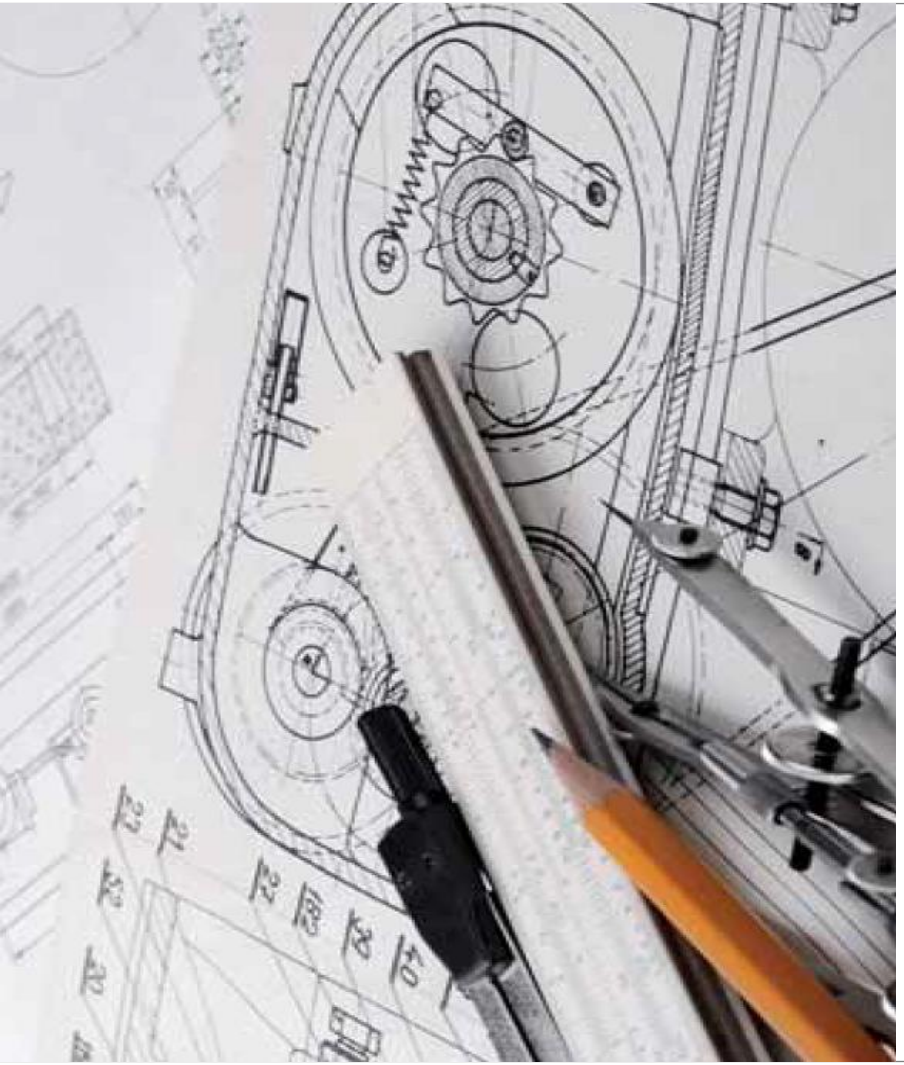
ENGINEERING
TOMORROW

Úvod do koncepce a problematiky měničů obecně, nasazení frekvenčních měničů v průmyslovém podniku

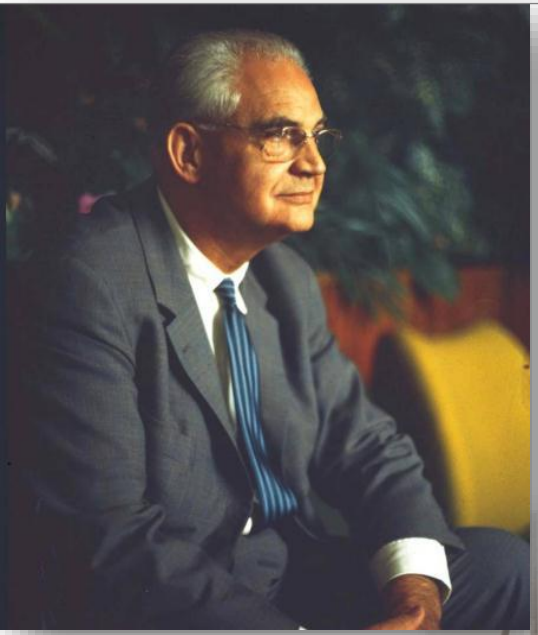
Ing. Josef Konečný, Application Engineer

Stručný obsah



- Krátký přehled Danfoss
- Soustava měnič – motor – zátěž
- Princip funkce měničů kmitočtu
- Vlivy na okolí při použití FM
- Diskuze – závěr

ENGINEERING TOMORROW



Danfoss jako rodinná firma

Mads Clausen zakladatel firmy Danfoss se narodil v roce 1905 v Havnbjerg, s jižním Dánsku, na farmě kde se nyní nachází vědecký a zábavně naučný park „The Danfoss Universe"

V roce **1933 firma Dansk Køleautomatik- og Apparat-Fabrik**, jejímž prvým výrobkem byl automatický **expanzní ventil pro chladící okruhy**.

V roce **1968** první na světě spustil linku na sériovou výrobu měničů kmitočtu Danfoss – pod označením **VLT 5**.

Danfoss **ve zkratce**

ENGINEERING TOMORROW

Klíčová fakta

Továrny (ve 20 zemích)

61

Počet zaměstnanců

23,400

Počet zemí, ve kterých figurujeme s našimi produkty

100

Počet patentových rodin

1,381

Celkové čisté tržby v mld. eur

5.11

Procento tržeb investované zpět do výzkumu a vývoje

4.2%

Severní Amerika

12 továren
Pobočky ve 2 zemích
3,406 zaměstnanců

24% Podíl na celkových čistých tržbách

Latinská Amerika

3 továren
Pobočky v 5 zemích
1,203 zaměstnanců

5% Podíl na celkových čistých tržbách

Západní Evropa

20 továren
Pobočky v 17 zemích
9,536 zaměstnanců

39% Podíl na celkových čistých tržbách

Východní Evropa

12 továren
Pobočky ve 12 zemích
3,908 zaměstnanců

9% Podíl na celkových čistých tržbách

Afrika a Střední východ

1 továrna
Pobočky ve 3 zemích
195 zaměstnanců

3% Podíl na celkových čistých tržbách

Asie-Pacifik

13 továren
Pobočky v 11 zemích
5,172 zaměstnanců

20% Podíl na celkových čistých tržbách

Témata růstu společnosti Danfoss

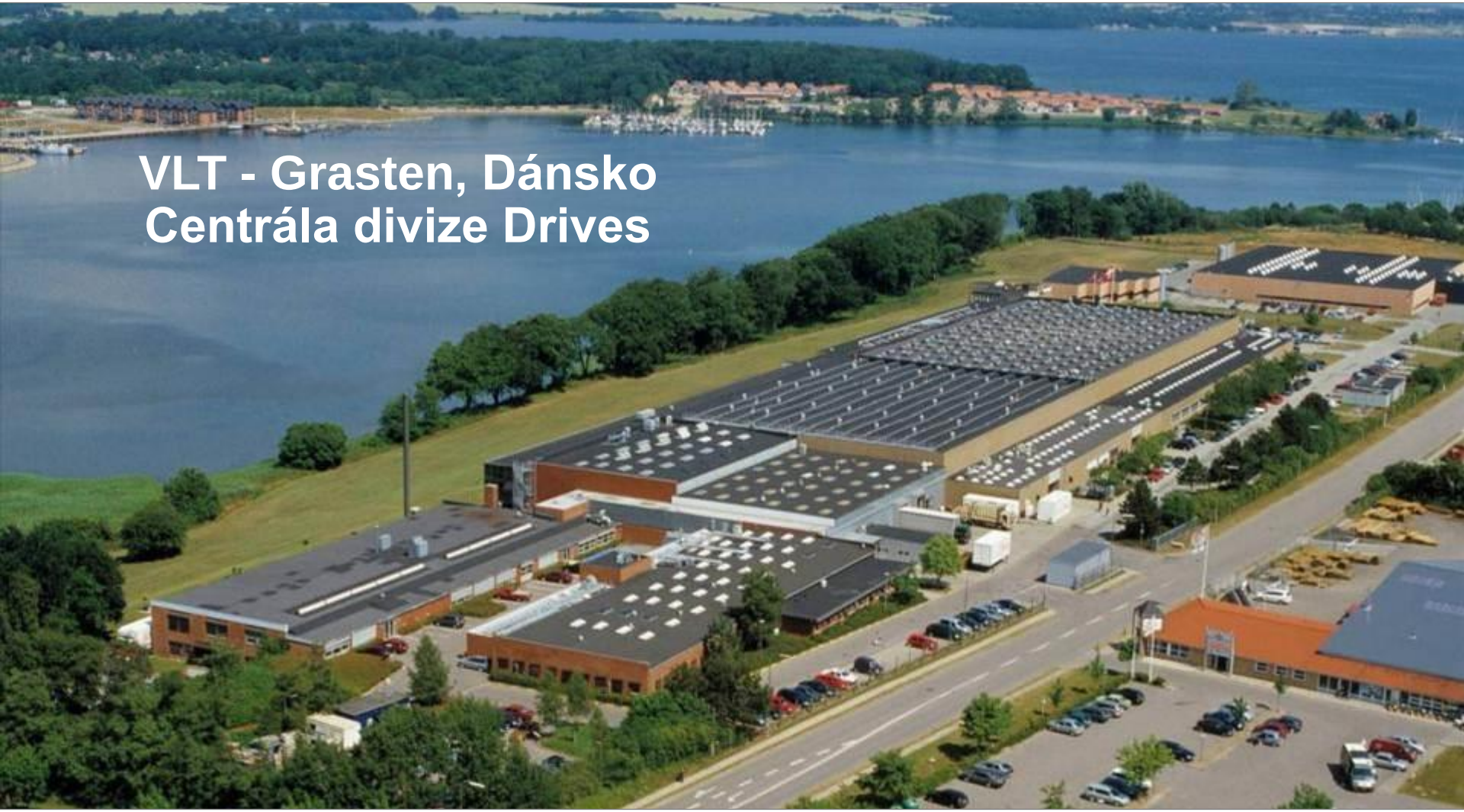
- Infrastruktura
- Potraviny
- Energie
- Klima

Strategie Core & Clear

- Portfolio Core & Clear
- Volnost & Agilita
- Nadšení & Výkon
- Zákazníci & Inovace

ENGINEERING TOMORROW

Nordborg, Dánsko
Dnešní podoba centrály společnosti



VLT - Grasten, Dánsko
Centrála divize Drives

Zabýváme se výkony od 180W do 5.3 MW

(s napájecím napětím do 690V AC)

Naší vizí je být jedním z nejlepších a celosvětově uznávaným dodavatelem regulovaných elektrických pohonů.

Členové divize Drives pro Čechy a Slovensko

Viktor Hašpl	Regional/Country Sales driector	
Jana Novotná	Regional Marketing Manager	

Jan Janeček	Sales manager CZ/SK	
Zdeněk Suchý	KA Manager CZ	
Tomáš Hrubý	Sales engineer CZ	
Jan Kazda	Sales engineer CZ	
David Matula	Sales engineer CZ	
Zsolt Markovics	Sales engineer SK	
Stanislav Vačko	Sales engineer SK	

Markéta Čejková	Customer service specialist CZ/SK	
Jan Holota	Customer service specialist CZ/SK	
Hana Viteková	Customer service specialist CZ/SK	

Michal Abelovský	Technical manager CZ/SK	
Adam Blažek	Service engineer CZ/SK	
Hynek Václavík	Application engineer CZ/SK	
Josef Konečný	Application engineer CZ/SK	
Jan Lada	Service engineer CZ/SK	
Tomáš Jiroušek	Technical support CZ/SK	

Stručný přehled výrobků VLT®

Měniče na nízké napětí do výkonu 1.8 MW

VLT® AutomationDrive FC 301/FC302

VLT® AQUA Drive FC 202

VLT® HVAC Drive FC 102

VLT® Refrigeration FC 103

VLT® Lift Drive LD 302

VLT® Low Harmonic Drive

VLT® 12-pulse Drive

VLT® Advanced Active Filter AAF

VLT® Midi Drive FC 280

VLT® Micro Drive FC 51

Decentrální měniče, servopohony a motor-převodovky do 7.5 kW

VLT® DriveMotor FCM 106 and FCP 106

VLT® Integrated Servo Drive ISD 410

VLT® Integrated Servo Drive ISD 510

VLT® OneGearDrive®

VLT® DecentralDrive FCD 302

Softstartéry

VLT® Soft Starters

Software

VLT® Software

Servis

DrivePro® Services and Support

ENGINEERING TOMORROW

Stručný přehled výrobků Vacon

Měniče na nízké napětí do výkonu 5.3 MW

VACON® 20

VACON® 20 Cold Plate

VACON® 100 INDUSTRIAL

VACON® 100 FLOW

VACON® NXP Air Cooled

VACON® NXC Air Cooled Enclosed Drives

VACON® NXP Common DC Bus

VACON® NXP System Drive

VACON® NXP Liquid Cooled Drive

VACON® NXP Liquid Cooled Enclosed Drive

Decentral drives up to 37 kW

Software

VACON® NXP Liqued Cooled Common DC Bus

VACON® NXP Grid Converter

VACON® 20 X

VACON® 100 X

VLT® Software

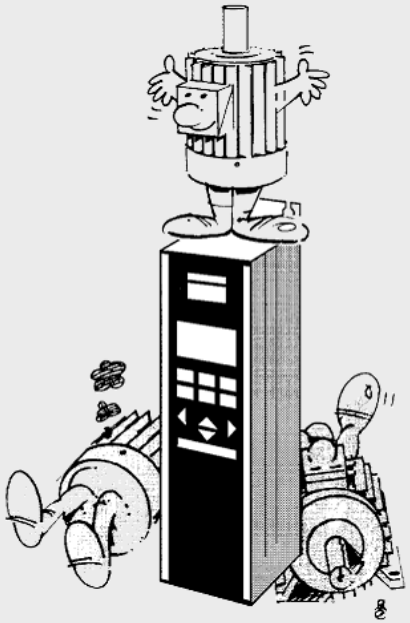
Services

DrivePro® Services and Support

ENGINEERING **TOMORROW**

ENGINEERING
TOMORROW

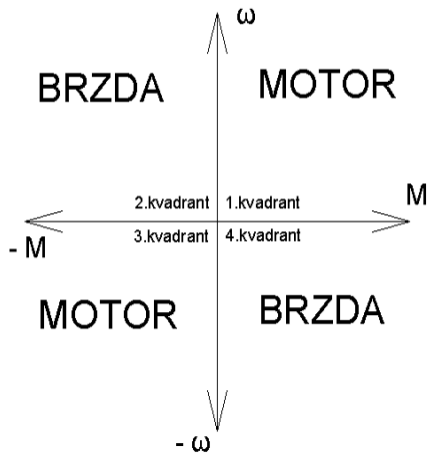
Koncepce provozu zařízení s měničem kmitočtu



Pracovní oblasti pohonu

Elektrický pohon - zařízení pro elektromechanickou přeměnu energie (včetně řízení této přeměny), které slouží k tomu, aby předepsaným způsobem uvedlo poháněný pracovní mechanismus nebo zpracovávanou látku do požadovaného pohybového stavu.

