenzáció <50.
  - Egyedi harmonikuskompenzáció <27.
- Kompenzálás: 190A-tól akár 1600A felharmonikus áramig

$$I_{filter} = \sqrt{I_{harmonikus}^2 + I_{meddő}^2}$$

ENGINEERING TOMORROW

Aktív szűrők (AAF 006)





- Kétféle kompenzációs lehetőség:

  Harmonikus kompenzálás

  Cos (φ) javítás

- <u>Harmonikus kompenzálás prioritásként</u>
  Alapértelmezett beállítás.
  <40%-a az áramnak használható meddőkompenzálásra.

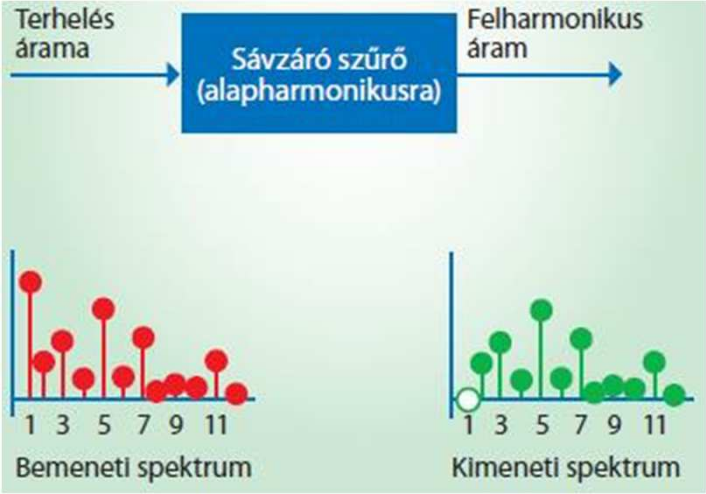
$$I_{filter} = \sqrt{I_{harmonikus}^2 + I_{meddő}^2}$$

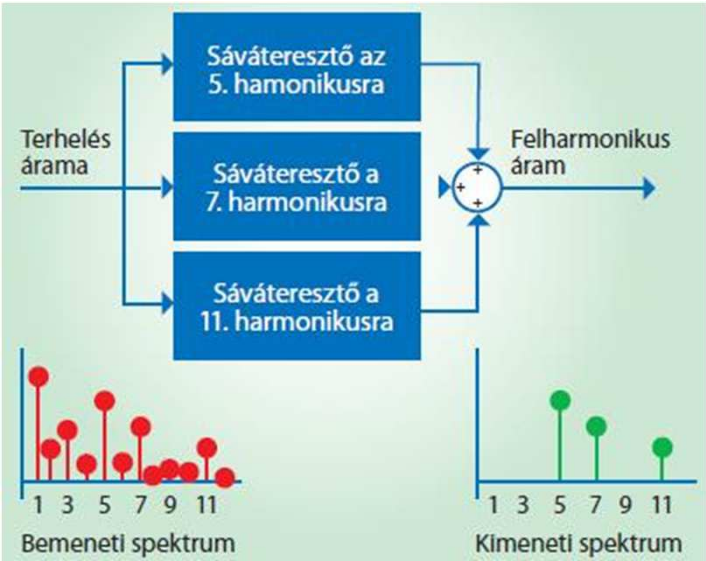
- <u>Meddőkompenzálás prioritás</u>
  A maradék kapacitást fordítja csak felharmonikus kompenzációra.

$$I_{filter} = \sqrt{I_{harmonikus}^2 + I_{meddő}^2}$$

ENGINEERING TOMORROW

Aktív szűrők (AAF 006)

