

Centrum kompetence drážních vozidel

Martin Janda, Michal Kroneisl

Hluk trakčního pohonu - přehled řešení používaných ve světě

Výzkumná zpráva

Pracovní balíček:

WP11 – Elektrické části pohonů

Rok řešení:

2013



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**

2013

Pracoviště: KEV/RICE
Výzkumná zpráva č.: 22190-052-2013

Hluk trakčního pohonu - přehled řešení používaných ve světě

Druh úkolu: Vědecko - výzkumný
Řešitelé: Martin Janda, Michal Kroneisl
Vedoucí úkolu: Zdeněk Peroutka
Počet stran: 20
Datum vydání: prosinec 2013
Revize: 1

Projekt č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“ je řešen
s finanční podporou TA ČR.

Zpráva vznikla s podporou SGS-2012-071

Anotace

Zpráva shrnuje publikované metody snižování hluku pohonu pomocí úprav modulačního algoritmu, zejména na bázi změn modulační frekvence. Dále jsou zde uvedeny psychoakustické veličiny využitelné pro hodnocení příjemnosti zvuku.

Obsah

1	ÚVOD.....	3
2	VLIV ŘÍZENÍ MĚNIČE NA HLUK POHONU.....	3
3	MOŽNOSTI ELIMINACE ELEKTROMAGNETICKÉHO HLUKU	3
3.1	Hluk způsobený PWM	3
3.1.1	RPWM s náhodnou spínací frekvencí	4
3.1.2	RPWM s náhodnou pozicí pulsu	4
3.1.3	RPWM s náhodným spínáním.....	6
3.2	Hluk způsobený statorovou frekvencí	6
4	FREKVENČNÍ SPEKTRUM RPWM	7
4.1	Synchronní modulace	7
4.2	Referenční řízení	9
4.3	Aproximace spektra RPWM.....	10
5	KVANTIFIKACE HLUKU	12
5.1	"Klasické" veličiny	12
5.2	Psychoakustické veličiny.....	13
5.3	Kombinace psychoakustických veličin	16
6	ZÁVĚR.....	16

1 Úvod

Mezi sledované negativní vlivy elektrického pohonu na okolní prostředí patří jím vytvářený hluk. Ten působí přinejmenším rušivě na jemu vystavené osoby, při dlouhodobém působení může mít i negativní vliv na zdraví.

Hluk vytvářený elektrického pohonu lze z hlediska způsobu vzniku rozdělit na několik složek:

- 1) Mechanický hluk – tření v ložiskách, vibrace vlivem nevyváženosti
- 2) Ventilační hluk – zejména chlazení motoru, ať už vlastní nebo cizí
- 3) Elektromagnetický hluk – vibrace částí motoru vlivem elektromagnetických sil

Elektromagnetický hluk se šíří převážně z motoru, ale i od napájecích přívodů a sériových indukčností. V případě napájení motoru z měniče je elektromagnetický hluk „obohacen“ o frekvence odvozené ze spínací frekvence měniče. Cílem této zprávy je shrnout metody řízení měniče používané za účelem snížení elektromagnetického hluku.

2 Vliv řízení měniče na hluk pohonu

Předpokládáme pohon s asynchronním motorem napájeným z napěťového střídače a řízený PWM (pulsně šířkovou modulací). Výstupní napětí měniče obsahuje požadovanou statorovou frekvenci, spínací frekvenci PWM (a její násobky) a dále rozdílové a součtové složky vznikající z principu samotné PWM. Tyto frekvence se objevují v proudu odebíraném motorem a v elektromagnetickém hluku. Pokud je spínací frekvence konstantní, jeví se elektromagnetický hluk jako tón, což zvyšuje jeho rušivý vliv.

3 Možnosti eliminace elektromagnetického hluku

3.1 Hluk způsobený PWM

Mnoho metod potlačení elektromagnetického hluku spočívá v modifikaci pulsně šířkové modulace (PWM). Ta není generována deterministicky, ale „náhodně“, to znamená, že minimálně jedna z veličin charakterizující tuto modulaci se náhodně mění v čase. Tyto metody se v literatuře často označují jako RPWM (Random Pulse Width Modulation). Podle

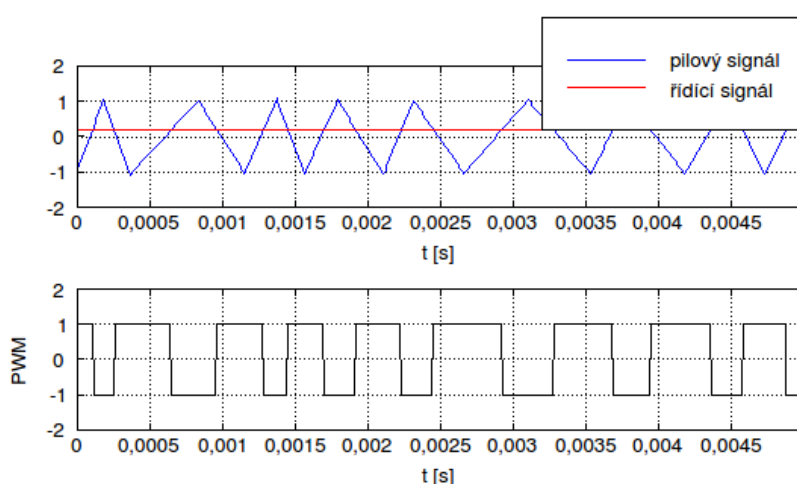
toho, která veličina se náhodně mění, lze tyto metody rozdělit do několika skupin. Kromě vlivu PWM lze zkoumat rovněž vliv statorové frekvence.

