

VLASTNOSTI A ODRUŠENÍ VÝSTUPU FREKVENČNÍHO MĚNIČE S DLOUHÝM KABLEM K MOTORU

Jaroslav Novák, Jan Kořínek, Tomáš Lelek, Ondřej Sadílek

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, DFJP, Univerzita Pardubice
Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika
tel.: +420 466 036 450, email: jaroslav.novak@upce.cz
tel.: +420 466 036 450, email: korinek.j@gmail.com
tel.: +420 466 036 404, email: tomas.lelek2@upce.cz
tel.: +420 466 036 405, email: ondrej.sadilek@upce.cz
web: <http://www.upce.cz>

Abstrakt: Příspěvek prezentuje výsledky experimentů zaměřených na kvantitativní zhodnocení eliminace nežádoucích jevů, které vznikají při napájení střídavého elektromotoru z frekvenčního měniče přes dlouhý kabel. Pro eliminaci byly využívány různé typy výstupních odrušovacích prostředků. Sledován byl vliv jednotlivých odrušovacích prostředků zejména na potlačení přepětových špiček a na strmost nárůstu napětí.

Klíčová slova: EMC, přepětí, frekvenční měnič, výstupní tlumivka, šířkově pulsní modulace

1 Úvod

Význam metod řešení polí a řešení obvodů se spojitě rozloženými parametry v silnoproudé elektrotechnice výrazně vzrostl s rozvojem využití výkonových polovodičových měničů s rychlými spínacími tranzistory. Příčinou jsou velké a s frekvencemi jednotek až desítek kHz periodicky se opakující rychlé změny obvodových veličin generované při spínání výkonových tranzistorů. Spínací časy běžných křemíkových tranzistorů IGBT se pohybují v řádech desetin μs , u nových součástek technologie SiC jsou spínací časy často pouze desítky ns. Při takovýchto rychlostech změn obvodových veličin se nezanedbatelně projevují spojitě elektromagnetické jevy již v prostorově relativně malých systémech s rozměry řádově od jednotek až desítek m.

Typickým případem aplikace výkonového polovodičového měniče, kde jsou negativní efekty spojené s velkou strmostí hran generovaných napětíových pulsů významné, jsou pohony s asynchronními či synchronními motory napájené z frekvenčních měničů s tranzistorovým výstupním střídačem, který formuje výstupní napětí metodou šířkově pulsní modulace s frekvencemi od jednotek kHz do cca. 20kHz.

Pro vlnovou délku λ platí obecný vztah:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

Vydeme-li ze vztahu (1.1), lze učinit orientační úvahu určující řádově délku vedení na výstupu frekvenčního měniče, která je srovnatelná s délkou elektromagnetické vlny, při které se již uplatňují jevy související se spojitým rozložením elektromagnetického pole. U nepřímého frekvenčního měniče s napětíovým meziobvodem, který je napájen ze sítě 3x400V, je napětí ve stejnosměrném meziobvodu rovno amplitudě sdruženého napětí sítě, tedy 565V. Na výstupu IGBT střídače jsou generovány napětíové pulsy s touto amplitudou a strmostí

přibližně 5000V/μs. To odpovídá době nárůstu napětíového pulsu přibližně 100ns. Budeme-li uvažovat periodu T vysokofrekvenční složky tohoto pulsu 200ns, lze podle vztahu (1.1) vypočítat odpovídající délku elektromagnetické vlny. Uvažme pro tento případ rychlost šíření vlny v daném prostředí $v = c/2$:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{2} \cdot T = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-9} = 30m \quad (1.2)$$

Z uvedené úvahy je tedy zřejmé, že spojitě elektromagnetické efekty je nutno u frekvenčně řízených pohonů zohledňovat již při použití kabelů od měniče k motoru s délkou od desítek m. Tato konfigurace není v průmyslové praxi výjimečná.