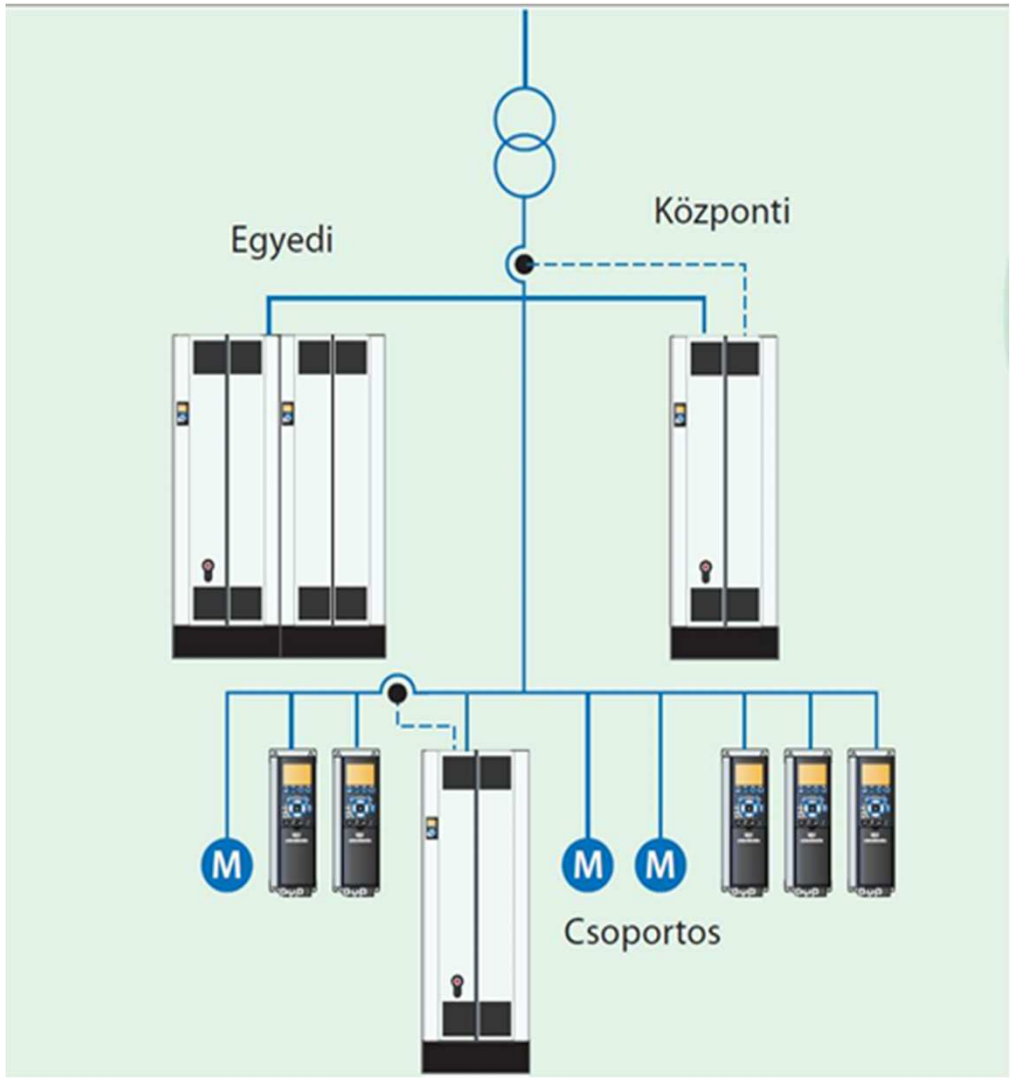




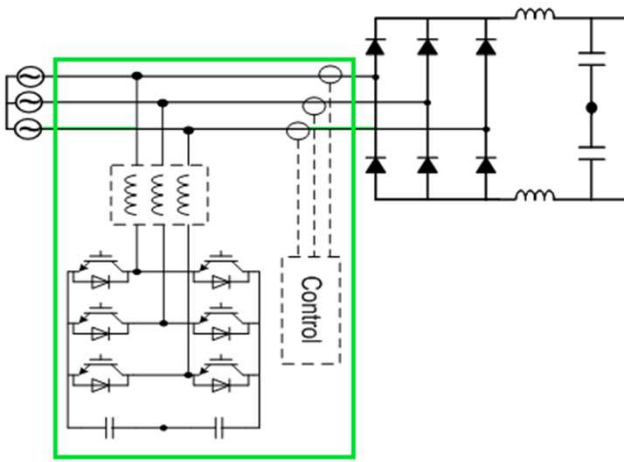
- Az aktív szűrő többféle kompenzációs módra képes
- Csökkenti a felharmonikusokat,
- Páros / 3-mal osztható rendszámú harmonikusokat is kompenzál,
- Fourier transzformáció alkalmazásával egyedi harmonikuskompenzációra van mód
- Rezonanciafrekvencia elkerülése lehetséges
- Induktív, illetve kapacitív meddő kompenzálása is lehetséges