M (hnací moment motoru) = M (zrychl. či zpomal.) + M (zátěžný)

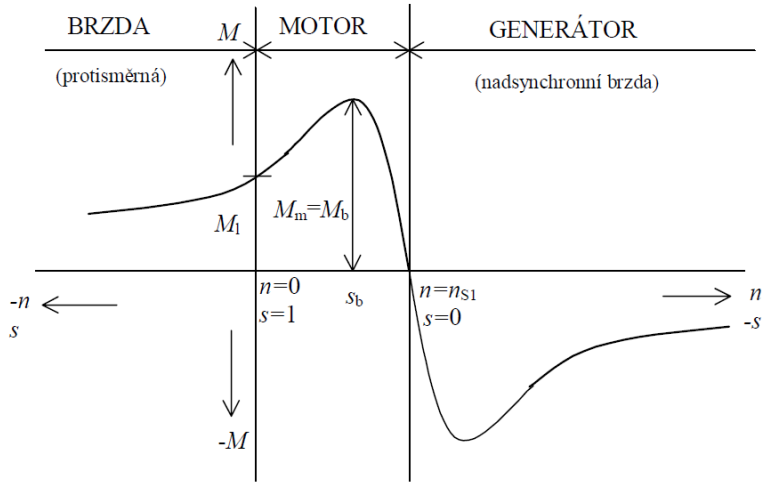


$$\sum_{i=1}^{n} M_i + M_d = 0$$

$$M - M_z = M_d$$

analogické s:

$$\sum_{i=1}^{n} F_i + F_d = 0$$



$$M_d = \frac{d}{dt}(J \cdot \omega)$$

konstantní mechanizmu s:

$$M_d = J\frac{d\omega}{dt}$$

ENGINEERING TOMORROW

Typické průběhy zátěže

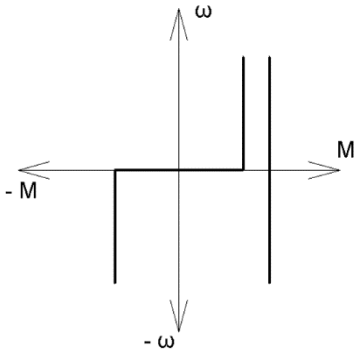
Závislost mezi rychlostí a momentem odporu mechanismu =>
=> **momentová charakteristika pracovního mechanismu**

- Různé druhy mechanizmů mají různé charakteristiky a podle nich je třeba volit příslušný měnič kmitočtu.
- Vyjděme ze vztahu: $M_{mech} = M_{tření} + (M_{odporns} - M_{tření}) \cdot (n/n_n)^X$
- Kde x je činitel změny odporu na otáčkách

Základní dělení je možné provést na charakteristiky:

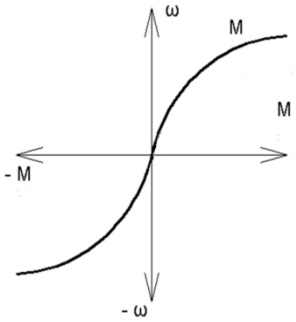
Nezávislé na rychlosti:

a) pasívní
b) aktivní



Závislé na rychlosti:

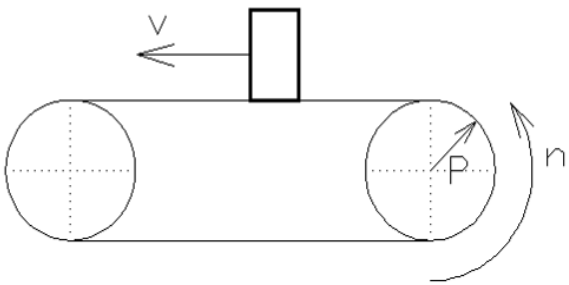
a) lineární
b) kvadratické
c) speciální

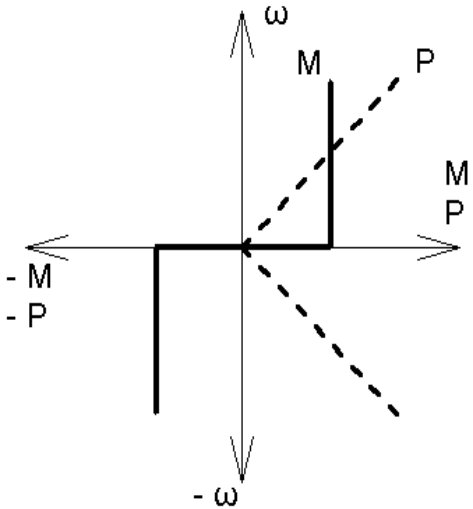


ENGINEERING TOMORROW

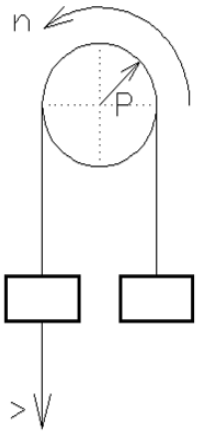
Typické průběhy zátěže

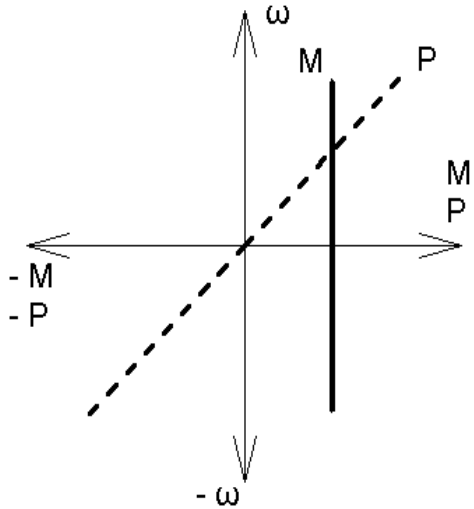
- **Konstantní moment**





Příkladem mohou být:
Dopravník, pojezd, obráběcí stroje, ale např. také zubová nebo vřetenová čerpadla apod.



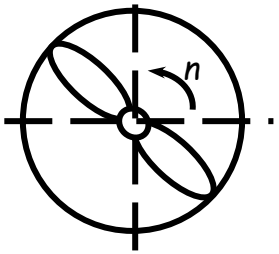


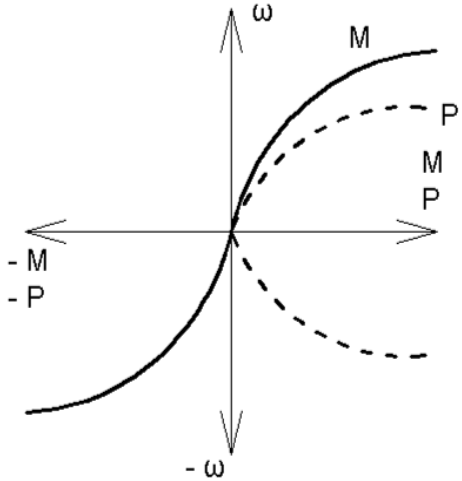
Příkladem mohou být:
Zdvihy, lisy, zdviže apod.

ENGINEERING TOMORROW

Typické průběhy zátěže

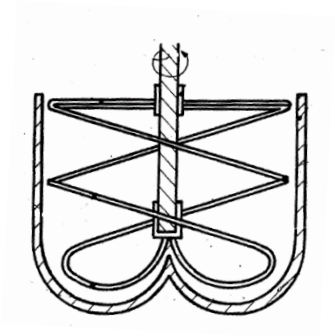
- **Kvadratický moment**

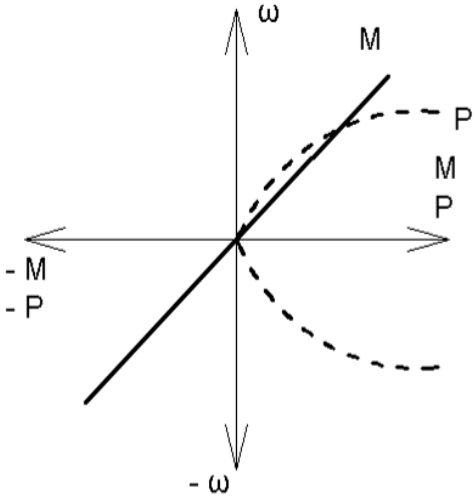




Příkladem mohou být:
ventilátory, oběhová čerpadla, míchadla apod.
Za zmínku stojí velké energetické úspory při regulaci otáček měničem kmitočtu

- **Lineární moment**





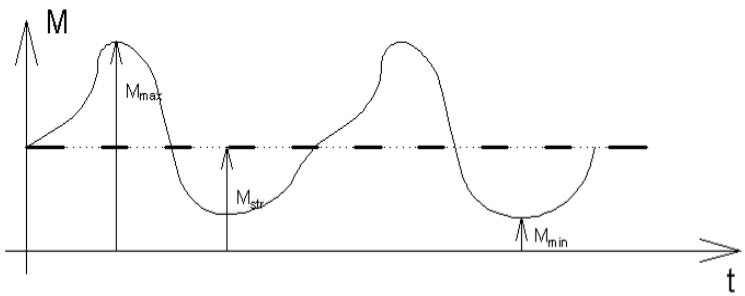
Příkladem mohou být:
Mechanizmy s viskózním třením, apod.

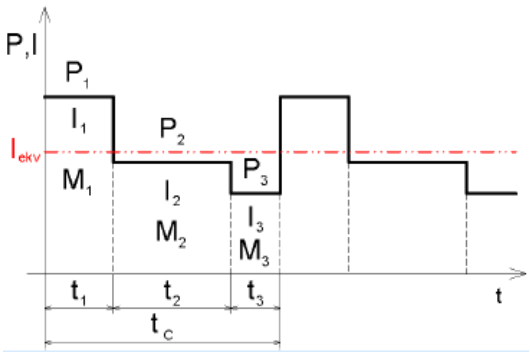
ENGINEERING TOMORROW

Druhy zatížení

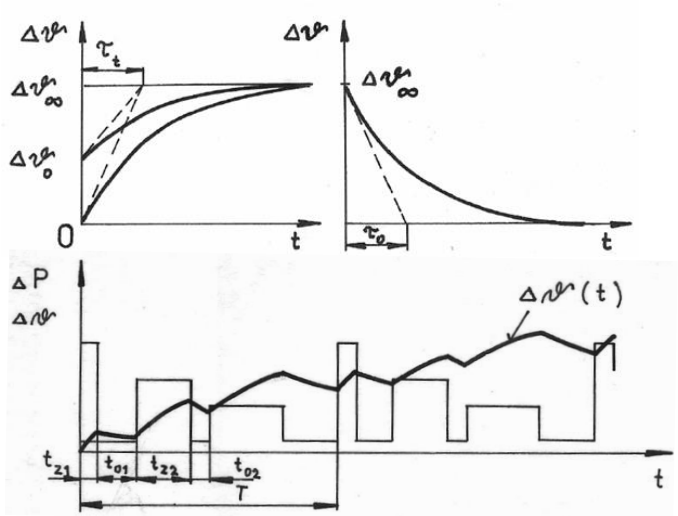
Moment zátěže proměnný v čase

Je-li motor zatížen trvale proměnným zatížením, musíme nejdříve toto zatížení přepočítat na tzv. ekvivalentní trvalé neproměnné zatížení a z něj pak určíme velikost potřebného minimálního momentu (resp. výkonu) motoru





Režimy chodu S1-S10 - dle ČSN EN 60034-1



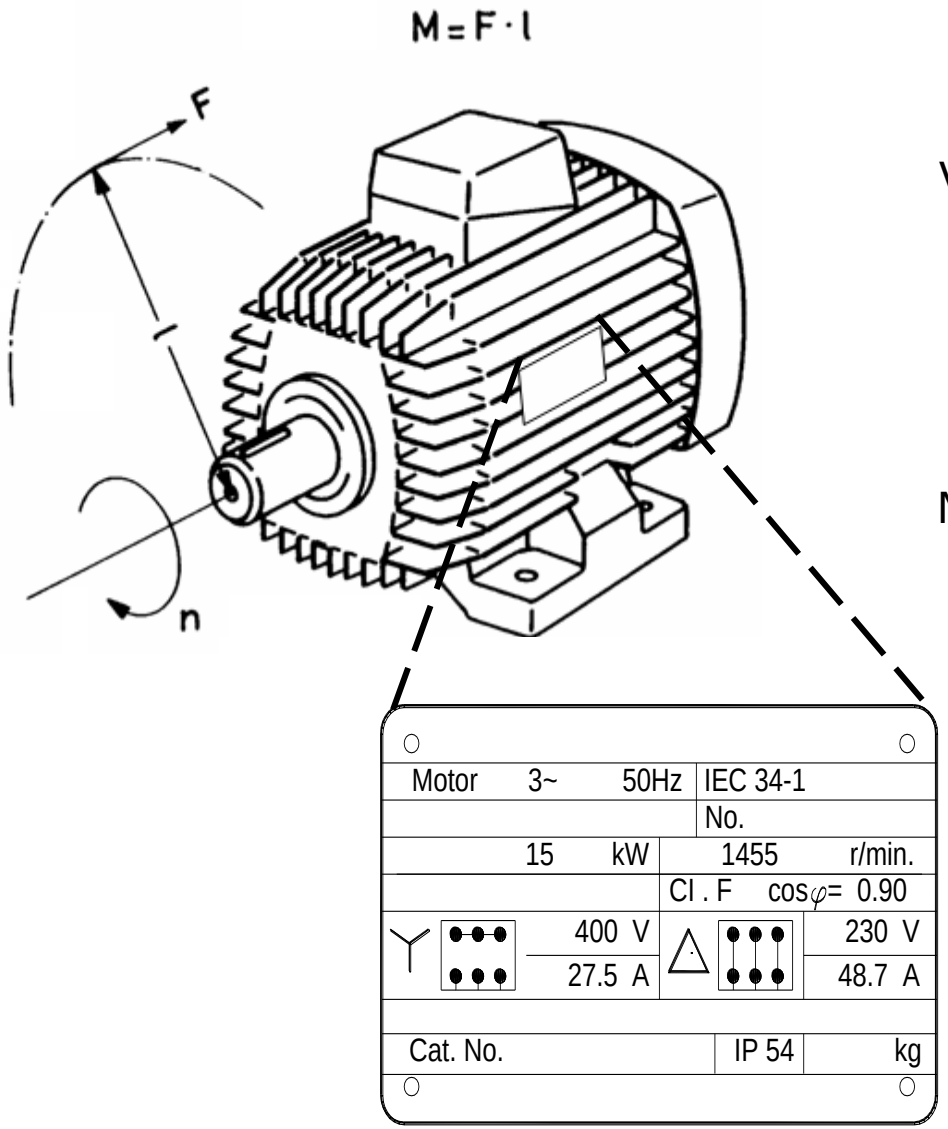
Trvalé zatížení - druh zatížení S1
Provoz při konstantním zatížení, který je dostatečně dlouhý pro dosažení ustálené teploty.

Krátkodobý chod - druh zatížení S2
Provoz při konstantním zatížení po stanovenou dobu, která je kratší, než doba nutná pro dosažení ustálené teploty. Následuje doba klidu.

Přerušovaný chod - druh zatížení S3
Sled stejných pracovních cyklu z nichž každý zahrnuje dobu provozu při konstantním zatížení, dobu klidu a odpojení D*t*R . Po dobu zatížení se nedosáhne ustáleného oteplení.