I bez hlubšího teoretického rozboru je zřejmé, že napětíové pulsy s velkou strmostí hran, generované při šířkově pulsní modulaci periodicky na výstupu frekvenčních měničů, budou zdrojem zejména kapacitních a elektromagnetických rušivých efektů, lit. [2]. Pro minimalizaci těchto rušivých vlivů se uplatňuje u frekvenčních měničů na výstupu více typů opatření. Standardně je nutno připojovat motor k výstupu frekvenčního měniče stíněným kabelem, jehož oba konce jsou dobře spojeny s potenciálem ochranného vodiče (země). Při délce kabelu mezi motorem a měničem větší, než přibližně 15m, kdy se délka připojovacího kabelu dostává již do relace s délkou elektromagnetické vlny podle vztahu (1.2), se doporučuje používání i dalších odrušovacích prostředků, jejichž funkcí je především zmenšení strmosti hran napětíových pulsů, případně úplná eliminace negativních vlivů formování výstupního napětí měniče pomocí šířkově pulsní modulace. Nejjednoduššími výstupními odrušovacími prostředky pro frekvenčně řízené pohony jsou výstupní tlumivky s feromagnetickým jádrem. Doporučované indukčnosti výstupních tlumivek jsou v rozmezí jednotek mH pro jmenovité proudy jednotek A, až setin mH pro jmenovité proudy stovek A. Další informace o odrušování frekvenčně řízených pohonů lze nalézt např. v lit. [1].

V tomto příspěvku je věnována pozornost výsledkům experimentálního testování vlivu parametrů výstupních tlumivek na charakter napětíových pulsů šířkově pulsní modulace na svorkách asynchronního motoru připojeného k měniči přes dlouhý kabel, zejména z hlediska strmosti nárůstu napětí a z hlediska velikosti přepětíových špiček. Je zřejmé, že tyto parametry napětíových pulsů jsou významné nejen z hlediska míry generování rušivých vlivů v okolí frekvenčně řízeného pohonu, ale i z hlediska napětíového namáhání vinutí asynchronního motoru a z hlediska velikosti kapacitních proudů, které se přes motor uzavírají.

2 Teoretický rozbor problematiky frekvenčně řízeného pohonu s dlouhým kabelem pro připojení motoru

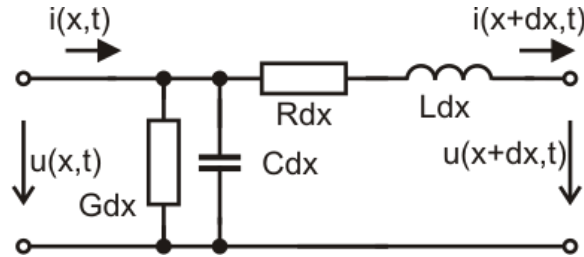
Je známo, že u vedení se uplatňuje jeho indukčnost, kapacita, rezistence a svod. Z této skutečnosti pak vychází struktura elektrického zapojení elementárního článku vedení (obr. 2.1). Pro případ frekvenčně řízeného pohonu je začátkem vedení výstup frekvenčního měniče a koncem místo připojení k motoru. Při výpočtu poměrů na vedení je nutno uvažovat jeho parametry vztažené na jednotku délky, tedy rezistence $R[\Omega/m]$, indukčnost $L[H/m]$, kapacita $C[F/m]$ a svod $G[S/m]$.

Pro případ nekonečně krátké délky jednoho elementu vedení $dx \rightarrow 0$ lze pro prostorovou změnu napětí na tomto elementu psát:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = R \cdot i + L \cdot \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.1)$$

Obdobně lze pro změnu proudu na elementu vedení psát:

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G \cdot u + C \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.2)$$



Obr. 2.1: Obvodová struktura jednoho elementu vedení

Eliminací proudu resp. napětí z rovnic (2.1) resp. (2.2) po úpravě dostáváme:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L \cdot C \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (L \cdot G + R \cdot C) \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + R \cdot G \cdot u \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = L \cdot C \cdot \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + (L \cdot G + R \cdot C) \cdot \frac{\partial i}{\partial t} + R \cdot G \cdot i \quad (2.4)$$