ENGINEERING TOMORROW

Aktív szűrők (AAF 006)

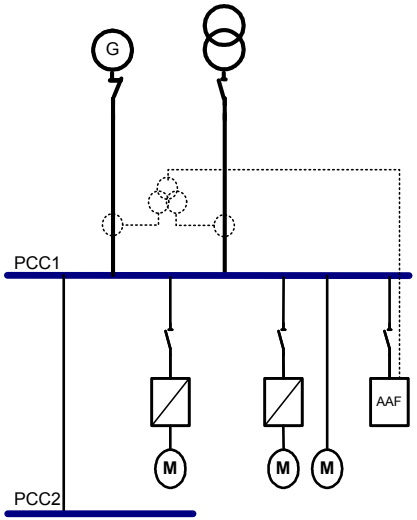


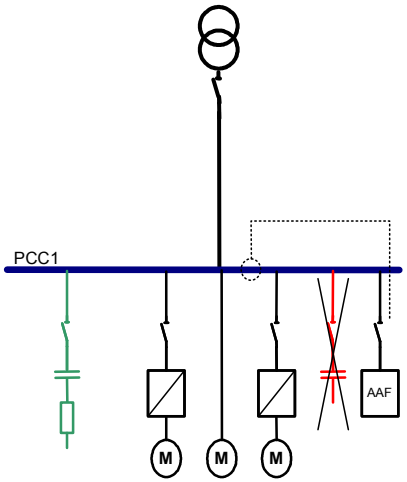
- Többféle elrendezési lehetőség
- Meddő kompenzáció
- Párhuzamos üzem