3.1.1 RPWM s náhodnou spínací frekvencí

V případě synchronní modulace se náhodně mění počet spínacích period na jednu periodu řídicího signálu (modulační poměr). U vektorových modulací se mění počet spínacích period na jeden sektor (otočení vektoru napětí o 60°). V obou případech musí být tento poměr přirozené číslo, aby modulace byla synchronní.

V případě asynchronní modulace se vychází z referenčního řízení, přičemž se mění strmost pilového signálu (obr. 1). Tento případ se v literatuře někdy označuje jako RSPWM (randomslope PWM).

V obou případech se v čase mění spínací frekvence, což se promítne ve frekvenčním spektru napětí.

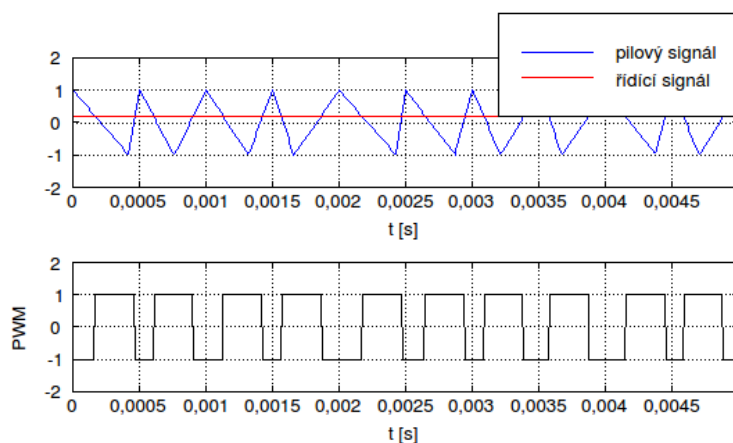


obr. 1 Náhodná spínací frekvence

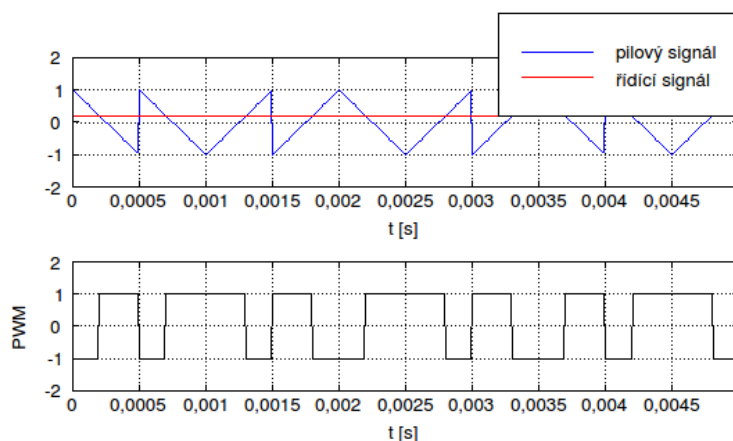
3.1.2 RPWM s náhodnou pozicí pulsu

V tomto případě se mění pozice pulsu uvnitř spínací periody (obr. 2). Spínací frekvence zůstává konstantní, podle polohy pulsu se však mění frekvenční spektrum výstupního signálu. V nejjednodušší variantě jsou možné pouze 2 pozice pulsu, a to na začátku a na konci spínací periody. To v podstatě znamená, že se náhodně přepíná směr pilového signálu pro každou spínací periodu (obr. 3).

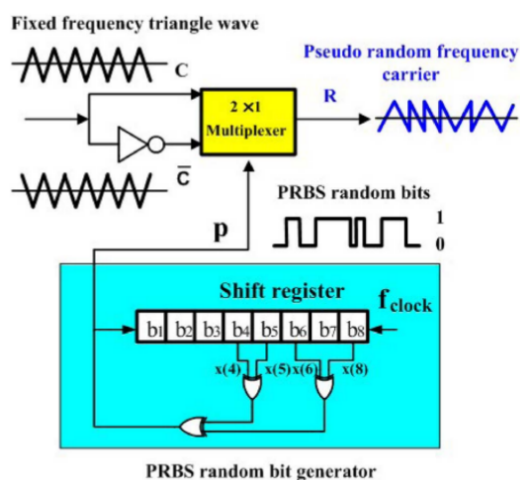
Příklad praktické realizace náhodně přepínaného směru pily je na obr. 4. Směr pilového signálu zde určuje generátor pseudonáhodných čísel s posuvným registrem.



obr. 2 Náhodná pozice pulsu



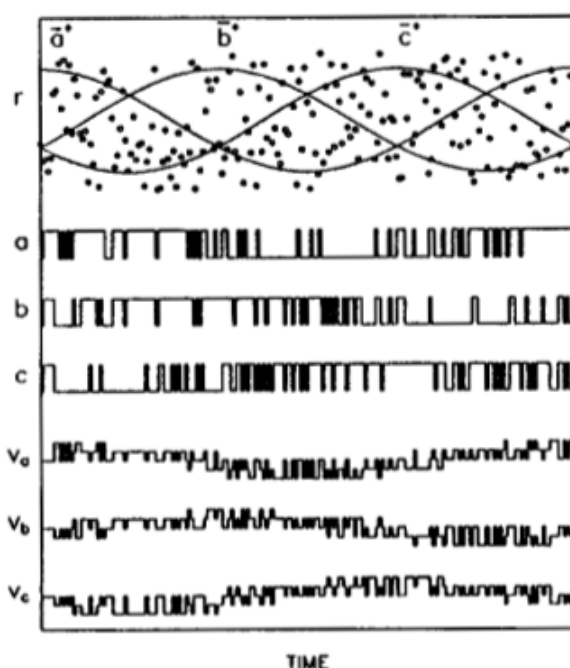
obr. 3 Náhodně přepínaný směr pily



obr. 4 Přepínání směru pily s posuvným registrem [5]

3.1.3 RPWM s náhodným spínáním

Tato metoda nepoužívá ke generování PWM pilový signál, ale generátor náhodných čísel. Pokud je použito rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti s mezemi stejnými jako pilový signál (tzn. -1 až 1), pak je i 1. harmonická výstupního napětí stejná jako při použití pilového signálu. Spínání je však nepravidelné. Podle[4] je tato metoda vhodná spíše pro vyšší spínací frekvence (a tím pádem menší výkony). Na obr. 5. lze vidět řídicí signály pro 3 fáze spolu s náhodným signálem (tečky), níže pak průběhy fázových napětí střídače a fázových napětí motoru.