Pro řešení mezního případu bezeztrátového vedení ($R = 0$, $G = 0$), kdy se efekty, mající význam při napájení střídavého elektromotoru z frekvenčního měniče přes dlouhý přívodní kabel projeví nejvýznamněji, se předchozí rovnice (2.1) až (2.4) upraví do tvaru:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = L \cdot \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.5)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = C \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L \cdot C \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = L \cdot C \cdot \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \quad (2.8)$$

Rovnice (2.7) a (2.8) mají tvar obecné jednorozměrné rovnice, která charakterizuje vlnu dané veličiny, která postupuje rychlostí v . Uvedené rovnice popisují vlnu napětí a proudu, která se po bezeztrátovém vedení šíří rychlostí v :

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (2.9)$$

Řešení rovnice (2.7) pro vlnu napětí lze psát ve tvaru:

$$u(x,t) = u_p(x - v \cdot t) + u_z(x + v \cdot t) \quad (2.10)$$

Z tvaru řešení (2.10) lze odvodit, že vlna napětí se po vedení šíří ve směru souřadnice x v kladném nebo v záporném směru. Veličina u_p značí postupnou vlnu napětí, veličina u_z značí zpětnou vlnu napětí, která se šíří v záporném směru. Z řešení (2.10) dále vyplývá, že obě vlny se po vedení šíří beze změny tvaru.

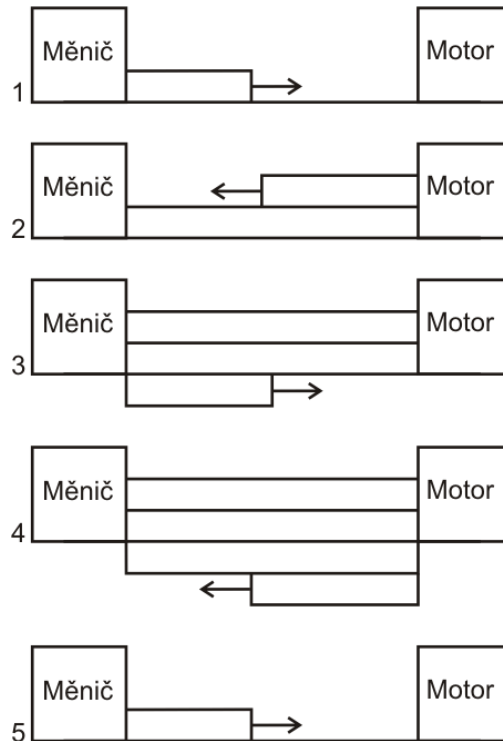
Analogicky lze psát řešení rovnice (2.8) pro vlnu proudu:

$$i(x,t) = i_p(x - v \cdot t) + i_z(x + v \cdot t) \quad (2.11)$$

Pro rychlost šíření vlny po vedení je charakteristické, že nezávisí na geometrickém uspořádání vedení, ale pouze na permeabilitě a permitivitě prostředí, neboť součin LC je také nezávislý na tomto geometrickém uspořádání:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \varepsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \cdot \varepsilon_r}} \quad (2.12)$$

Je tedy zřejmé, že pro hodnoty relativní permeability a relativní permitivity $\mu_r = \varepsilon_r = 1$ je rychlost šíření vlny rovna rychlosti šíření světla ve vakuu c .



Obr. 2.2: Šíření vln napětí na dlouhém kabelu mezi měničem a motorem

Zásadní důsledky vlnových jevů na vedení na frekvenčně řízené pohony s dlouhým kabelem mezi měničem a motorem mají vlastnosti vlny na rozhraní dvou prostředí. Pro případ rušivých vlivů způsobených velkou strmostí napěťových pulsů na výstupu střídače s připojeným dlouhým kabelem k motoru mají největší význam vlastnosti napěťové vlny na rozpojeném a zkratovaném konci vedení.

V případě rozpojeného konce vedení se energie vlny nemůže přeměnit na jinou formu a proto dochází k jejímu odrazu. Odražená vlna postupuje vedením v opačném směru. Na konci rozpojeného vedení je proud nulový, součet proudů postupné a zpětné vlny musí být nulový. Elektrické náboje rozpojených vodičů si zachovávají stejnou polaritu, vlna napětí se tedy na rozpojeném konci vedení odrazí se stejnou polaritou.