ENGINEERING TOMORROW

Výkon a točivý moment



Výkon $$P = \frac{M \bullet n}{9550} \quad [kW]$$

Moment $$M = \frac{9550 \bullet P}{n} \quad [Nm]$$

konst. ~U • I ~f

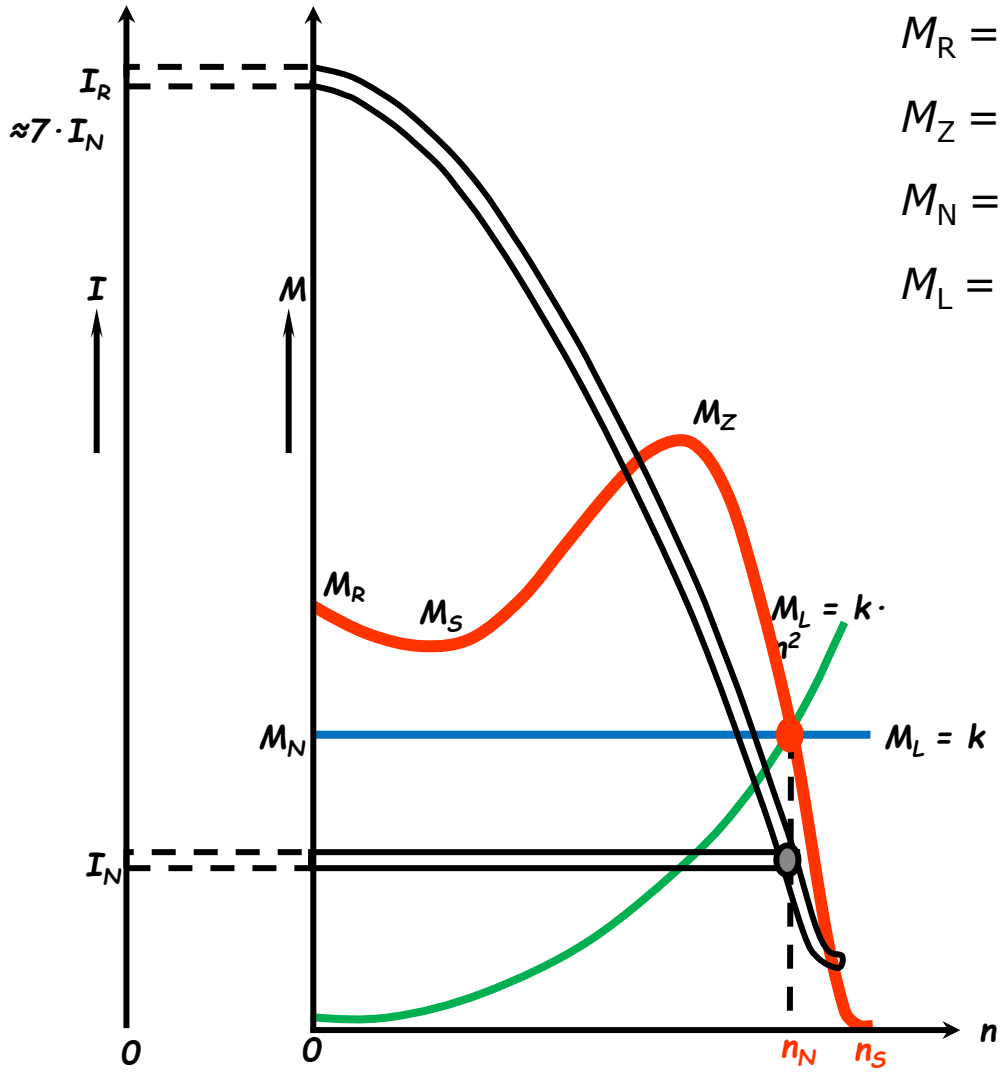
$$M \sim \frac{U \bullet I}{f}$$

$$M \sim \Phi \bullet I \quad [Nm]$$

Magnetický tok v motoru

ENGINEERING TOMORROW

Momentová charakteristika motoru



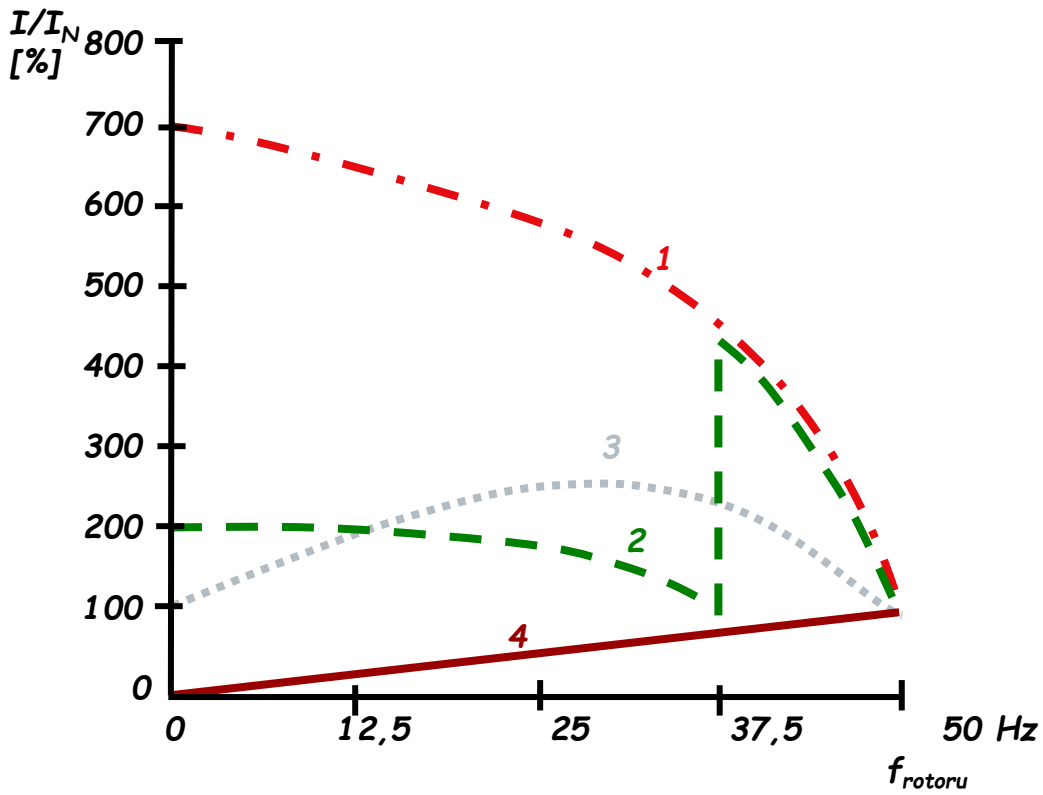
M_R = Rozběhový moment

M_Z = Moment zvratu

M_N = Jmenovitý moment

M_L = Zátěžný moment

Způsob rozběhu / Odběr proudu

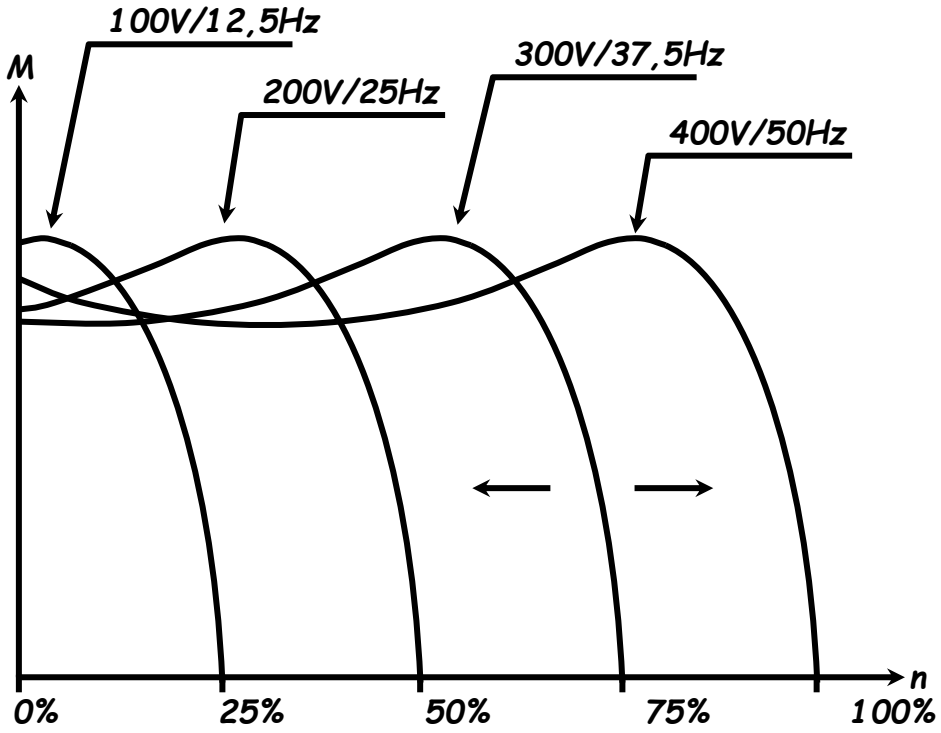


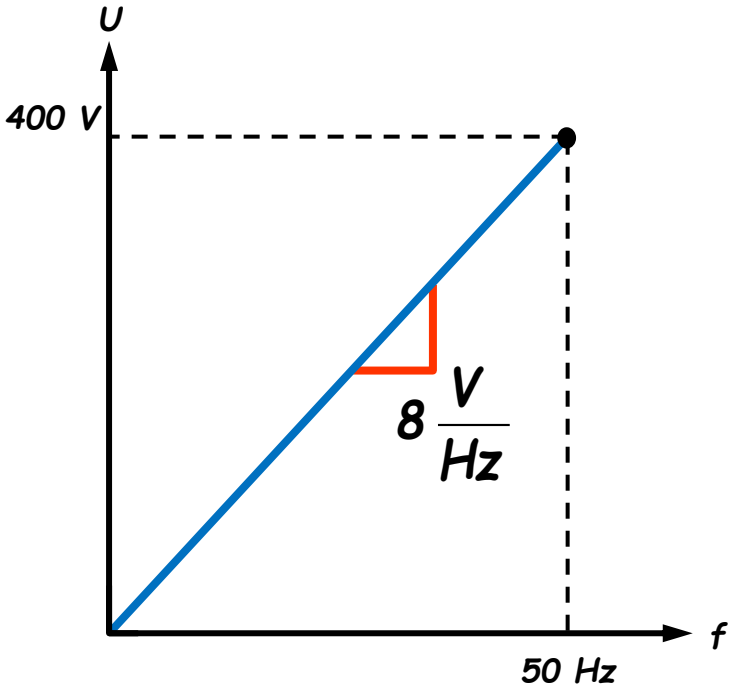
Rozběh asynchronního motoru:

1. Přímý rozběh na síti
2. Rozběh hvězda/trojúhelník
3. Softstartér
4. Frekvenční měnič

(měřeno při kvadratické zátěži)

Charakteristika U/f

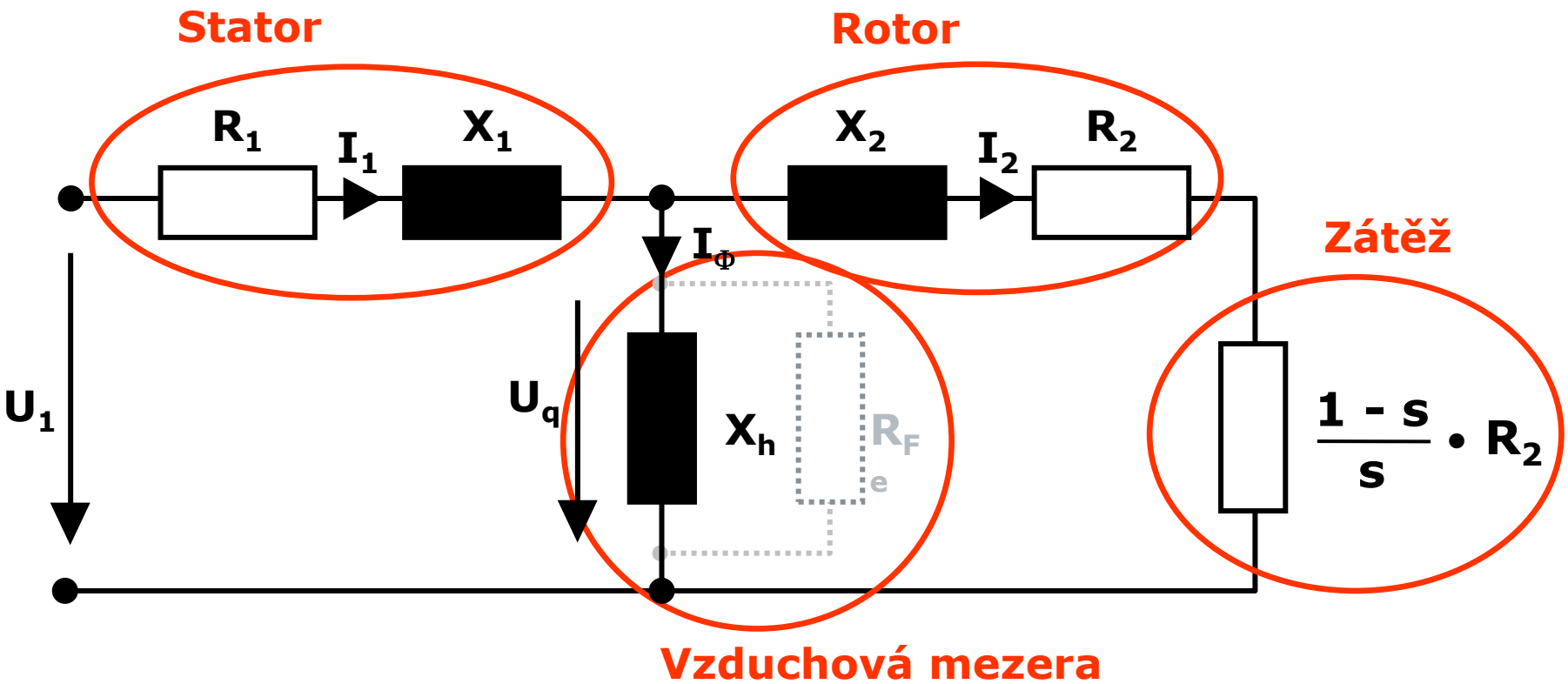




Chování asynchronního motoru při proměnné frekvenci / napětí

ENGINEERING TOMORROW

Zjednodušené náhradní schéma

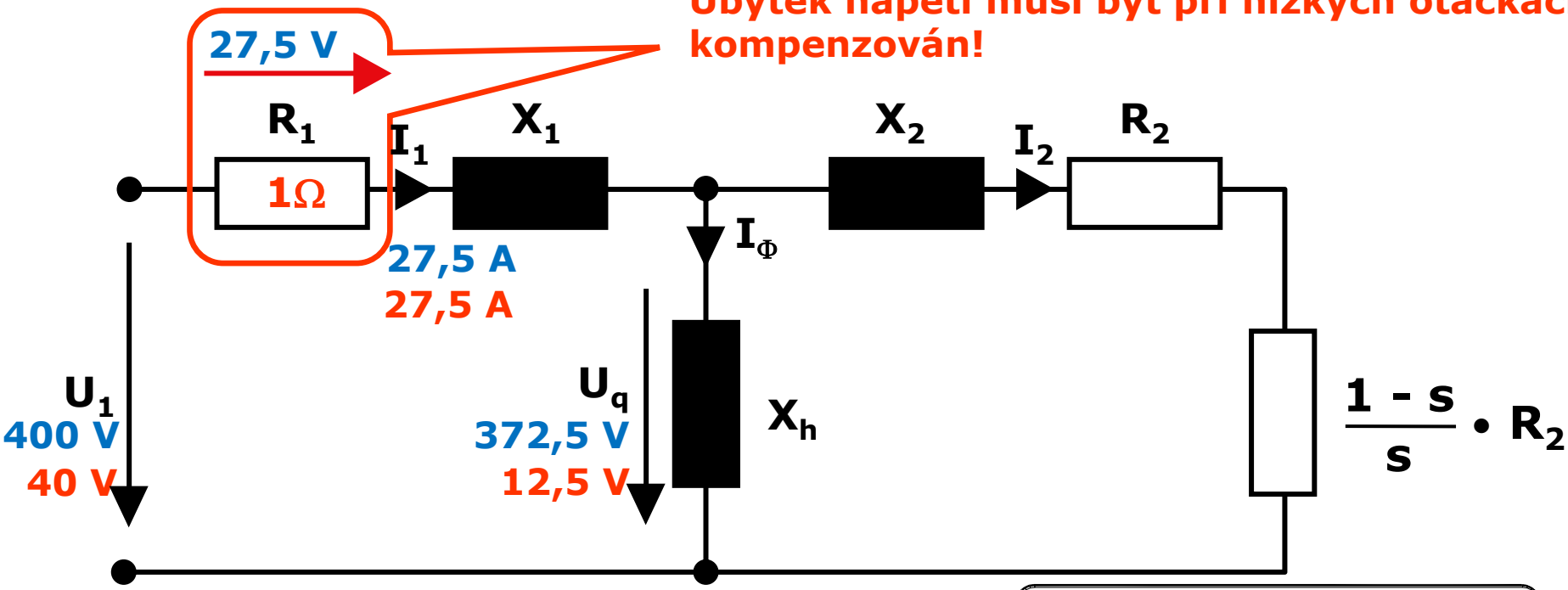


I_1	:	Proud statoru	R_1; R_2	:	Odpory st. a rot. (ztráty v mědi)
I_Φ	:	Magnetizační proud	R_{Fe}	:	Ztráty v železe (zanedbáváme)
I_2	:	Proud rotoru	X_1; X_2;X_h	:	Hlavní, st. a rot. indukčnost
s	:	Skluz	U_1	:	Fázové napětí

ENGINEERING TOMORROW

Nízké otáčky

Úbytek napětí musí být při nízkých otáčkách kompenzován!