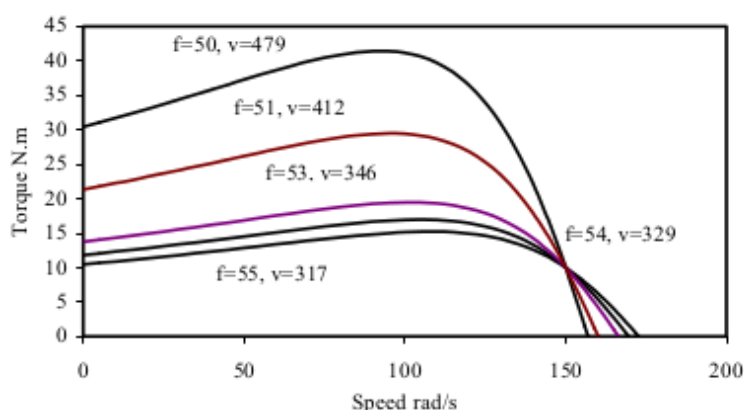


obr. 5 RPWM s náhodným spínáním [4]

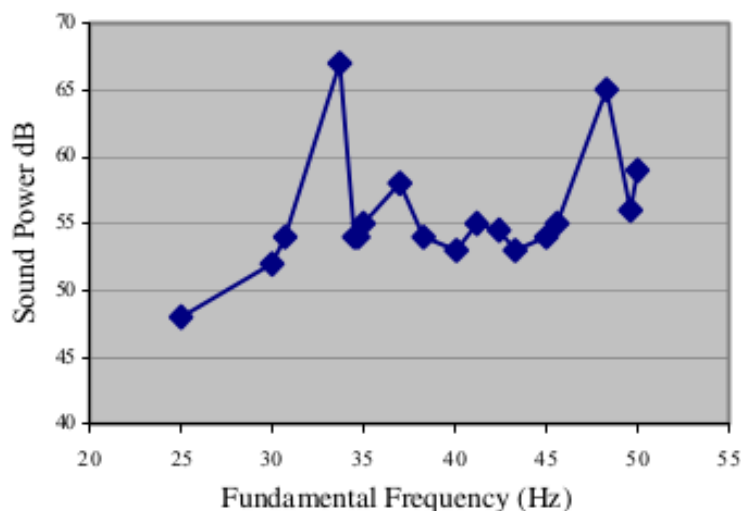
3.2 Hluk způsobený satorovou frekvencí

Kromě hluku způsobeného spínací frekvencí PWM lze snižovat i hluk způsobený satorovou frekvencí asynchronního motoru (tzn. 1. harmonickou satorového napětí). Tímto tématem se zabývá například práce [6]. Zde uvedený princip spočívá v tom, že požadovaného momentu při daných otáčkách můžeme dosáhnout různými satorovými frekvencemi. Satorové napětí je třeba nastavit tak, aby výsledná momentová charakteristika protínala daný pracovní bod (obr. 6). Z rozsahu satorových frekvencí přípustných z hlediska regulace momentu vybere řídicí systém tu, při které je produkovaný hluk a vibrace nejmenší

(obr. 7). Systém volby frekvence může být doplněn o zpětnou vazbu zavedenou z mikrofonu, kterou je měřen aktuální hluk v závislosti na nastavené frekvenci.



obr. 6 Momentové charakteristiky při různé frekvenci a amplitudě 1. harmonické satorového napětí[6]



obr. 7 Příklad závislosti intenzity hluku na satorové frekvenci[6]

4 Frekvenční spektrum RPWM

4.1 Synchronní modulace

Pro synchronní RPWM modulace lze některé užitečné vztahy a poznatky nalézt v [4]. Podle tohoto zdroje je výkon P_k přenesený k -tou harmonickou přímo úměrný funkci náhodných proměnných ϑ_n a N :

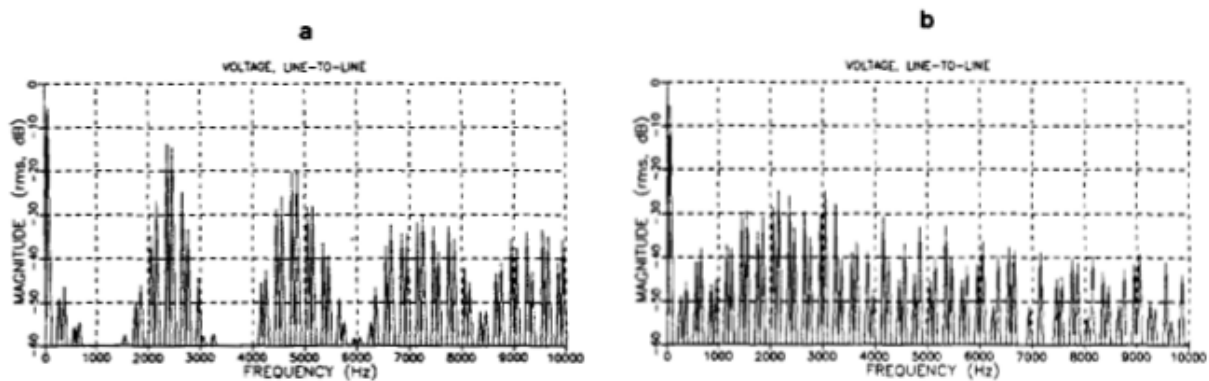
$$P_k \sim \left| E \left\{ \sum_{n=1}^N a_n \frac{\sin\left(\pi \frac{k}{N} a_n\right)}{\pi \frac{k}{N} a_n} e^{-j2\pi \frac{k}{N} n} e^{-j2\pi \frac{k}{N} \vartheta_n} \right\} \right|^2$$