V případě zkratovaného konce vedení je napětí zkratu nulové. Součet postupné a odražené vlny napětí na zkratovaném konci vedení tedy zůstává nulový a vlna napětí se odrazí s opačnou polaritou.

V podmínkách výstupního dlouhého kabelu frekvenčního měniče představuje impedance připojeného motoru pro vlnu napětí prakticky rozpojený obvod. Naopak výstup měniče má charakter napěťového zdroje, z hlediska vlnových jevů se zanedbatelnou vnitřní impedancí, pro vlnu napětí tedy představuje výstup měniče prakticky zkrat. Při připojení napěťového pulsu šířkově pulsní modulace měniče na dlouhý přívodní kabel k motoru

postupuje vlna napětí na konec tohoto kabelu, z hlediska vlny rozpojený, a odráží se se stejnou polaritou. Při příchodu zpětné vlny k výstupu měniče, tedy prakticky k místu zkratu, se vlna napětí odráží s opačnou polaritou a opět postupuje ke konci vedení. Okamžité hodnoty napětí na kabelu k motoru, na výstupu měniče i na svorkách motoru jsou dány okamžitým součtem postupných a zpětných napětí vln. Popsanou situaci znázorňuje obr. 2.2. Závažným důsledkem těchto jevů je skutečnost, že při odražení vlny napětí na svorkách motoru dosahuje okamžitá hodnota tohoto napětí dvojnásobku napětí napájecího zdroje, tedy dvojnásobku napětí stejnosměrného meziobvodu frekvenčního měniče. Popsané jevy se uplatňují periodicky při generování šířkově pulsní modulace a zvyšují napětíové namáhání izolace vinutí motoru, což přispívá ke zkrácení její životnosti.

Výše uvedené odvození vycházelo z modelu bezeztrátového vedení. Ve skutečnosti se na přívodním kabelu k motoru uplatňuje jeho útlum, vlnové efekty způsobené velkou strmostí napětíových pulsů tedy postupně odeznívají. Velikost přepětíových špiček na svorkách motoru rovná přibližně dvojnásobku napětí stejnosměrného meziobvodu je však realitou. V případě frekvenčního měniče napájeného ze sítě 3x400V s dlouhým kabelem k motoru dosahují tedy na svorkách motoru přepětíové špičky hodnot až cca. 1100V.

3 Měření vlivu výstupních tlumivek na svorkové napětí motoru

Ve spolupráci s firmou Skybergtech s.r.o. byla provedena série měření vlivu parametrů výstupních tlumivek na strmost napětíových pulsů a velikost přepětíových špiček na svorkách motoru při měničovém napájení. Byla provedena srovnávací měření při připojení motoru k měniči krátkým kabelem o délce 4,5m a kabely s délkou 100m, stíněným a nestíněným. Podmínky měření byly následující:

Motor: 3f ASM 180W, 380V, 0,65A, 50Hz

Měnič: Telemecanique ATV18U90N4, 370W

Osciloskop: Tektronix TDS 5032, 350MHz

Napětíová diferenciální sonda: Tektronix P5205, 100MHz

Proudová klešťová sonda: Tektronix A621 50kHz

Stíněný kabel: LiYCY-JZ 3x1,5 - 100m

Nestíněný kabel: HO5VV-F4G1,5B - 100m

Tlumivka 1 resp. 2 resp. 3: 0,9mH, 16A resp. 2,2mH, 10A resp. 5mH, 3A

Měření byla prováděna v ustáleném stavu pohonu při nastavené výstupní frekvenci měniče 50Hz. Efektivní hodnota proudu naprázdno motoru se pohybovala v rozmezí 0,55 až 0,68A. Frekvence šířkově pulsní modulace měniče byla nastavena na 4 kHz. Strmosti nárůstu napětí na svorkách motoru a velikosti přepětíových špiček byly odečítány pomocí osciloskopu. Výsledky měření jsou uspořádány v následující tabulce.