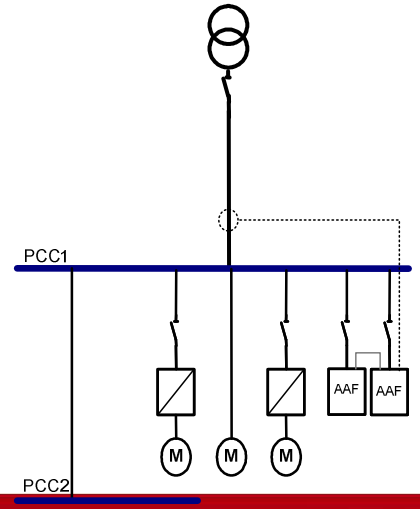


ENGINEERING TOMORROW

Kulcs: az árammérés



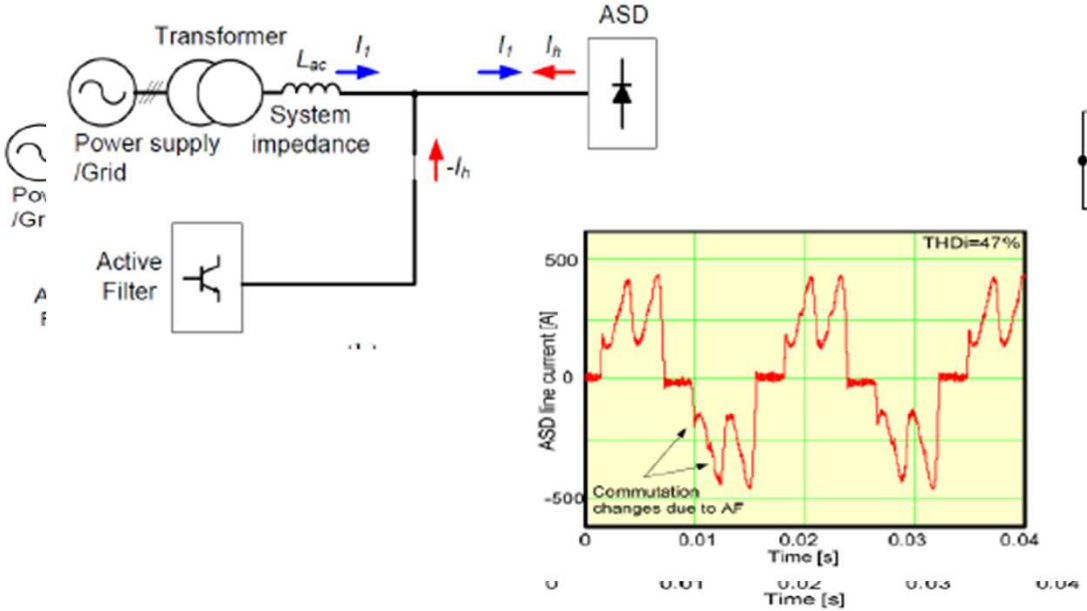


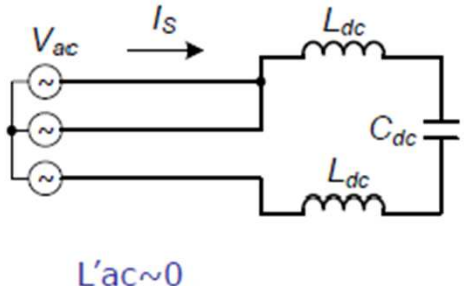


- Pontos árammérés szükséges
- Áramváltó elhelyezkedése
- Összegző áramváltó is használható
- Az áramváltó ne érzékelje mind az aktív szűrő, mind pedig a kondenzátortelep áramát
- Ha kondenzátortelep van a rendszerben, akkor használjunk egyedi kompenzációs módot
- Fojtott meddőkompenzáló kondenzátortelep esetén a kompenzáló berendezés rezonanciafrekvenciája nem eshet egybe a generált felharmonikusokkal (elhangolt kör)

ENGINEERING TOMORROW

Kihívások

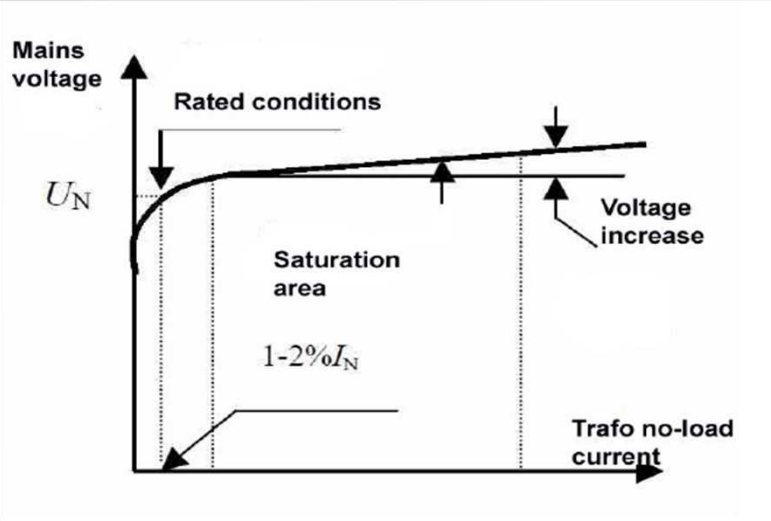




- A kompenzált hálózaton működő berendezések áramfelvételét kisebb korlátozza impedancia
- Ez a kommutációra is hatással van
- Nagyobb RMS áramok
- Nagyobb THiD

ENGINEERING TOMORROW

Kihívások



- Túlkompenzálás
- Telítésbe kerülhet a transzformátor
- KÖF oldalon felharmonikus tartalom

$$f_{res} = \sqrt{\left(\frac{S_{SC}}{Q_C}\right)} * 50Hz$$

- Rezonancia
- Torlófojtós vagy elhangolt meddőkompenzálás szükséges
  - Meglévő rendszereknél fontos szempont!

ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

Egyéb aktív szűrési megolások

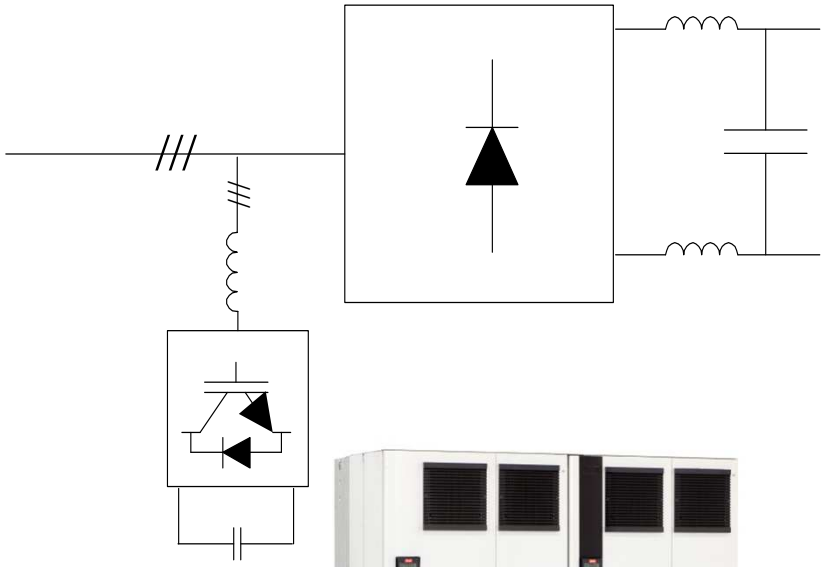
Aktív eszközök

Low Harmonic Drive (LHD)

- A legjobb felharmonikus csökkentés
- Független a kimenet terhelésétől
- Kompakt méretek
- Nincs hatása a motor feszültségére
- A motor az aktív szűrő meghibásodása esetén is üzemelhet

Önálló aktív felharmonikus szűrő (AAF)

- Utólag is telepíthető
- Csatlakozási pontra telepíthető (csoportos kompenzáció, kapacitív meddő kompenzáció, aszimmetria kiegyenlítés)
- Kompakt
- Rugalmas telepítés



ENGINEERING TOMORROW

VLT® platform

85%

-a az alkatrészeknek a VLT® frekvenciaváltókból származik

Az aktív szűrő a VLT® frekvenciaváltók megoldásait, felépítését használja.

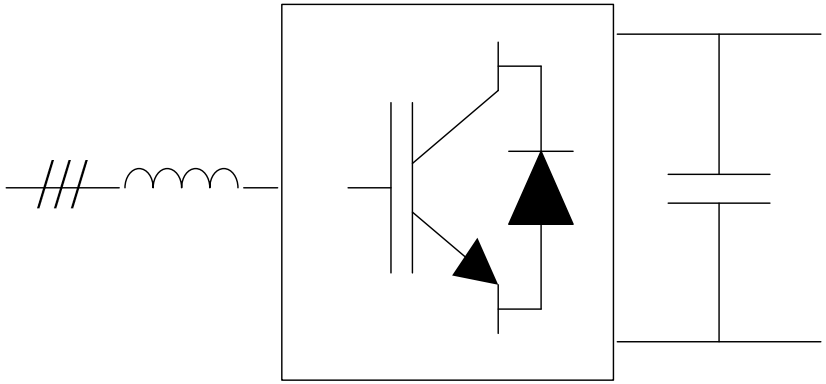
- A megszokott magas színvonalat és megbízhatóságot nyújtja.
- Hasonló tulajdonságok, megegyező kezelés
- A frekvenciaváltókkal megegyező beállítás, programozás

Hardveres tulajdonságok:

- Hátsó hűtőcsatornás hűtés
- Innovatív kapcsolási mód
- Ismert alkatrészek, helyi támogatás és szerviz

Active Front End (AFE)

- 5% THiD névleges terhelésnél
- Magasabb veszteségek
- Terhelésfüggő
- Nagyobb fizikai méret
- A feszültségnövelés csökkentheti a motor élettartamát
- Alkalmas visszatáplálásra



ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

Köszönöm a figyelmet!

www.danfoss.hu/vlt