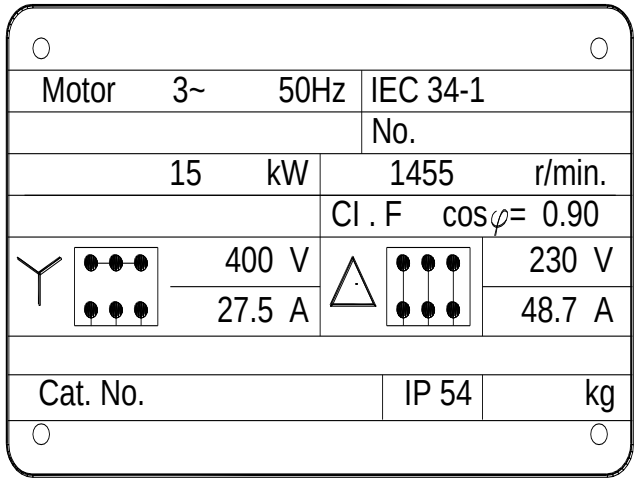


f_1 = 50 Hz U_1 = 400 V I_1 = 27,5 A

Změna otáček na

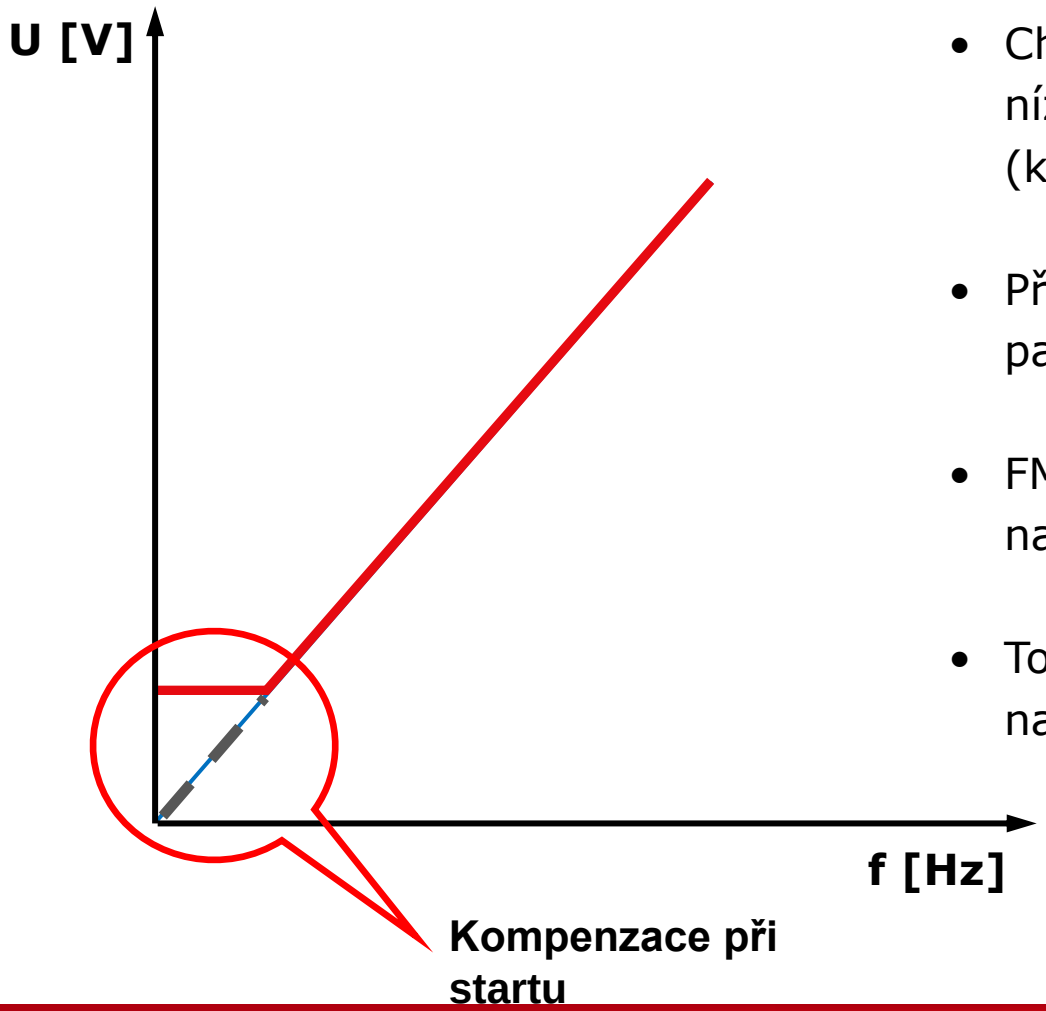
10 % z f_1 (při konst. zátěži)

f_1' = 5 Hz U_1' = 40 V I_1' = I_1 = 27,5 A



ENGINEERING TOMORROW

Kompenzace při startu



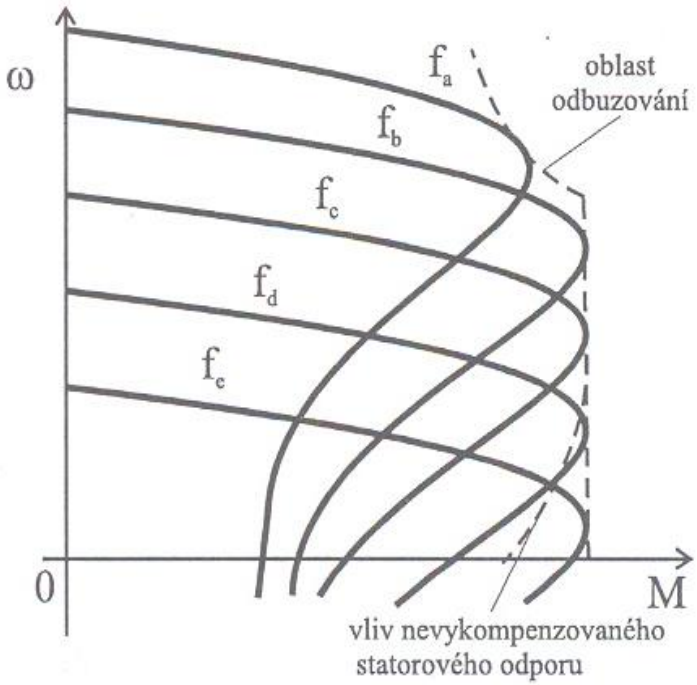
- Charakteristika U/f musí být při nízkých otáčkách přizpůsobena (kompenzována)
- Přizpůsobení se provádí přes parametr
- FM je přednastaven, příp. je možné nastavení optimalizovat
- Toto chování platí pro VŠECHNY napěťově řízené měniče

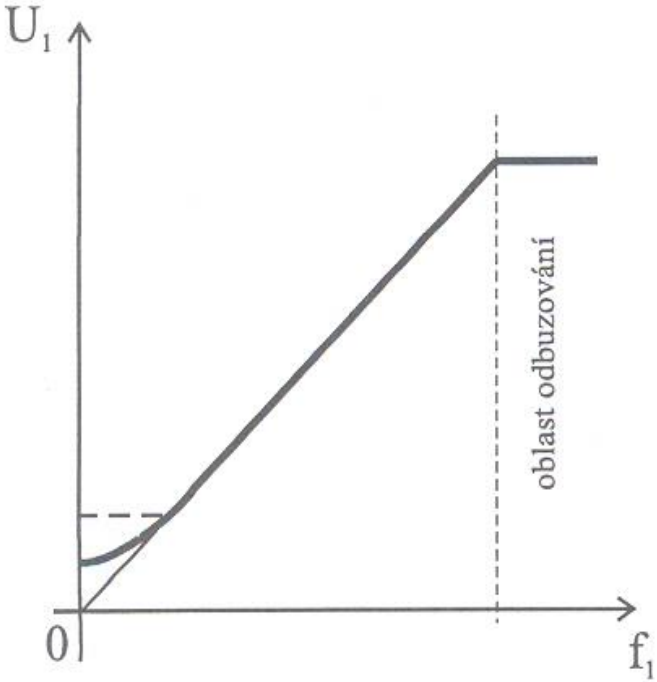
ENGINEERING TOMORROW

Zvýšení rozsahu otáček - odbuzování

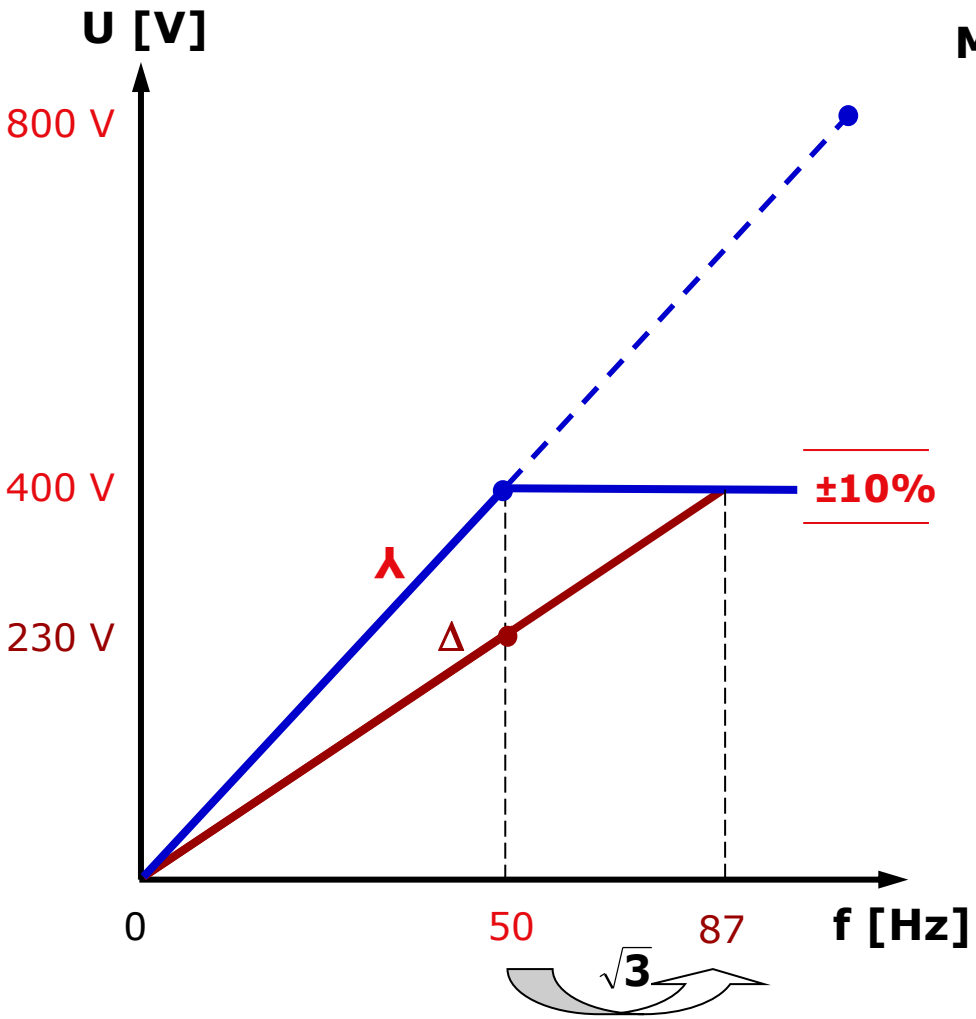
Vyjdeme opět ze vztahu:

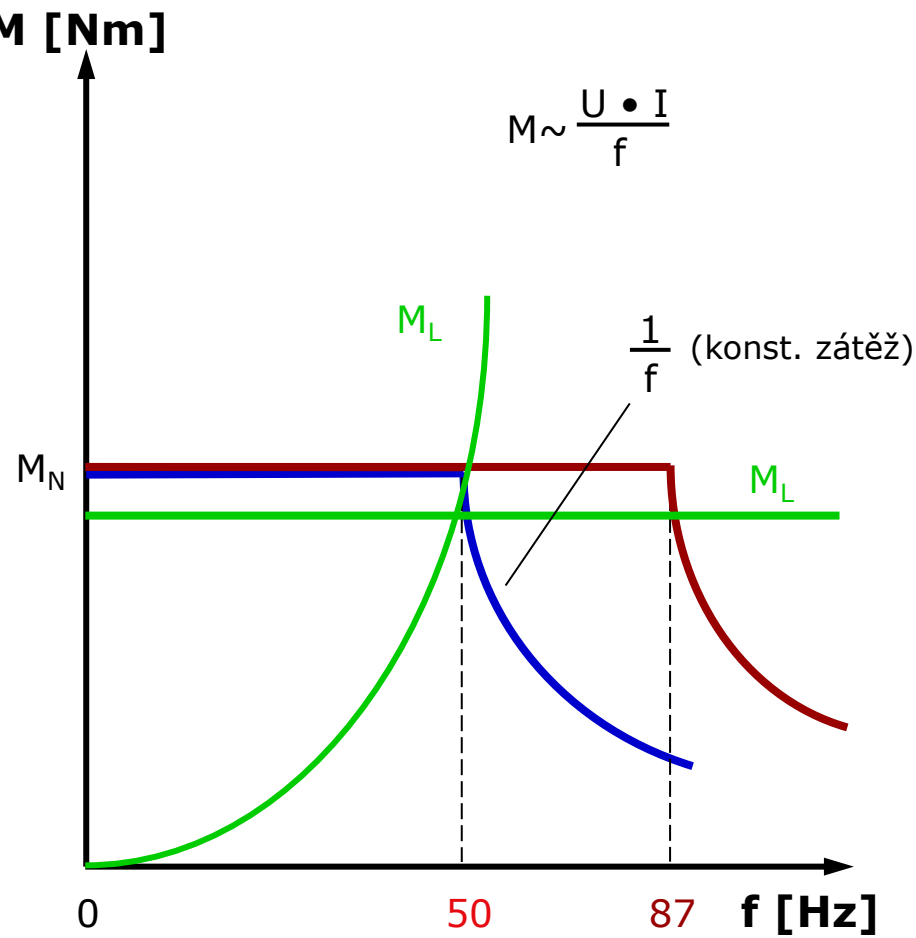
$$M \sim \frac{U \bullet I}{f}$$





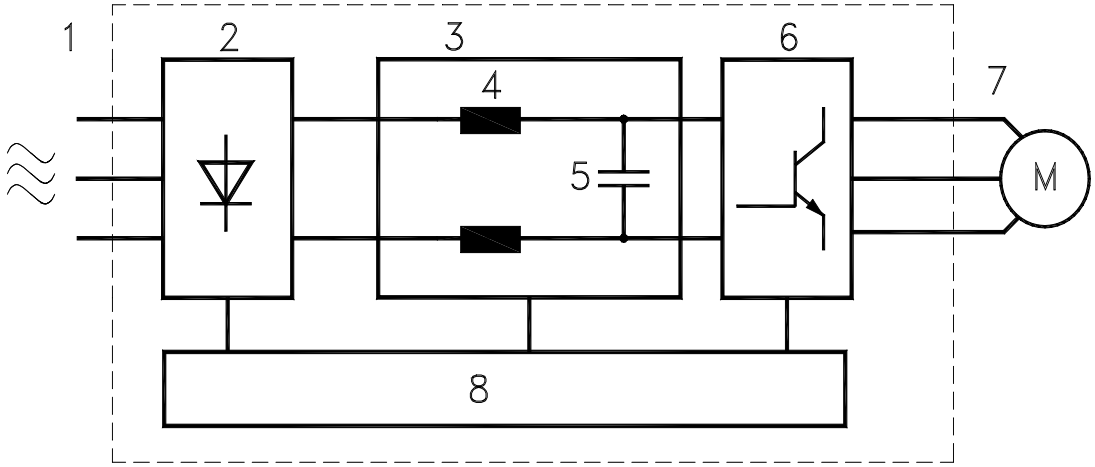
Napěťová a momentová charakteristika





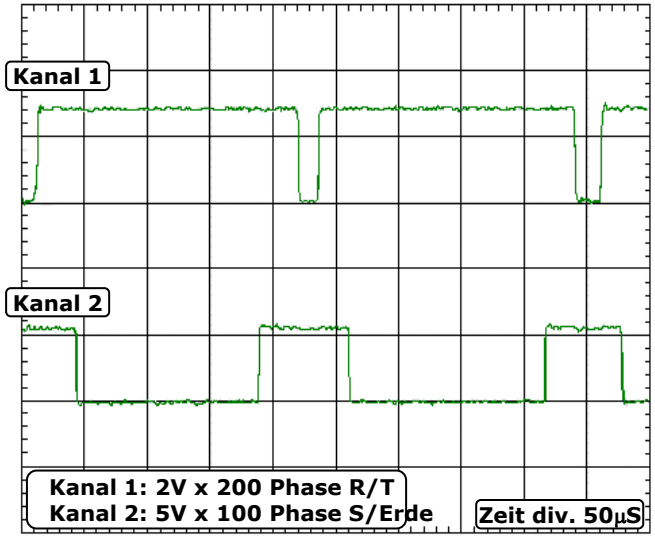
ENGINEERING TOMORROW

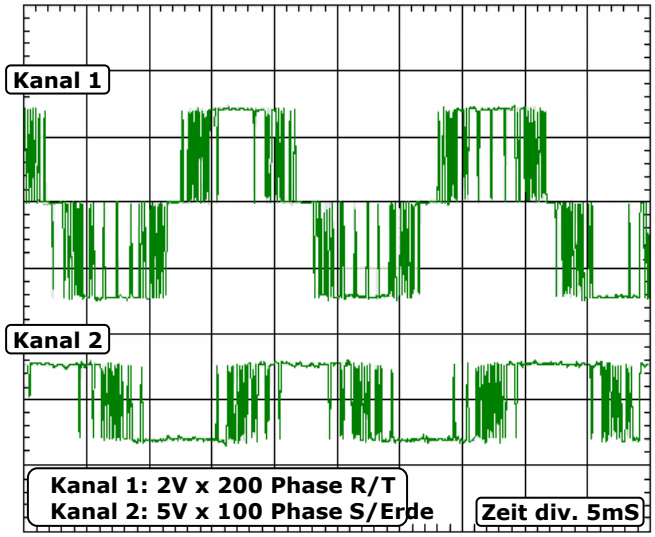
Princip funkce frekvenčního měniče



1. Síťové napájení
2. Usměrňovač
3. Stejnosměrný meziobvod
4. Tlumivky
5. Kondenzátor
6. Střídač
7. Výstup
8. Řídící karta