Tab. 3.1: Výsledky měření přepět'ových špiček a strmosti nárůstu napětí

100m	Kabel nestíněný	Strmo st L-L (V/μs)	Strmost L-PE (V/μs)	U_{MAX} L-L (V)	U_{MAX} L- PE (V)
	Bez tlumivky	3200	2800	1080	880
	Tlumivka 0,9mH	170	550	808	680
	Tlumivka 2,2mH	80	64	800	656
	Tlumivka 5mH	114	60	880	776
4,5m	Kabel nestíněný	Strmo st L-L (V/μs)	Strmost L-PE (V/μs)	U_{MAX} L-L (V)	U_{MAX} L- PE (V)
	Bez tlumivky	5862	5279	-	-
	Tlumivka 0,9mH	950	800	680	640
	Tlumivka 2,2mH	475	511	680	648
	Tlumivka 5mH	330	423	732	676
100m	Kabel stíněný	Strmo st L-L (V/μs)	Strmost L-PE (V/μs)	U_{MAX} L-L (V)	U_{MAX} L- PE (V)
	Bez tlumivky	2400	3400	1024	895
	Tlumivka 0,9mH	123	153	811	744
	Tlumivka 2,2mH	54	42	816	868
	Tlumivka 5mH	75	46	848	848

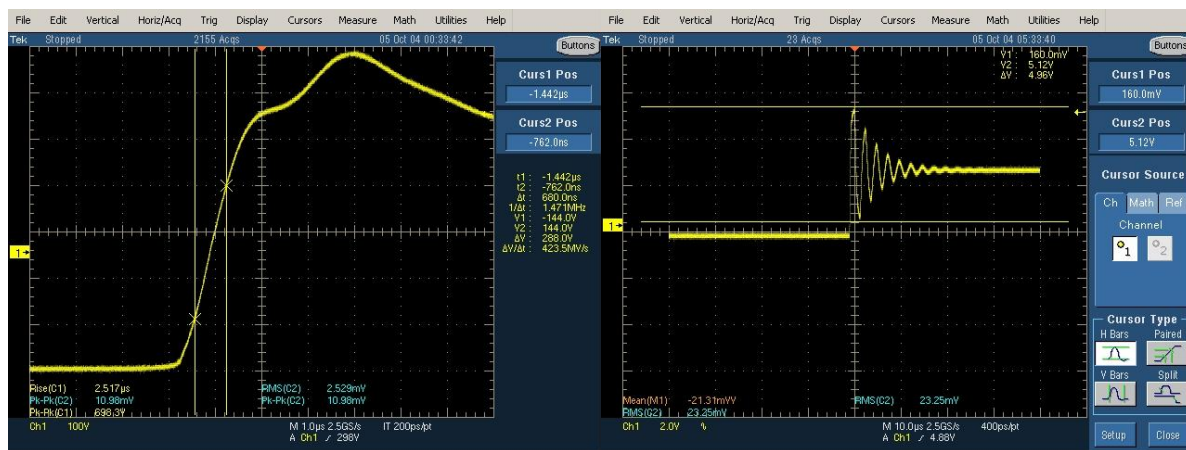
Na následujících obrázcích jsou příklady některých naměřených oscilogramů.



Obr. 3.1: Průběh napětí mezi fázemi (L-L) na svorkách motoru – nestíněný kabel 4,5m, bez tlumivky a průběh napětí mezi fázemi (L-L) na svorkách motoru – nestíněný kabel 4,5m, tlumivka 5mH