kde $E\{.. \}$ je statistická pravděpodobnost, a_n je střída signálu v n -tém spínacím intervalu a ϑ_n je pozice pulsu uvnitř spínacího intervalu, která se může měnit v rozsahu $(a_n - 1)/2$ až $(1 - a_n)/2$. N je zde modulační poměr (poměr spínací frekvence ku frekvenci modulačního signálu).

V případě, že pozice pulsu ϑ_n je konstantní a modulační poměr N_i se mění v rozsahu N_1 až N_K , platí pro výkon P_k vztah:

$$P_k \sim \left| \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \sum_{n_i=1}^{N_i} a_{n_i} \frac{\sin\left(\pi \frac{k}{N_i} a_{n_i}\right)}{\pi \frac{k}{N_i} a_{n_i}} e^{-j2\pi \frac{k}{N_i} n_i} \right|^2$$

Příklad porovnání RPWM s klasickou PWM je na obr. 8. V obou případech je modulační frekvence 50 Hz, hloubka modulace $M = 1$ a PWM je generována vektorově. V případě a) na jeden sektor vektorové modulace připadá 8 spínacích period, v případě b) se tento poměr mění mezi 5 a 11.



obr. 8 Porovnání spekter napětí pro synchronní vektorovou modulaci: a) RPWM s proměnným modulačním poměrem, b) klasická PWM s konstantní spínací frekvencí [4]

V případě klasické PWM se harmonické seskupují okolo celistvých násobků spínací frekvence. Pokud se mění modulační poměr (a tím i spínací frekvence), přenášený výkon se rozloží mezi více harmonických a jednotlivé harmonické díky tomu mohou být menší.

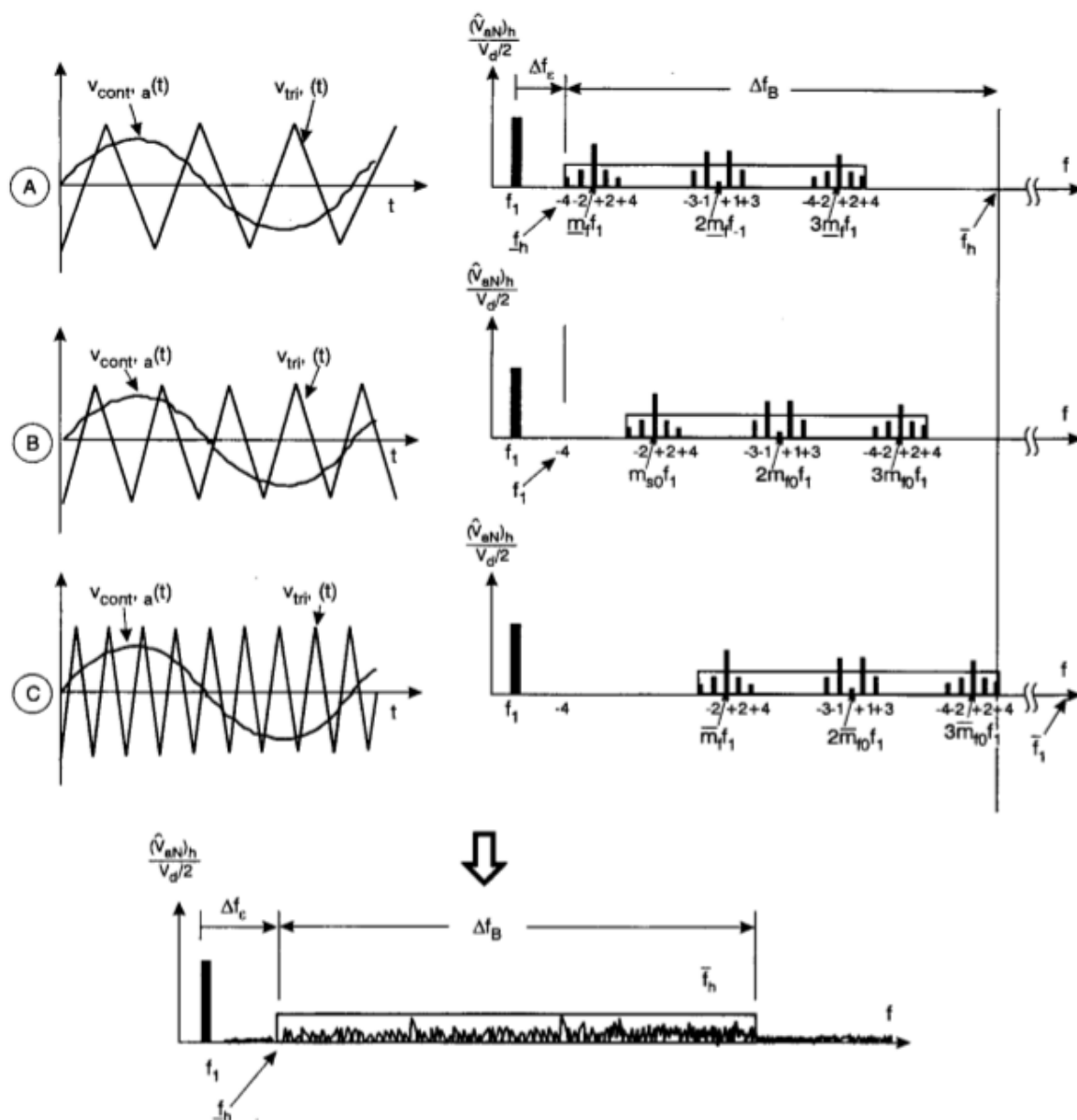
Pokud je poměr N konstantní a pozice pulsu nabývá náhodně hodnot $\pm(1 - a_n)/2$, pro výkon P_k platí:

$$P_k \sim \left| \sum_{n=1}^N a_n \frac{\sin\left(\pi \frac{k}{N} a_n\right)}{\pi \frac{k}{N} a_n} e^{-j2\pi \frac{k}{N} n} \cos\left[\pi \frac{k}{N} (1 - a_n)\right] \right|^2$$

Synchronní modulace má z hlediska výpočtu spektra tu výhodu, že na jednu periodu modulačního signálu připadá celý počet spínacích period. Lze předpokládat, že podobné vztahy by bylo možné s určitou nepřesností použít pro analytické určení spektra napětí i při použití asynchronní modulace.

4.2 Referenční řízení

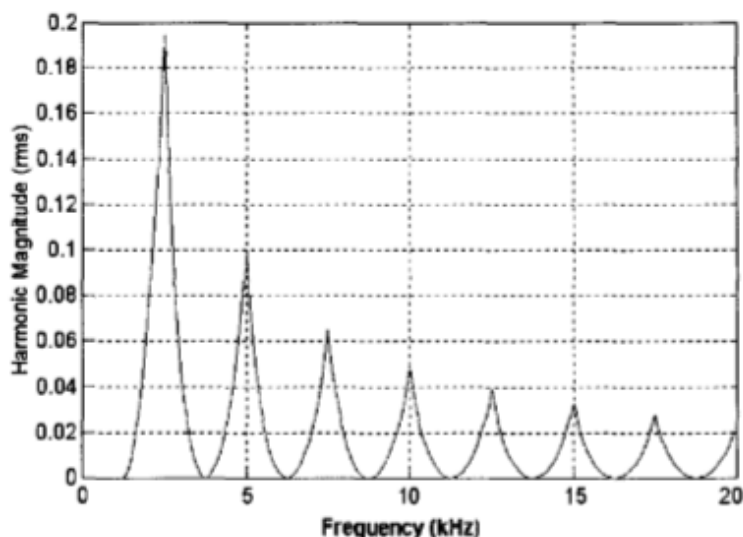
Náhodnou PWM s referenčním řízením (tj. modulace s pilovým signálem) se zabývá například zdroj[3]. Autoři zde tuto metodu nazývají jako RSPWM (randomslope PWM – PWM s náhodnou strmostí pily). Na obr. 9 lze srovnat spektrum klasické PWM s konstantní frekvencí a RSPWM. V obou případech vidíme základní frekvenci modulačního signálu. V případě PWM s konstantní frekvencí jsou navíc liché násobky frekvence pily a součtové (respektive rozdílové) složky. V nich se vyskytují liché nebo sudé násobky základní frekvence (viz obrázek). V případě PWM s náhodnou strmostí pily pak každé spínací periodě odpovídá určitá frekvence. Pokud se spínací frekvence náhodně mění v určitých mezích, promítne se toto pásmo i do spektra výstupního napětí (Δf_B na obrázku dole).



obr. 9 Spektrum klasické PWM v porovnání s RSPWM [3]

4.3 Aproximace spektra RPWM

Kromě počítání s přesným spektrem napětí lze spektrum pro určitou spínací frekvenci aproximovat. Tímto postupem se zabývá práce [7]. Na obr. 4.3 je příklad aproximace spektra pro PWM s konstantní spínací frekvencí 2,5 kHz. Skupiny spektrálních čar jsou nahrazeny funkcí složenou z částí sinusovek.

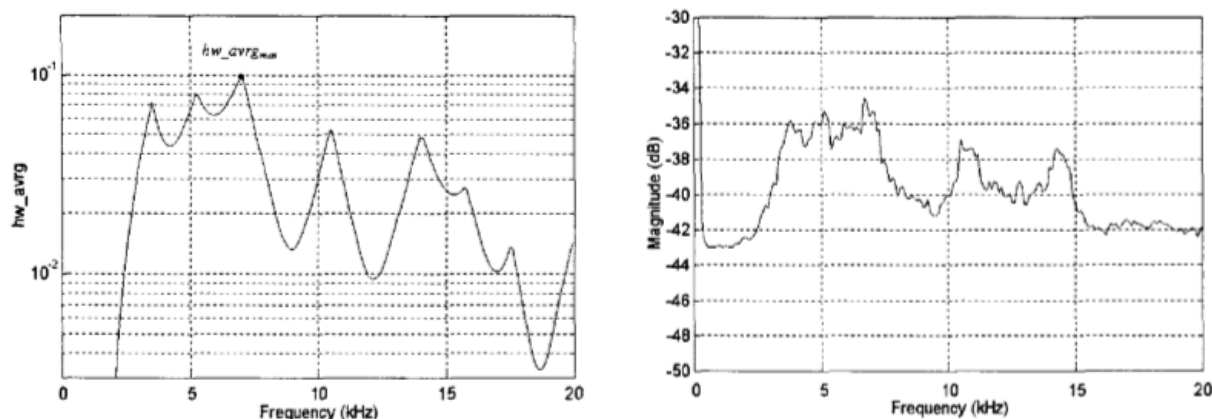


obr. 10 Aproximace spektra klasické PWM [7]