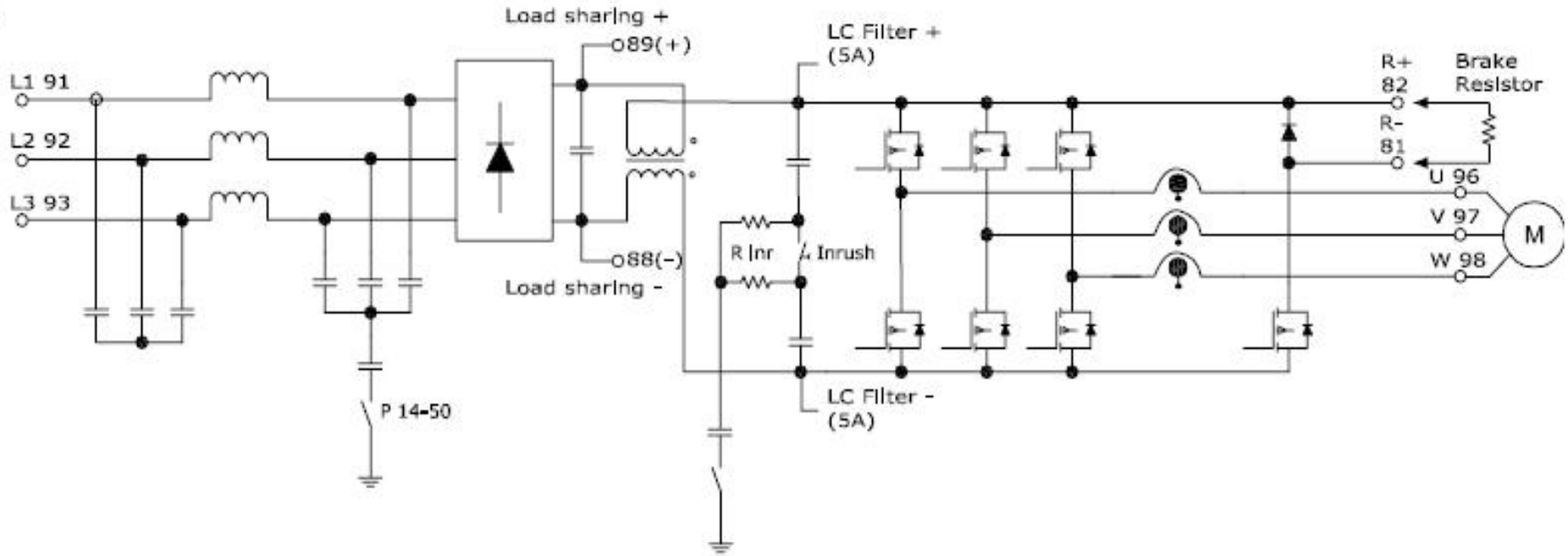
Napětí motoru





ENGINEERING TOMORROW

Výkonová část frekvenčního měniče

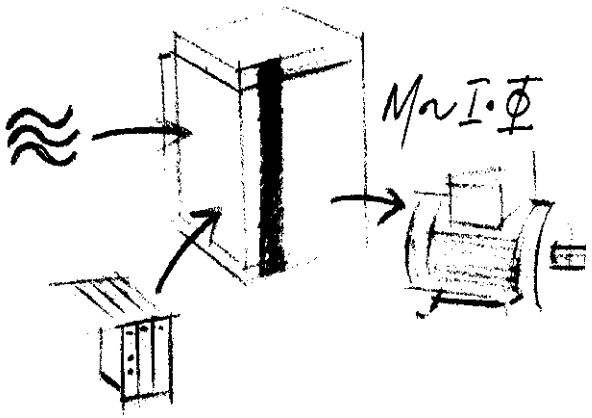


Síťové napájení :	200 - 240 V ±10%, 50/60 Hz 380 – 480/500V V ±10%, 50/60 Hz 525 - 690 V ±10%, 50/60 Hz
Výstupní frekvence :	0 - 590 Hz* ± 0,003 Hz (*legislativně – EU, technicky do 1000Hz)
Stíněný kabel :	max. 150 m (bez jakéhokoliv přídavného zařízení/filtru)
Nestíněný kabel :	max. 300 m

ENGINEERING TOMORROW

Základní funkce frekvenčního měniče

- **Řízení otáček**
  - U/f charakteristika
  - Analogové a Digitální zpracování žádané hodnoty
  - Rozběhová a doběhová časová rampa



- **Optimální magnetizace motoru**
  - Kompenzace při startu
  - Kompenzace skluzu / vektorové řízení

- **Kontrolní funkce**
  - Rušení jako zkraty (mezifázové, zemní), podpětí, přepětí, ztráty motorových fází, atd.

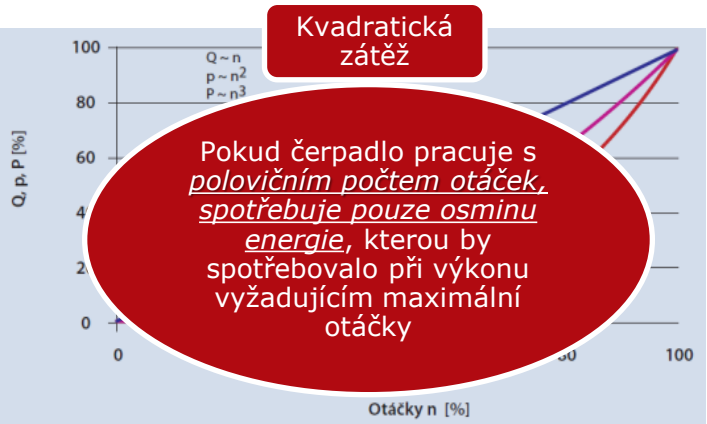
- **Další funkce**
  - Řízení otáček, procesu se zpětnou vazbou (PID řízení)
  - Monitoring spotřeby energie, rezonance, funkce pro ventilátory, čerpadla..
  - Rozhraní pro běžné sběrnicové systémy např. RS-485 nebo Profibus, atd.
  - PLC funkčnost

ENGINEERING TOMORROW

Výhody využití frekvenčního měniče

zařízení s elektronickou regulací otáček je schopno ve srovnání s mechanickými systémy:

- ušetřit značné množství energie
- omezovat rozběhový proud
- snížit opotřebení mechanických dílů
- zajistit plynulý rozběh / zastavení nebo nastavitelný průběh
- provádět spojitě regulaci průtoku, tlaku….
- krátkodobě poskytnout více výkonu

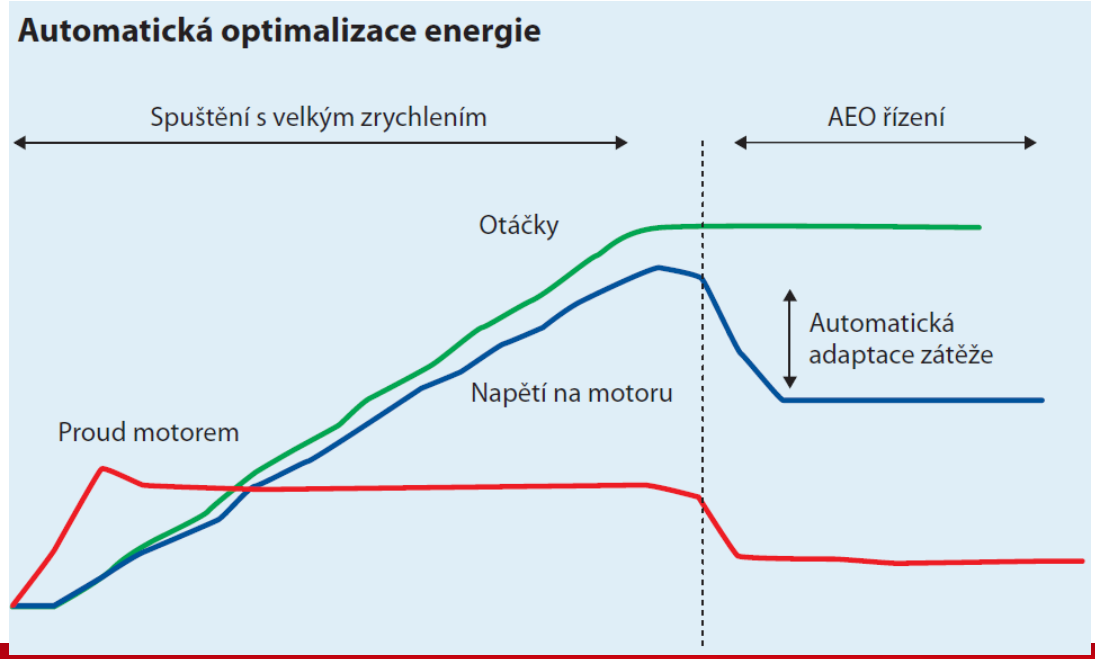


ENGINEERING TOMORROW

Výhody využití frekvenčního měniče Danfoss

Funkce AEO – **A**utomatická **E**nergetická **O**ptimalizace

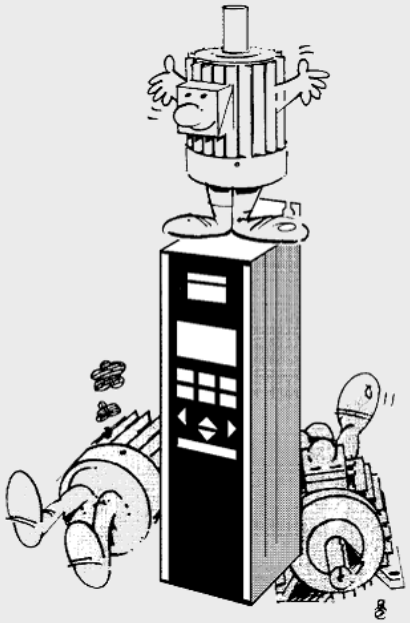
- nastavuje okamžité napětí motoru tak, aby motor běžel vždy s nejvyšší možnou účinností
- při odlehčení motoru dochází k úsporám energie bez ohledu na typ momentového zatížení (kvadratické/konstatní/speicální)



ENGINEERING TOMORROW

ENGINEERING
TOMORROW

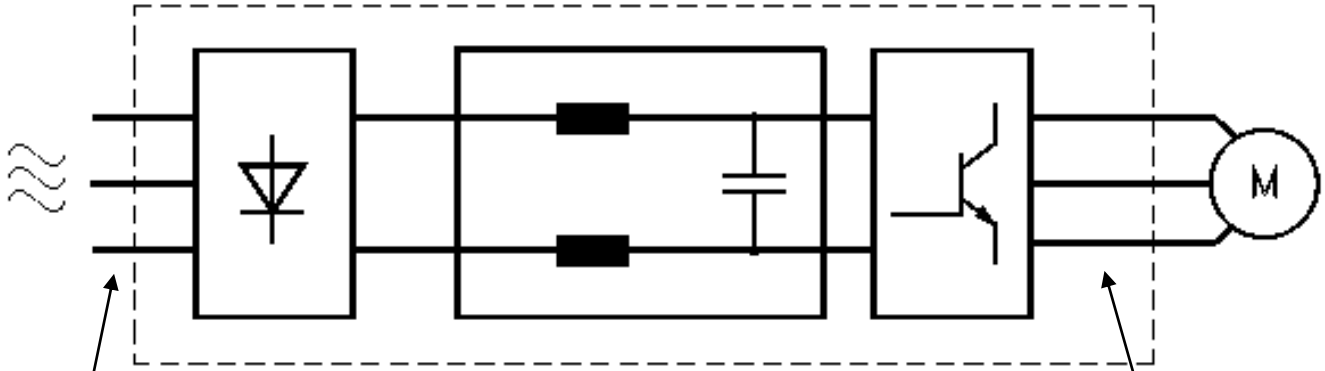
Vlivy na okolí spojené s provozem měniče kmitočtu



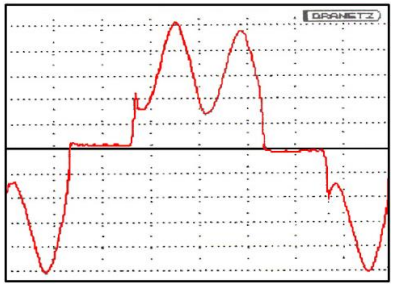
EMC = elektromagnetická kompatibilita

Základní zásada zní:
*„**Přístroje**, které mohou způsobovat elektromagnetické rušení, nebo jejichž provoz může být tímto rušením nepříznivě ovlivněn, **musí být uzpůsobeny tak, aby** tvorba elektromagnetického rušení **byla omezena** do té míry, aby k danému účelu stanovený provoz radiových a telekomunikačních zařízení, stejně jako ostatních přístrojů, vykazoval přiměřenou odolnost vůči elektromagnetickému **rušení** tak, **aby byl možný jejich provoz ke stanovenému účelu použití**"*