Z obr. 3.1 vlevo (připojení nestíněným kabelem 4,5m bez tlumivky) je v plné míře zřejmá vysoká strmost nárůstu napětí mezi fázemi (L-L) na svorkách motoru přes 5000V/μs

s pravděpodobnými následky na generování rušivých účinků. Vzhledem ke krátkému kabelu však nedochází k rozvinutí vlnových jevů na kabelu a nedojde ke vzniku přepětových špiček. Jak je zřejmé z Tab. 3.1 a z obr. 3.1 vpravo, při zařazení výstupní tlumivky dochází s její rostoucí indukčností ke snižování strmosti nárůstu napěťového pulsu a to jak u napětí mezi fázemi (L-L), tak u napětí mezi fází a neživou částí motoru (L-PE). Oproti původní hodnotě strmosti nárůstu napětí přes $5000\text{V}/\mu\text{s}$ je vliv tlumivky na snížení strmosti nárůstu napětí výrazný. Se zařazením indukčnosti však začne docházet v obvodu k oscilacím, způsobujícím vznik přepětových špiček na svorkách motoru. S rostoucí indukčností tlumivky mírně vzrůstá hodnota velikosti přepětí a to jak v případě napětí mezi fázemi, tak v případě napětí fáze proti neživé části. Z hodnot v tabulce je zřejmé, že zařazení výstupní tlumivky způsobí menší snížení strmosti napěťových pulsů L-L oproti L-PE, napěťové špičky L-PE však mají oproti špičkám L-L o málo nižší hodnotu (obr.3.2 vlevo).



Obr. 3.2: Průběh napětí mezi fází a neživou částí motoru (L-PE) – nestíněný kabel 4,5m, tlumivka 5mH a průběh napětí mezi fázemi (L-L) na svorkách motoru – nestíněný kabel 100m, bez tlumivky (200x zeslabeno sondou)

Na obr. 3.2 vpravo je průběh napětí mezi fázemi na svorkách motoru v případě použití nestíněného kabelu 100m bez použití tlumivky. Na tomto obrázku je zřejmý vliv vlnových jevů na kabelu, které se s časem tlumí vlivem ztrát na tomto reálném kabelu. Frekvence kmitů napětí na svorkách motoru je 400kHz. Tato hodnota je v relaci s dobou šíření napěťových vln na kabelu. V souladu s obr. 2.2 představuje jedna perioda kmitů napětí na obr. 3.2 vpravo dobu, za kterou projde tlumící se vlna napětí na reálném kabelu délkou kabelu 4×1 , tedy $4 \times 100\text{m}$. Je-li perioda kmitů napětí T na svorkách motoru (400kHz) $2,5\mu\text{s}$, je reálná rychlost šíření vln napětí po kabelu v dána:

$$v = \frac{4 \cdot l}{T} = \frac{4 \cdot 100}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 1,6 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (3.1)$$

Tato rychlost je přibližně poloviční vůči rychlosti světla ve vakuu. Nižší rychlost oproti rychlosti světla ve vakuu je menší měrou dána zanedbáním odporů a svodů při odvození v kapitole 2, zejména je naměřené snížení rychlosti šíření napěťových vln dáno v souladu se vztahem (2.12) reálnými hodnotami permeability a permitivity použitého kabelu.

Z tab. 3.1 a obr. 3.2 vpravo je zřejmé, že, v souladu s odvozením v kap. 2, dosahuje hodnota maximálního napětí mezi fázemi na svorkách motoru při prvním odrazu napěťové vlny 1080V, což je téměř dvojnásobek napětí stejnosměrného meziobvodu použitého frekvenčního měniče ($400\text{V} \times \sqrt{2} = 565\text{V}$). Z tab. 3.1 je zároveň zřejmé, že vlivem dlouhého kabelu k motoru se poněkud na svorkách motoru sníží strmost nárůstu napětí napěťového pulsu.

Z obr. 3.3 a z tab. 3.1 je zřejmé, že zařazení tlumivky na výstup měniče výrazně omezí strmost nárůstu napětí na svorkách motoru mezi fázemi i mezi fází a neživou částí, dochází však ke snížení přepětíových špiček jen o přibližně 20%. Zařazení tlumivek tedy eliminuje výrazně rušivé vlivy spojené s velkou strmostí nárůstu napětíových pulsů, mnohem méně velikost přepětí při použití dlouhého kabelu. Zařazení tlumivek rovněž výrazně snížilo frekvenci kmitů napětí na svorkách motoru, přibližně 10x.