Pokud je spínací frekvence postupně vybírána z tabulky předem (náhodně) vygenerovaných spínacích frekvencí, mělo by dle [7] výsledné spektrum napětí odpovídat průměru ze spekter jednotlivých spínacích frekvencí podle vztahu:

$$hw_avg(f) = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N \left[\frac{k f_x}{f} \left(\frac{1}{\left\{ \left| \sin\left(\frac{\pi f}{2 f_x}\right) \right| + \left| \cos\left(\frac{\pi f}{2 f_x}\right) \right| \right\}} - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

kde f_x je x -tá spínací frekvence v tabulce spínacích frekvencí, kterých je celkem N , k je konstanta závislá na použité RPWM metodě a $hw_avg(f)$ je výsledné spektrum napětí. Při použití tabulky 3 spínacích frekvencí (tj. $N = 3$) vychází pak spektrum napětí podle obr. 4.4, přičemž nalevo je spektrum získané výše uvedeným vztahem a napravo spektrum změřené.



obr. 11 Spektrum RPWM při $N=3$ a neoptimálním výběru spínacích frekvencí [7]

Zdroj [7] dále zkoumá vliv počtu spínacích frekvencí v tabulce N a jejich rozložení na spektrum napětí. Jako kritérium zde autoři uvažují velikost největší „špičky“ ve spektru $hw_{avg_{max}}$. Obecně lze říci, že při zvětšujícím se počtu frekvencí N se spektrum „vyhlazuje“ a špičky méně vynikají. Zajímavým poznatkem je, že pro $N > 1024$ už se spektrum zlepšuje minimálně.

5 Kvantifikace hluku

5.1 "Klasické" veličiny

Absolutní veličiny: Akustický tlak p [Pa], Intenzita zvuku I [W/m²] je akustický výkon W [W] procházející 1m² vlnoplochy.

Hladinové veličiny:

Hladina akustického výkonu L_w [dB]=10 log(W/W_0), kde W_0 je 1e-12W, vlastnost zdroje hluku

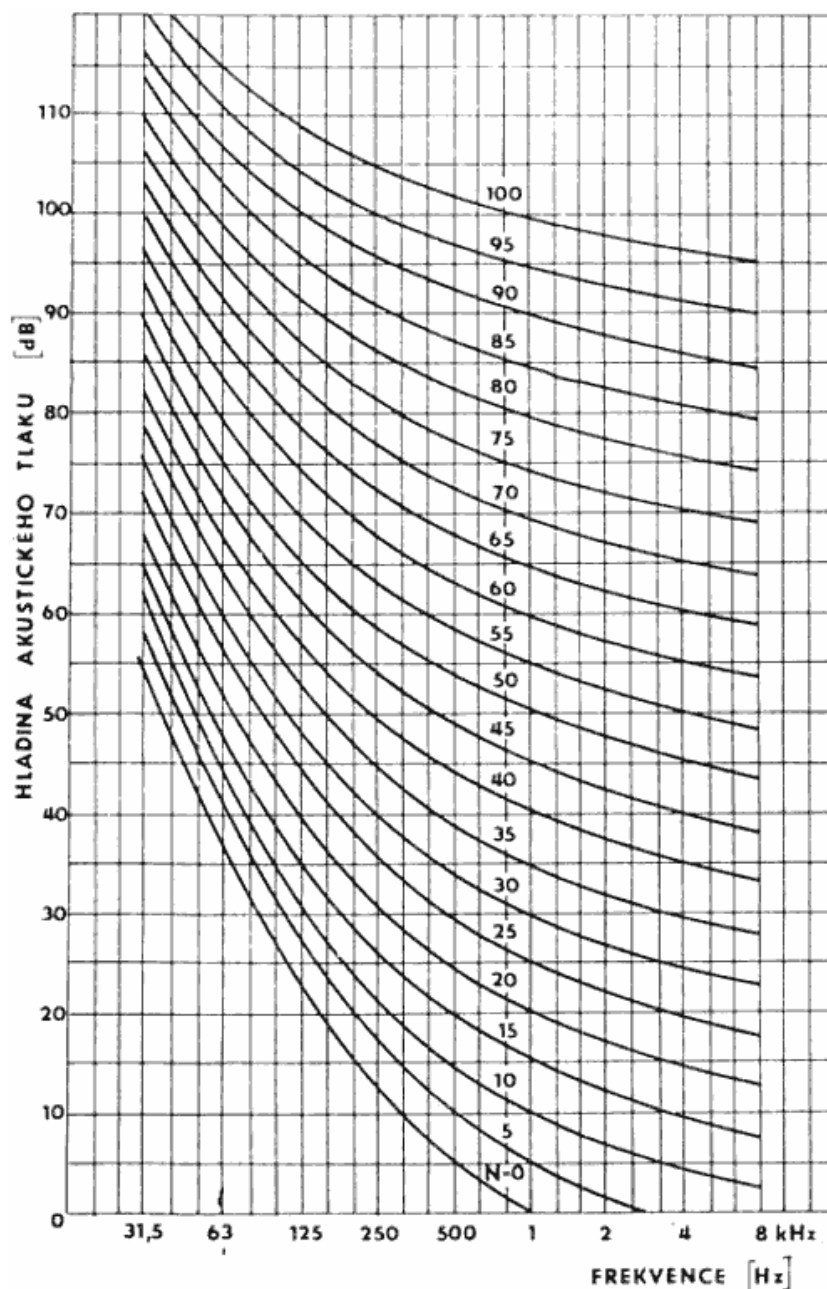
Hladina intenzity zvuku L_I =10 log(I/I_0), kde I_0 =1e-12W/m². Pro více zvuků L_I =10 log($I_1/I_0+I_2/I_0+...+I_N/I_0$)