Možné zdroje rušení

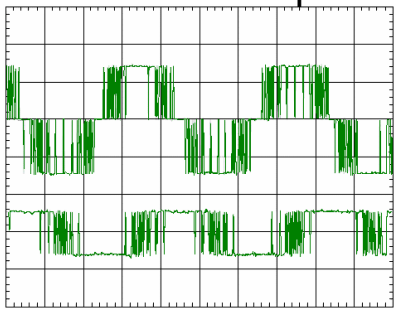


Vstupní proud



Harmonické <10 kHz

Motorové napětí

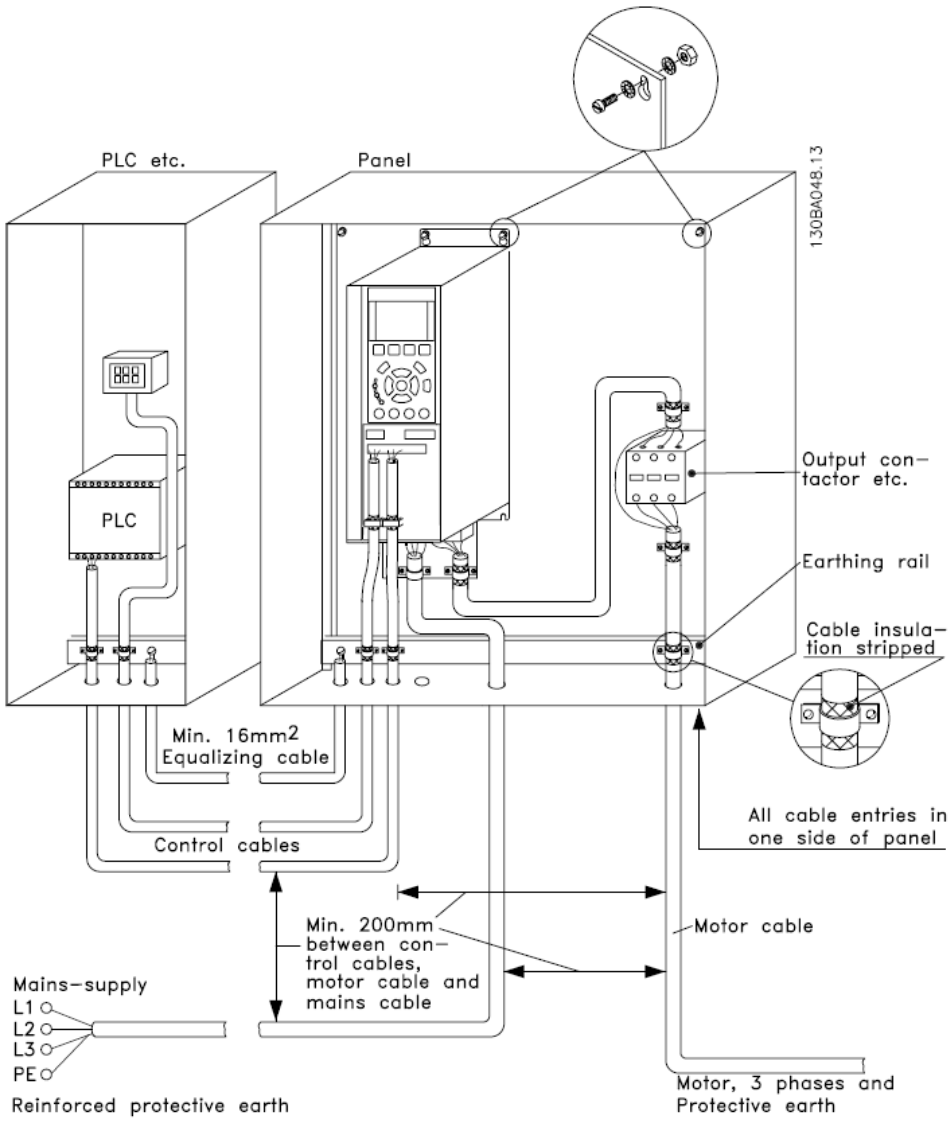


Emise šířené vedením
150 kHz – 30 MHz

Vyzařované emise
30 MHz – 1GHz

ENGINEERING TOMORROW

Správná instalace



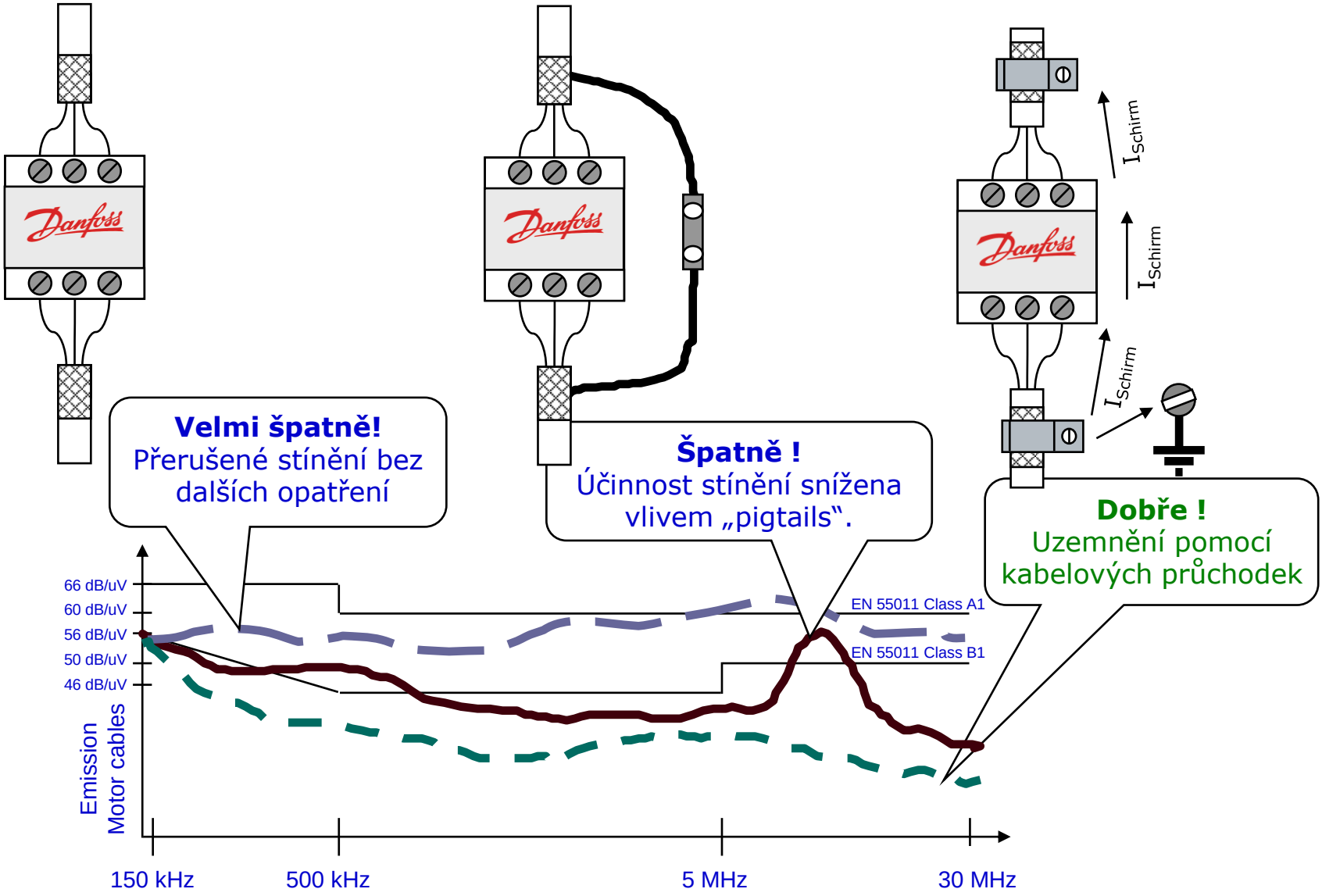
- Správné uzemnění
- Správný průřez PE vodiče nejen s ohledem na bezpečnost, ale i EMC
- Správné křížení kabelů, dodržování bezpečných vzdáleností
- Svodové proudy

- V souladu s EN 50178 průřez PE vodiče min. 10mm2 nebo použít 2 samostatné vodiče odpovídajícího průřezu

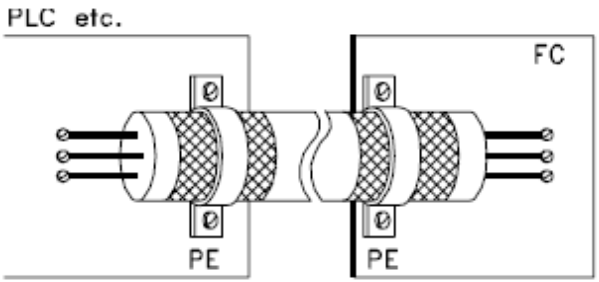
- Svodové proudy většinou přesahují 3,5mA