Z tab. 3.1 jsou dále patrné rozdíly výsledků při použití kabelu 100m stíněného a nestíněného. Je známou skutečností, že stíněné kabely se vyznačují vyššími kapacitami. U použitého stíněného kabelu byla měřením zjištěna kapacita mezi fázovými vodiči 15nF, mezi fázovým vodičem a stíněním 23nF. U použitého nestíněného kabelu je kapacita mezi fázovými vodiči 7,5nF. Z hlediska sledovaných parametrů napětíových průběhů je zřejmé, že stínění kabelu nemá zásadní kvalitativní vliv. U stíněného kabelu dojde při použití výstupních tlumivek k poněkud většímu omezení strmosti nárůstu napětíových pulsů, na druhou stranu jsou zde patrné vyšší hodnoty přepětíových špiček mezi fázovou svorkou motoru a jeho neživou částí. To poukazuje na jevy spojené s výměnou energie mezi výstupní tlumivkou a kapacitami kabelu, případně motoru, se kterými souvisí vznik přepětíových špiček na motoru i při použití výstupních tlumivek. U frekvenčně řízených pohonů se vždy doporučuje použít stíněný kabel mezi motorem a měničem bez ohledu na jeho délku.

Zajímavou skutečností je v případě použití stíněného i nestíněného kabelu 100m nemonotónní závislost strmosti náběžných hran napětíových pulsů mezi fázemi na svorkách motoru na indukčnosti tlumivky. Je zřejmé, že pro určitou hodnotu indukčnosti je strmost nárůstu napětíových pulsů mezi fázemi minimální, přičemž velikost přepětíových špiček se s indukčností prakticky nemění. Pro eliminaci rušivých efektů má tedy smysl v tomto případě velikost indukčnosti výstupní tlumivky optimalizovat.



Obr. 3.3: Průběh napětí mezi fázemi na svorkách motoru (L-L) – nestíněný kabel 100m, tlumivka 2,2mH a průběh napětí mezi fázemi na svorkách motoru (L-L) – nestíněný kabel 100m, tlumivka 0,9mH

4 Závěr

Provedená analýza a měření tvoří jen velmi malou část alternativ a konfigurací výstupních obvodů frekvenčních měničů z hlediska zmapování všech efektů a vlivů. Charakter jevů i rušivých vlivů výstupního napětí frekvenčních měničů formovaného šířkově pulsní modulací závisí například i na délce a parametrech kabelu, parametrech výkonových polovodičových součástek měničů, konstrukci odrušovacích členů. V provedených měřeních byly potvrzeny a rozšířeny poznatky zejména o těchto skutečnostech:

- Vysoká strmost nárůstu napěťových pulsů generovaných spínacími tranzistory na výstupu frekvenčního měniče způsobuje při použití dlouhého kabelu k motoru generování napěťových špiček na svorkách motoru s velikostí až dvojnásobku hodnoty napětí stejnosměrného meziobvodu měniče.
 - Při použití výstupních tlumivek se na svorkách motoru při použití dlouhého přívodního kabelu od měniče výrazně sníží strmost nárůstu napěťových pulsů, přepětové špičky se sníží jen o přibližně desítky %.
 - Přepětové špičky se vyskytují mezi fázovými svorkami motoru navzájem i mezi fázovými svorkami motoru a jeho neživou částí.
 - Použití stíněného nebo nestíněného kabelu nemá kvalitativní vliv na tyto jevy.
- Omezování strmosti napěťových pulsů na výstupu frekvenčního měniče má pozitivní vliv na eliminaci rušivých efektů frekvenčně řízených elektromotorů.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu Studentská grantová soutěž SGSDFJP_2016001.

Literatura

- [1] NOVÁK, J: Frekvenčně řízené elektrické pohony a jejich elektromagnetická kompatibilita. Časopis ELEKTRO, roč. 2005, č. 7, Praha 2005. ISSN 1210-0889.
- [2] KŮS, V., SKÁLA, J., HAMMERBAUER, J.: Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů, Ben – nakladatelství technické literatury, Praha 2013, ISBN 978-80-7300-476-7