Hladina akustického tlaku L_p [dB]=20 log(p/p_0), kde p_0 je 2e-5Pa, popisuje stav v místě posluchače. L_p je přibližně stejné jako L_I

Hladina akustického tlaku A, L_{pA} [dB, dBA, dB(A)] je hladina akustického tlaku měřená s váhovým filtrem zohledňujícím frekvenční závislost citlivosti lidského ucha. Filtr má definovány útlumy [dB] pro středy oktávových pásem dle tab. (Oktávové pásmo $f_1..f_2$ $f_2=2f_1$, střed $f_m=\sqrt{f_1f_2}$)

f_m [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
K[dB]	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1.0	-1.1

Třída hluku N - ISO definuje křivky $L_p=f(f)$, třída hluku odpovídá nejvyšší křivce, která se ještě dotýká spektra hluku.



obr. 12 popis obrázku

5.2 Psychoakustické veličiny

Veličiny popsané v kapitole 5.1 předpokládají, že pro vnímání hluku člověkem je důležitá pouze jeho hlasitost. Psychoakustické veličiny se snaží popsat další atributy, které člověk u zvuků vnímá. Základním pramenem je [8], aplikace v oblasti pohonů se spínaným reluktančním motorem je popsána v [9] a dalších pracích těchto autorů.

Většina psychoakustických veličin využívá barkovou stupnici, přepočet z frekvence

$$z/\text{Bark} = 13 \arctan(0.76f/\text{kHz}) + 3.5 \arctan(f/7.5 \text{ kHz})^2$$

z[Bark]	Center Frequency (Hz)	Cut-off Frequency (Hz)	Bandwidth (Hz)
		20	
1	50	100	80
2	150	200	100
3	250	300	100
4	350	400	100
5	450	510	110
6	570	630	120
7	700	770	140
8	840	920	150
9	1000	1080	160
10	1170	1270	190
11	1370	1480	210
12	1600	1720	240
13	1850	2000	280
14	2150	2320	320
15	2500	2700	380
16	2900	3150	450
17	3400	3700	550
18	4000	4400	700
19	4800	5300	900
20	5800	6400	1100
21	7000	7700	1300
22	8500	9500	1800
23	10500	12000	2500
24	13500	15500	3500

Hlasitost (Loudness) N[sone]

Na rozdíl od hladin hluků se snaží zohledňovat efekty časového i frekvenčního maskování, výpočet je standardizován a popsán v [10]

1 son je definován jako hlasitost tónu o frekvenci 1kHz a hladině akustického tlaku 40dB.

Hladina hlasitosti (Loudness level) L, Ln [phon]

přepočet $N = 2^{(0.1(L/\text{phon}-40))}$

Ostrost (Sharpness) S [acum] popisuje obsah vysokých frekvencí. [17]

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' g(z) z d_z}{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' d_z} \text{ acum}$$

kde z je kritické pásmo, g(z) jsou váhové koeficienty

$$g(z) = \begin{cases} 1 & 0 \leq z \leq 16 \\ 0.066e^{0.171z} & 16 < z \leq 24 \end{cases}$$

a N' jsou specifické hlasitosti (v jednotlivých kritických pásmech) využívané při výpočtu hlasitosti

Sensory Pleasantness - opak ostrosti, v závislosti na sharpness S , roughness R , tonality T , a loudness N [8]. Lze i bez podílu pro absolutní hodnoty [15]

$$\frac{P}{P_0} = e^{-0.7 R/R_0} e^{-1.08 S/S_0} (1.24 - e^{-2.43 T/T_0}) e^{-(0.023 N/N_0)^2}$$

Tonality [dB] Vyjadřuje, zda je ve zvuku dominantní tón, nebo je zvuk širokopásmový. Dle [9] je podrobnější popis v [11] (DIN 45681)

Lze nahradit Spectral Flatness Measure (geometrický/aritmetický průměr spektra) [15], [16]

$$SFM = \frac{\sqrt[N]{\prod_{k=0}^{N-1} P(k)}}{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} P(k)}$$

přepočet na tonalitu

$$SFM_{dB} = 10 \log_{10}(SFM)$$

$$T = \min\left(\frac{SFM_{dB}}{-60}, 1\right)$$

Kolísavost (Fluctuation Strength) [vacil] a hrubost (Roughness) [asper] jsou periodické změny obálky zvuku, liší se zejména frekvencí změn, kolísavost pod cca 20Hz

1 vacil - tón 1kHz s hladinou akustického tlaku 60dB modulovaný 4Hz, hloubka modulace 1dB

1 asper - tón 1kHz s hladinou akustického tlaku 60dB modulovaný 70Hz, hloubka modulace 1dB

Algoritmus pro výpočet hrubosti signálů by měl být obsažen v [12], převzato v [17].
Specifická hrubost

$$R_i = 0.25 \sum_{i=1}^{47} (g_{zi} \times c_{i-1 \& i+1} \times m_i)^2$$

kde koeficienty g, c, m jsou popsány v [12] (m_i je modulační index, nicméně [17] je zaměřena na hluk uvnitř automobilu, proto by výrazy ze [12] měly být použitelné pro jakýkoli zvuk, ne jen modulovaný tón)

5.3 Kombinace psychoakustických veličin

Snaha o přiřazení váhových koeficientů výše popsaným veličinám, výsledkem má být jedno číslo popisující příjemnost/nepříjemnost zvuku pro člověka. Obecně převažuje tendence nesdílet tyto výrazy, tj. např. automobilka má svou interní metodu pro posuzování zvuku spalovacího motoru.