ENGINEERING TOMORROW

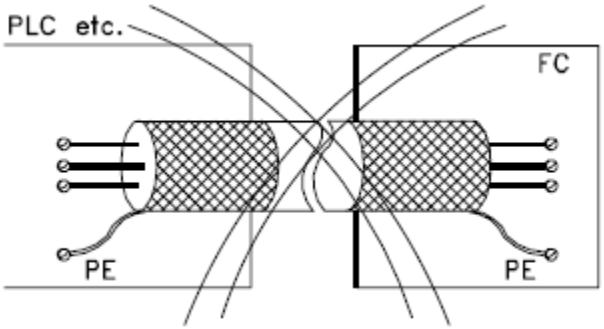
Zkroucené konce stínění – „pigtails“



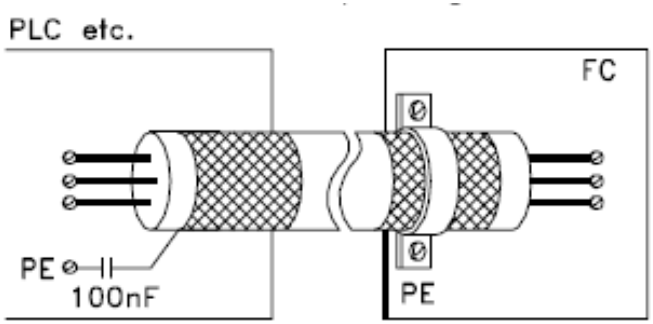
Uzemnění řídících kabelů



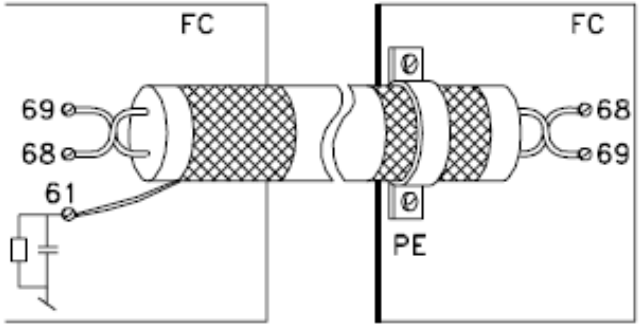
a) Správné uzemnění



c) **Špatně („pigtails")**



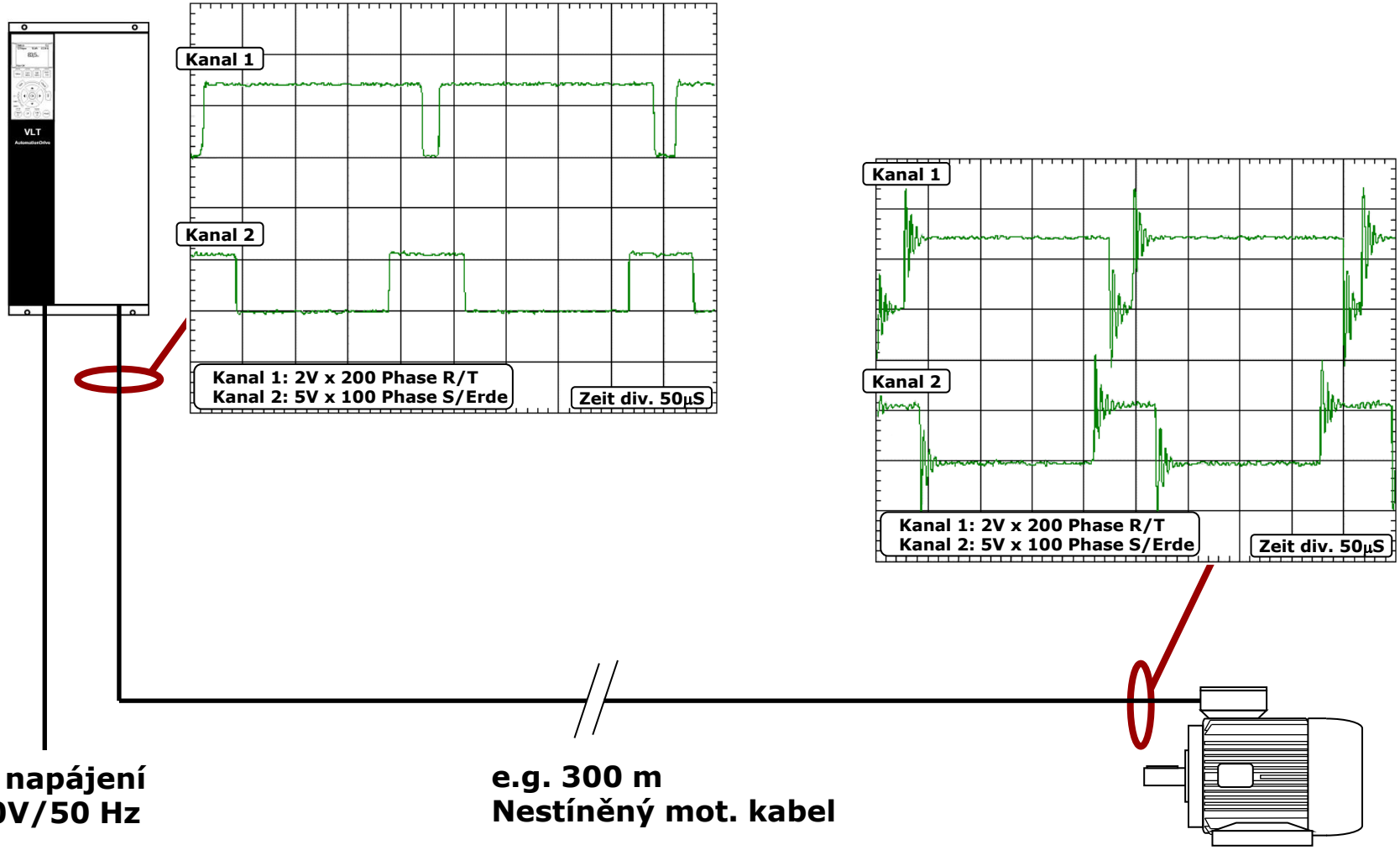
b) 50/60Hz zemní smyčky



b) Sériová komunikace

ENGINEERING **TOMORROW**

Vliv dlouhých motorových kabelů

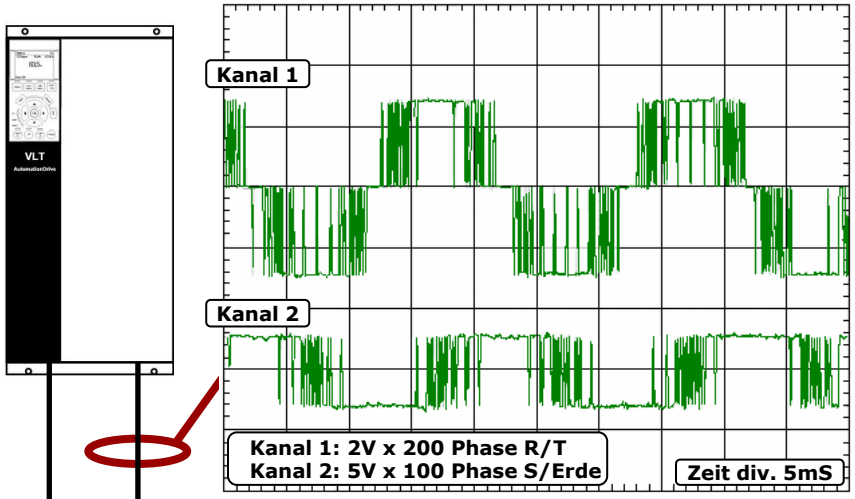


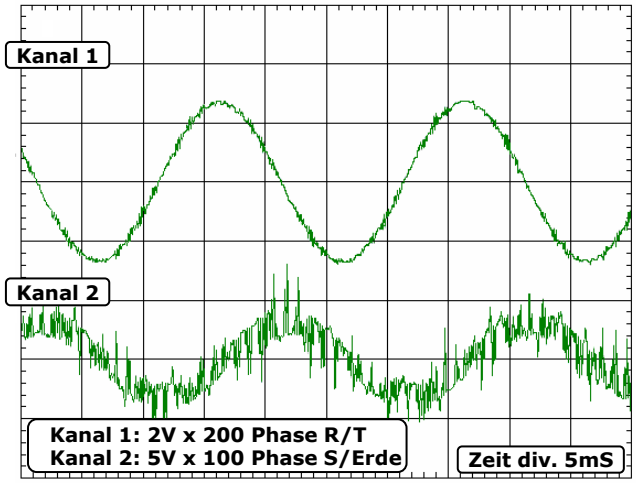
3 ~ napájení
400V/50 Hz

e.g. 300 m
Nestíněný mot. kabel

ENGINEERING **TOMORROW**

Vliv filtrů LC - (sinusových) filtrů





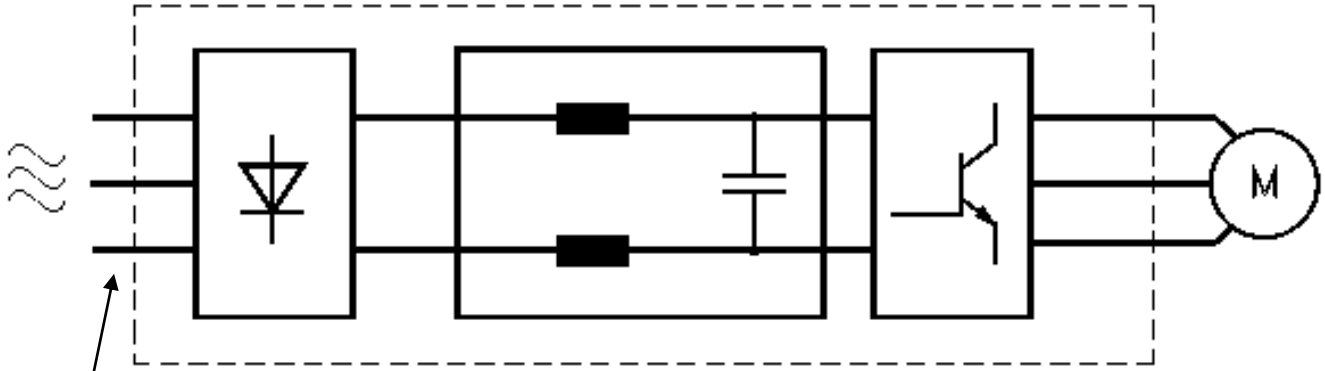
LC-Filtr

3 ~ napájení
400V/50 Hz

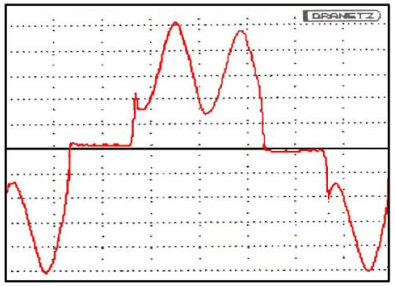
e.g. 300 m
Nestíněný mot. kabel

ENGINEERING TOMORROW

Harmonické proudu



Vstupní proud



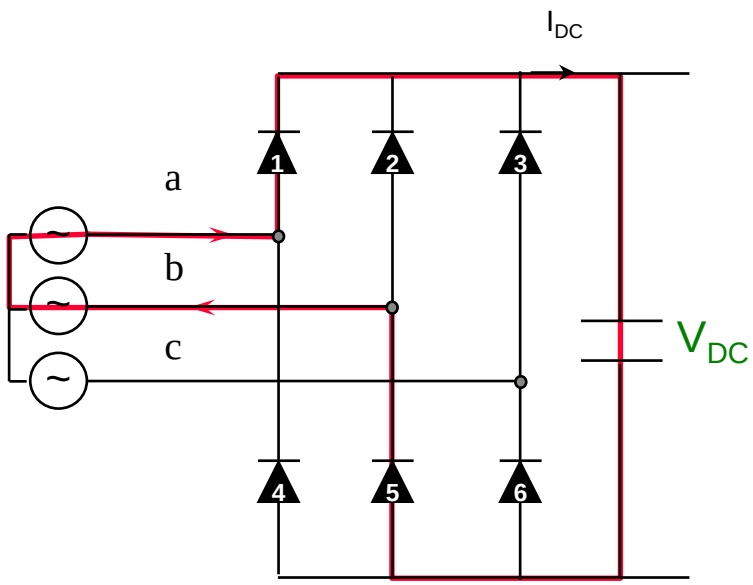
Harmonické <10 kHz

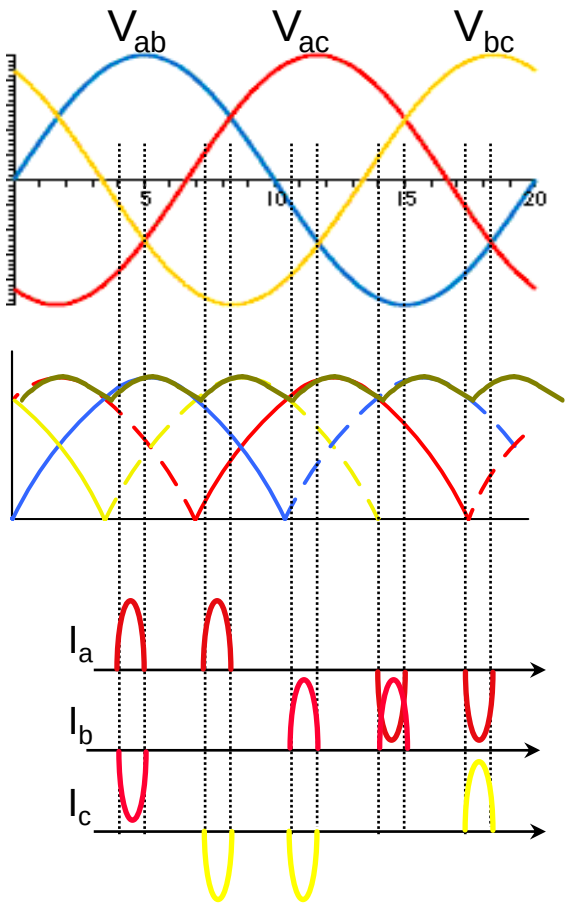
Způsobené nelineární zátěží:

- zvýšení efektivní hodnoty celkového proudu
- přehřívání napájecích transformátorů
- přehřívání vodičů
- přetěžování baterií kompenzačních kondenzátorů
- způsobuje napěťové zkreslení na impedancí sítě

Harmonické proudu

6-pulsní usměrňovač zatížený kapacitou





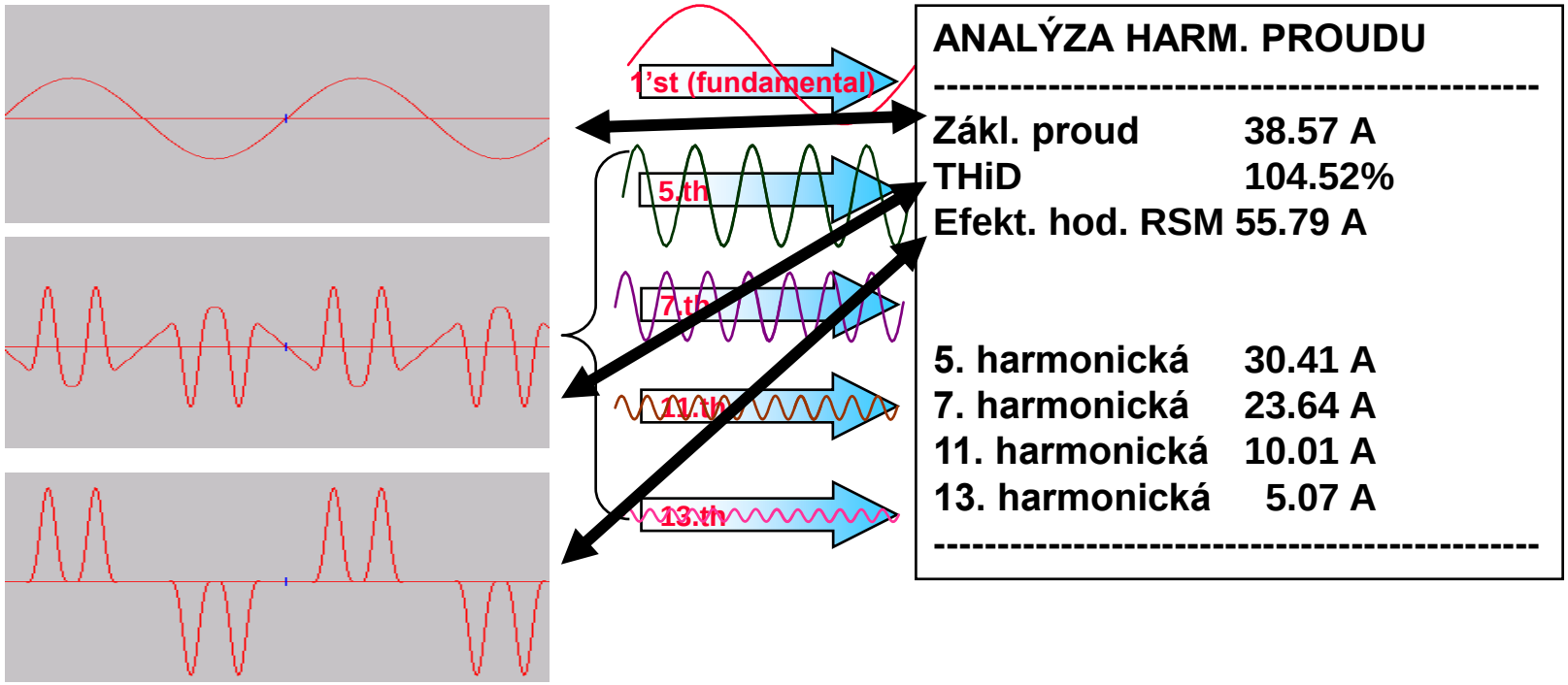
- Přes usměrňovač jsou nabíjeny kondenzátory v DC meziobvodu měniče
- Kondenzátory jsou nabity za velmi krátkou dobu
- DC meziobvod kontinuálně odvádí energii do motoru (pomocí PWM a IGBT) a tím je DC meziobvod dobíjen krátkými proudovými pulzy

ENGINEERING TOMORROW

Harmonické proudu

Analýza harmonických

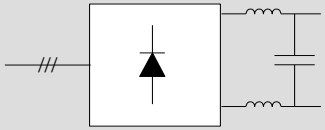
Rozklad nesinusových průběhů nebo naopak tvorba průběhů ze sinusových signálů je matematicky možná pomocí - Fourierovy transformace / analýzy.



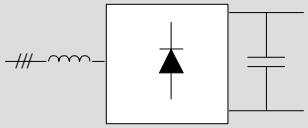
ENGINEERING TOMORROW

Harmonické proudu
Způsoby omezení harmonických

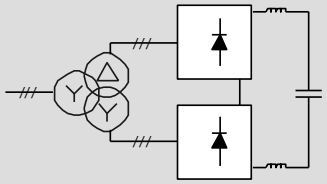
Pasivní:



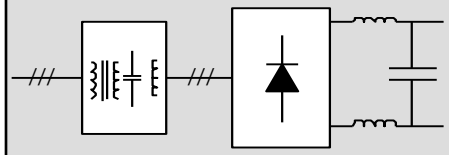
DC-tlumivka



AC-tlumivka

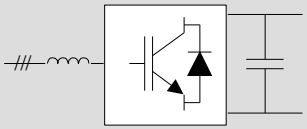


Vícefázové usm.

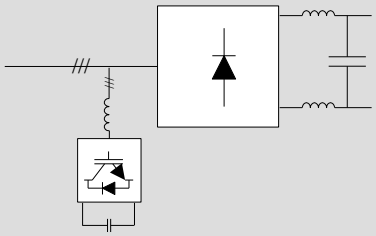


Pasivní filtry

Aktivní:



PWM-usměrň.



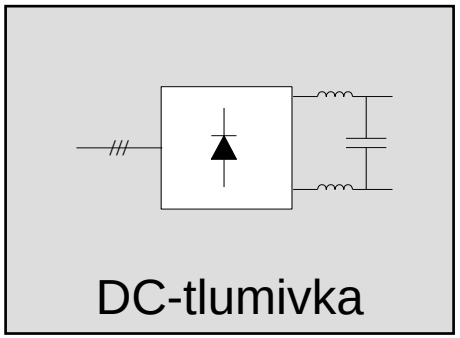
Aktivní filtry

ENGINEERING TOMORROW

Harmonické proudu
<u>Pasívní řešení</u>

Kdy tedy filtrovat a proč?

- pokud THuD přesáhne 5% (rsp.8%)
- nebo pokud THiD přesáhne 21%



POZOR: běžná síť v moderních budovách je zatížena THuD i bez použití měničů v řádu 1 – 5%

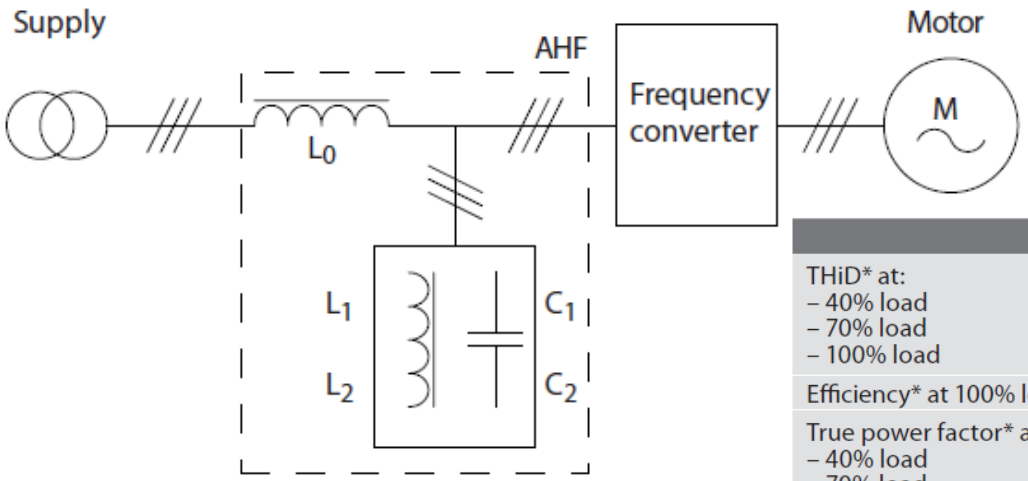
(spínané zdroje zářivek, výbojek, PC, UPC …)

ENGINEERING TOMORROW

Harmonické proudu
Pasívní řešení

Pasivní filtry v provedení AHF005 nebo AHF010

- 0,37kW – 250kW (více nutno sdružovat)
- krytí IP00 nebo IP20



	AHF 010	AHF 005
THiD* at: – 40% load – 70% load – 100% load	 ~ 12% ~ 11% < 10%	 ~ 7% ~ 6% < 5%
Efficiency* at 100% load	>98.5%	
True power factor* at: – 40% load – 70% load – 100% load	 ~ 81% ~ 96% > 99%	 ~ 80% ~ 95% > 98%
Ambient temperature	45° C without derating	
Cooling	Back-channel air cooling	