- Annoyance Index je popsán v [14]
- Sensory Pleasantness - viz výše
- Sound Quality Index [Unbiased Annoyance] dle [13]

$$SQ = -10 + 17 \cdot SL + 10 \cdot SS + 10 \cdot SF$$
, kde SL je Loudness [sone], SS sharpness [sone?] SF fluctuation strength [vacil]
- Možnost sestavení vlastního indexu je popsána v [9], kde jsou jako veličiny s rozhodujícím vlivem pro hluk pohonu se SRM definovány hlasitost, ostrost a tonalita.

6 Závěr

Tato zpráva shrnuje metody potlačení hluku pohonu spočívající v modifikaci PWM, které jsou ve světě nejčastěji používány. První část zprávy se zabývá principy jednotlivých metod a jejich dopadem na frekvenční spektrum výstupního napětí měniče v porovnání s klasickou PWM.

Druhá část zprávy se zabývá hodnocením hluku z hlediska psychoakustiky. Psychoakustické veličiny popisují zvuk způsobem bližším lidskému uchu, ale jsou převážně definovány pro jednoduché zvuky, jejich implementace pro složitější zvuky se stále vyvíjí.

Literatura

- [1] Nová k To ná š . Hluk pohonu s asynchron n í m m o t o r e m Plze ň , 20 12. D i p l o m o v á (Ing.). Z á p a d o č e s k á u n i v e r z i t a v P l z n i , F a k u l t a e l e k t r o t e d n i ě k á . V e d u c í p r á c e M J a n d a .
- [2] Janda, M.: Hluk trakč n í ho pohonu - a n a l ý z a a s h r n u t í h l a v n í c h p o z n á t k ů . V ý z p r á v a Z Č Ů 201
- [3] Liaw, C.M., Lin, Y.M.: Random slope PWM inverter using existing system background noise: analysis, design and implementation. Electric PowerApplications, IEE Proceedings, vol. 147, no. 1, 2000

- [4] Trzynadlowski, A.M., Blaabjerg, F., Pedersen, J.K., Kirlin, R.L., Legowski, S.: Random pulse width modulation techniques for converter-fed drive systems-a review. IEEE Transactions on IndustryApplications, vol. 30, no. 5, 1994
- [5] Young-Cheol Lim, Member, IEEE, Seog-OhWi, Jong-Nam Kim, and Young-Gook Jung : A Pseudorandom Carrier Modulation Scheme . IEEE Transactions on PowerElectronics, vol. 25, no. 4, April 2010
- [6] Hashemi, N., Lisner, R., Holmes , D. G.: Acoustic Noise Reduction for an Inverter-Fed Three-Phase Induction Motor . Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. ConferenceRecordofthe 2004 IEEE, vol. 3Liaw, C.M., Lin, Y.M.: Random slope PWM inverter using existing system background noise: analysis, design and implementation. Electric Power Applications, IEE Proceedings, vol. 147, no. 1, 2000
- [7] Almarri, K.A., Balda, J.C., Carr, K.: Optimized selection of the random PWM switching frequencies in a limited pool. Applied Power Electronics Conference and Exposition. Fifteenth Annual IEEE, vol.1, 2000
- [8] Eberhard Zwicker. Psychoacoustics: facts and models. Berlin [u.a.]: Springer, 1999. ISBN 3-540-65063-6
- [9] Kasper, K.; Fingerhuth, S.; Klemenz, M.; Fiedler, J.; De Doncker, R.W.; Vorlander, M., "Psychoacoustic quantities and their relevance for sound-quality optimization of switched reluctance machines," PowerElectronics and Applications, 2005 EuropeanConference on , vol., no., pp.9 pp.,P.9, 0-0 0 doi: 10.1109/EPE.2005.219755
- [10] ČSN ISO 532 / DIN 45631 Acoustics - Method for calculating loudness level, part B 1975
- [11] DIN 45681
- [12] Daniel, P.; Weber, R.: Psychoacoustical Roughness: Implementation of an Optimized Model, Acta Acustica united with Acustica, Volume 83, Number 1, January/February 1997 , pp. 113-123(11)
- [13] Cho, K.Y.; Yang, S. B.; Kim, H. -W; Kim, J.C., "Improving sound quality of reciprocating compressor using random PWM," Power Electronics and Variable Speed Drives, 2000. Eighth International Conference on (IEE Conf. Publ. No. 475) , vol., no., pp.431,436, 2000

- [14] C.H. Schiffbä nker, F. Brand, G. Thien: Development and application of an evaluation technique to assess the subjective character of engine noise. SAE Technical Paper Series 911081, 1991
- [15] Hua Bao; Panahi, I. M. S., "Psychoacoustic active noise control with ITU-R 468 noise weighting and its sound quality analysis," Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE , vol., no., pp.4323,4326, Aug. 31 2010-Sept. 4 2010
- [16] Mahieux, Y.; Petit, J.-P.; Charbonnier, A., "Transform coding of audio signals using correlation between successive transform blocks," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1989. ICASSP-89., 1989 International Conference on , vol., no., pp.2021,2024 vol.3, 23-26 May 1989
- [17] Yansong Wang, Gongqi Shen, Yuanming Gong and Weiwei Wu: Correlation Study on the Subjective and Objective Evaluation Indices of Sound Quality Based on Vehicle Noises, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(22): 4851-4855, 2012 ISSN: 2040-7467

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	12/2013 MJ / KEV