** Measured at balanced grid without pre-distortion*

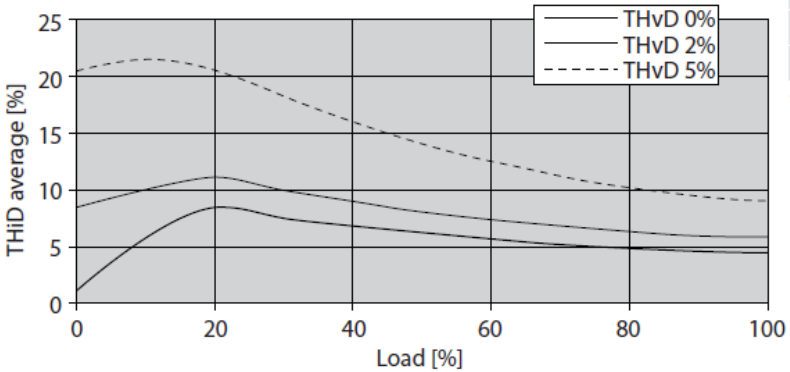


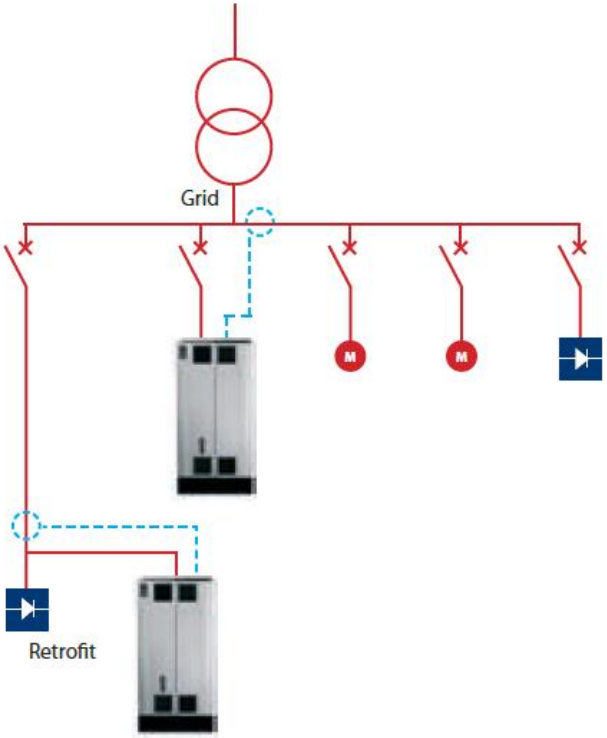
Illustration 3.3 AHF 005

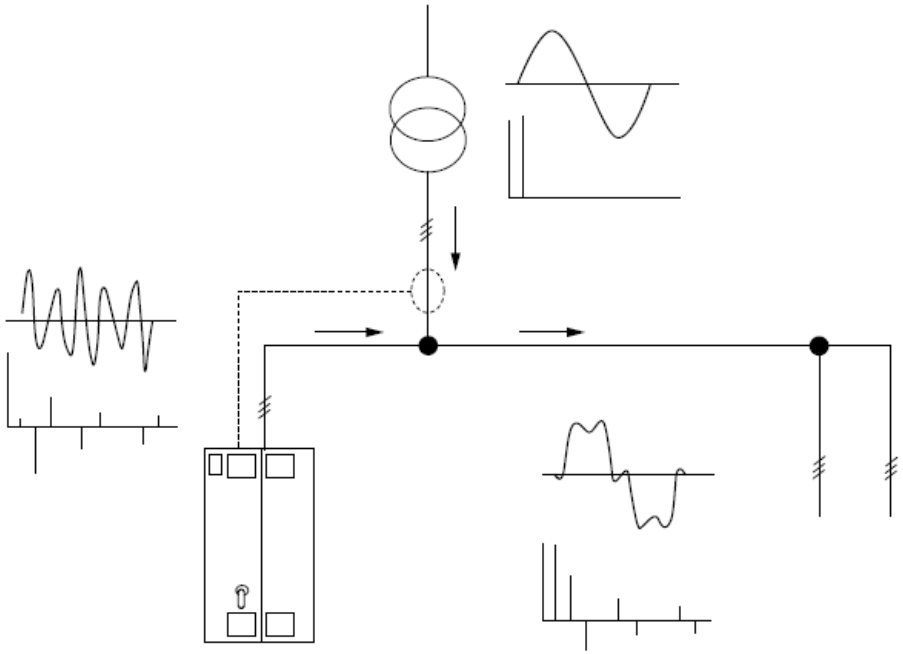
ENGINEERING TOMORROW

Harmonické proudu
Aktivní řešení

Aktivní filtry AAF006

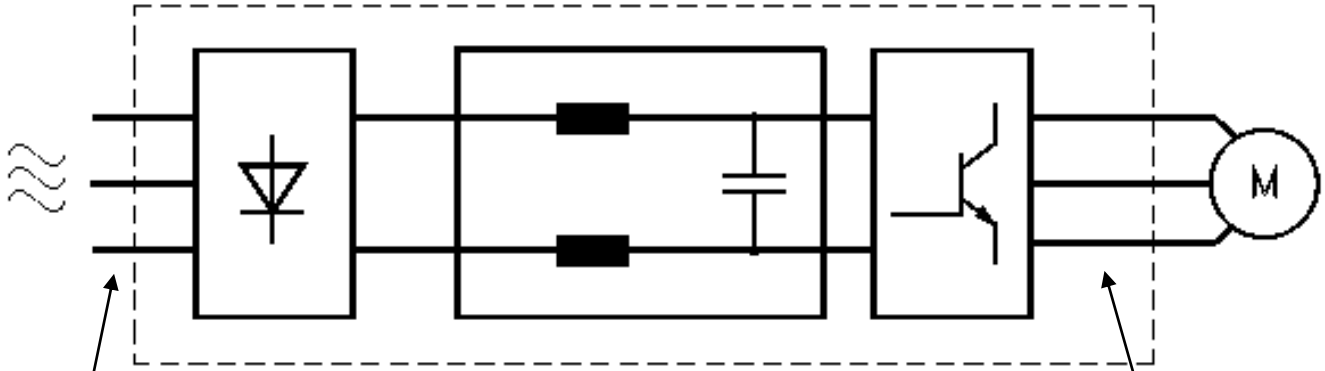
- 190A – 400A
- Můžeme kompenzovat primárně harmonické (do 25.) nebo cosφ nebo obojí
- Umístění snímačů proudu před i za AAF



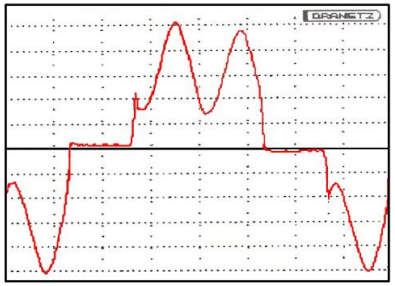


ENGINEERING TOMORROW

Možné zdroje rušení

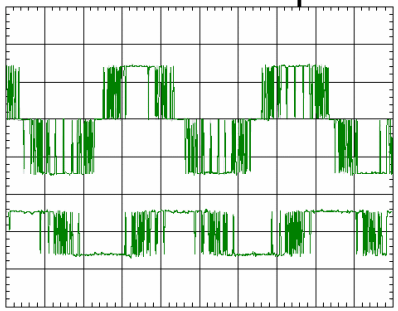


Vstupní proud



Harmonické <10 kHz

Motorové napětí



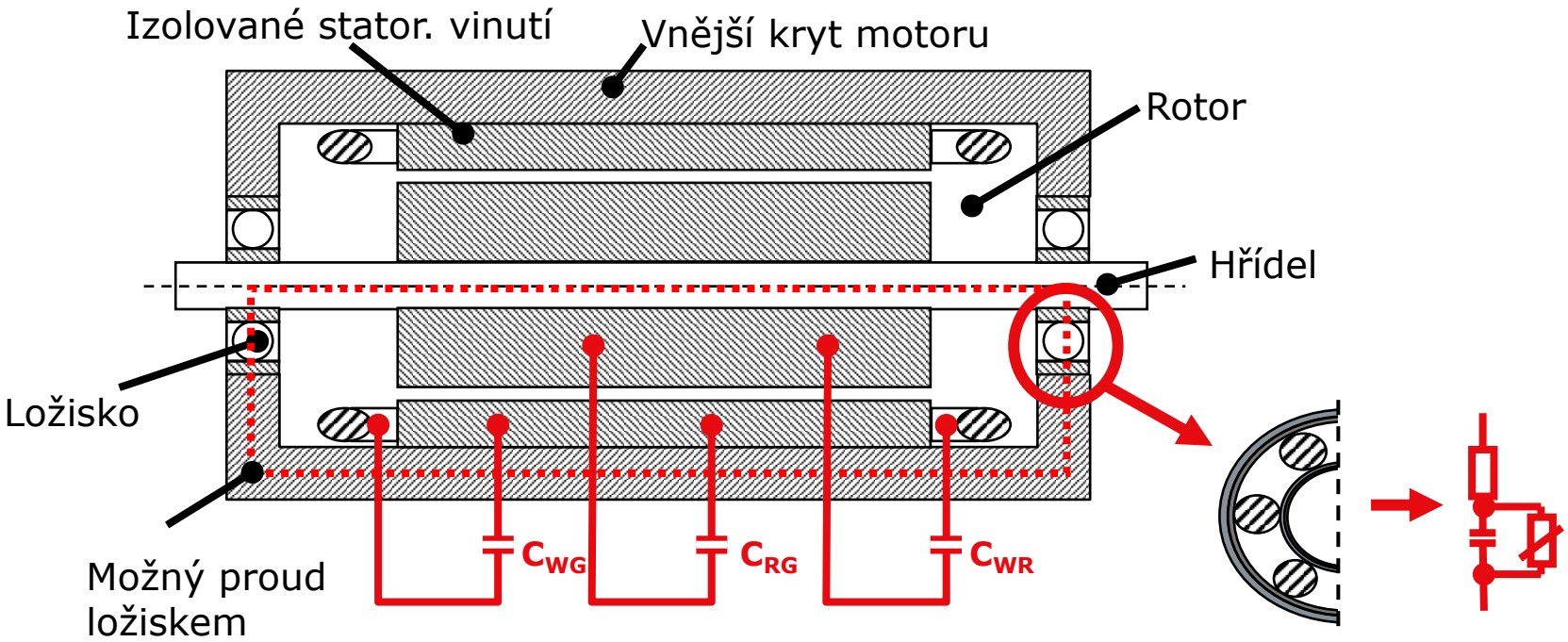
Emise šířené vedením
150 kHz – 30 MHz

Vyzařované emise
30 MHz – 1GHz

ENGINEERING TOMORROW

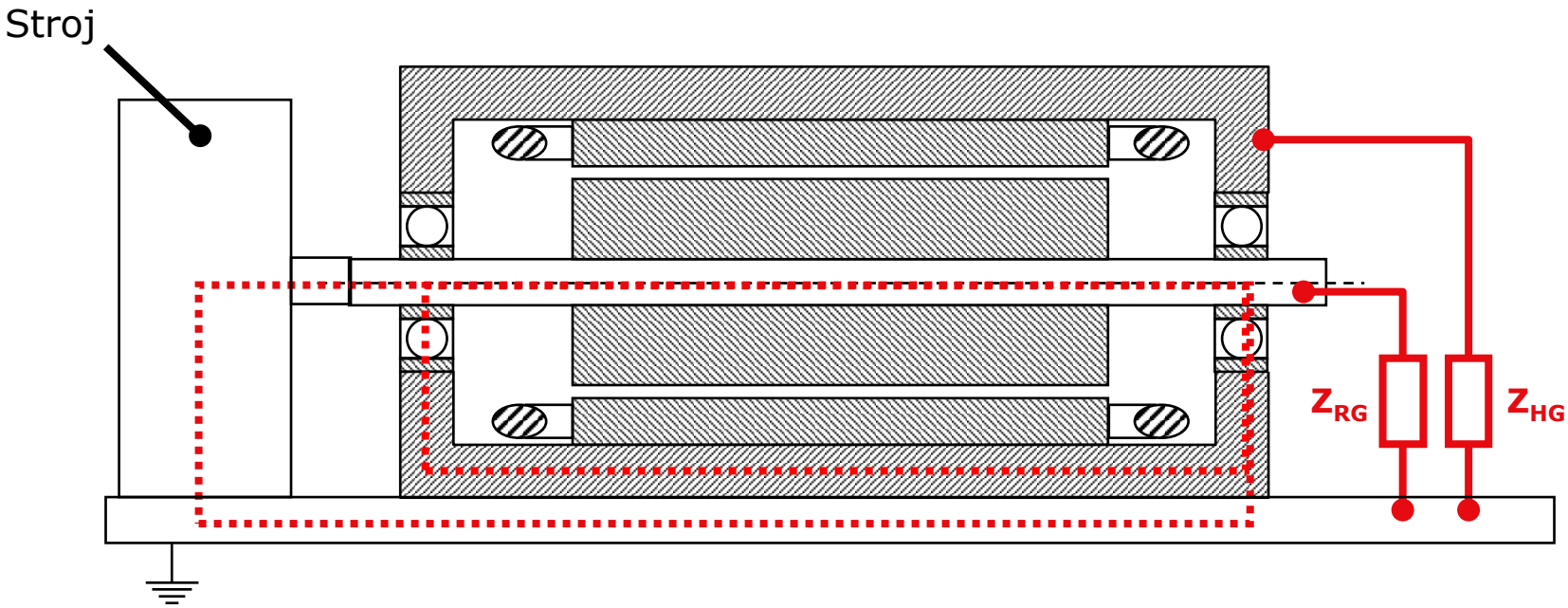
Ložiskové proudy

Model stroje



- Vlivem parazitního mag. toku v hřídeli se indukuje napětí a vzniká proud v neizolovaných ložiscích motoru.
- V závislosti na velikosti a druhu ložiskových proudů může dojít k poškození ložiska
- Velikost proudu a pravděpodobnost poškození ložiska je závislá také např. na teplotě ložiska, velikosti motoru, rychlosti otáčení a dalších.

Ložiskové proudy

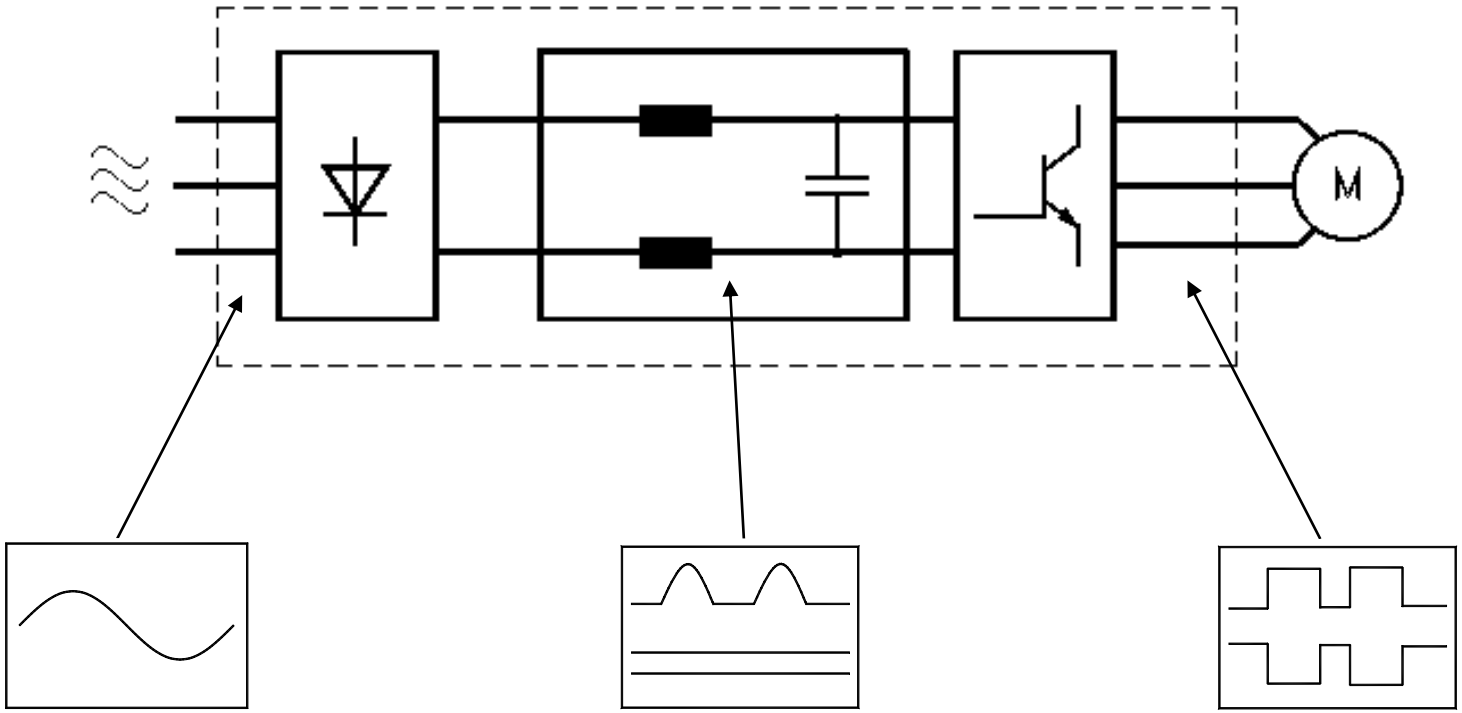


- Vlivem el. spojení částí strojů mohou ložiskové proudy protékat a uzavírat se také vně – přes externí zařízení
- Také fr. měnič přispívá vlivem PWM ke zvyšování pulzace napětí a vzniku proudů na hřídeli motoru
- **V normě IEC 60034-17 jsou doporučena opatření k omezení ložisk. Proudů u motorů od osové výšky 315 mm (tj. cca od 132 kW)**
- Pomoc: dostatečné uzemnění (příd. pospojování), izolov. ložiska, sinusový filtr, …

NE stavba motoru nebo použití FM produkují ložiskové proudy!
Ložiskové proudy vznikají vždy vlivem celé soustavy tj. FC/Motor/Kabely & Zemnění.

Použití proudových chráničů

Potenciální chybový proud



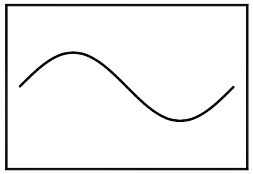
Střídavé a ss napětí

Ss napětí a
pulzní střídavé napětí

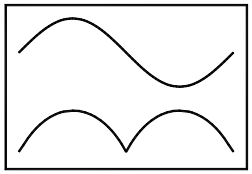
Pulzní ss napětí

Typy proudových chráničů

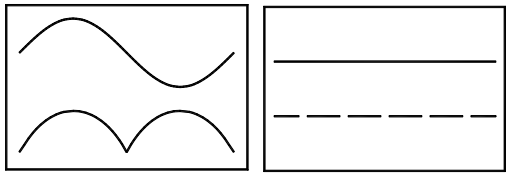
Detaily



Typ AC
Citlivý na střídavý proud

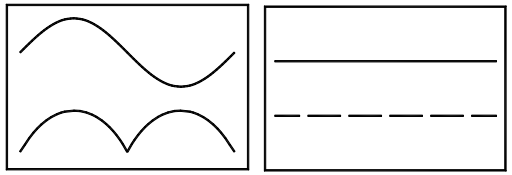


Typ A
Citlivý na střídavý a pulzní ss proudy

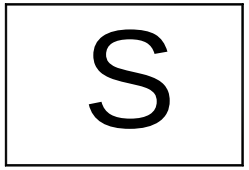


Typ B
Citlivý na všechny typy proudů

Chrániče pro měniče kmitočtu



Typ B
Citlivý na všechny proudy



Selektivní

Pro 3-f měniče kmitočtu je možné použít jen chrániče typu B (nebo selektivní), protože ty jsou schopny ochránit před přímými svodovými proudy.
Aby se zabránilo nechtěnému vybavení chrániče např. proudovými špičkami, vlivem nabíjecího proudu nebo nesymetrickým spínáním doporučujeme použít selektivní proudové chrániče (zejména 30mA).