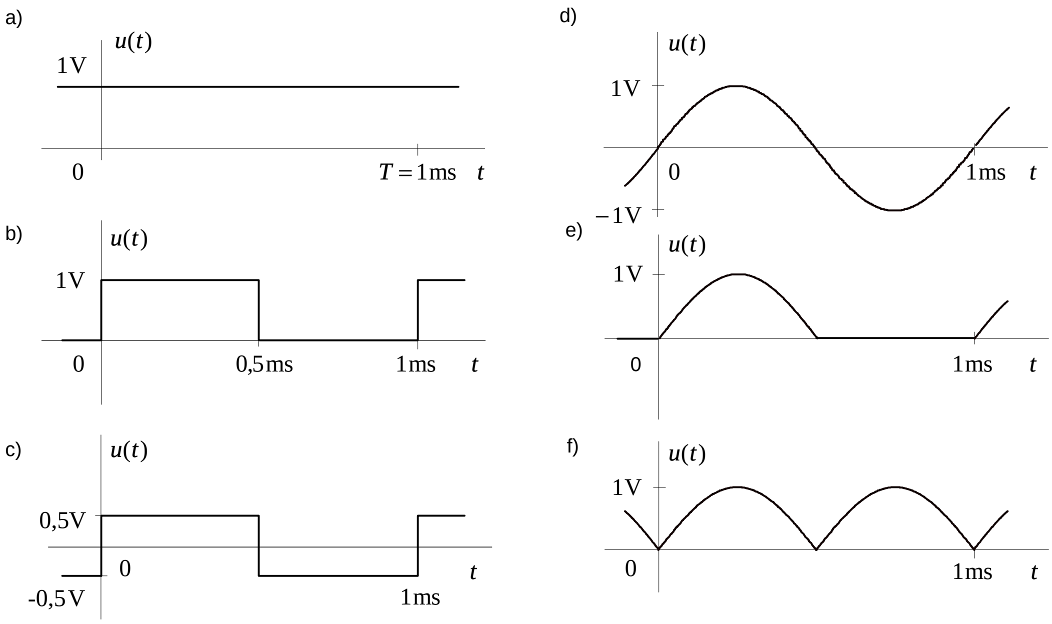
ŘEŠENÉ PŘÍKLADY

r 1.1. Určete střední a efektivní hodnotu signálů na obr.1.2, jejich výkon a energii za čas $T = 1\text{ms}$.



Obr.1.2. Analyzované signály.

þ *Řešení*:

Střední hodnota: $$U_{stř} = \frac{1}{T}\int_T u(t)dt.$$

Efektivní hodnota: $$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T u^2(t)dt}.$$

a) $U_{stř} = 1\text{V} = U_{ef}$;

b) $U_{stř} = 0{,}5\text{V}$, $U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} 1^2\, dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\text{V}$;

c) $U_{stř} = 0\text{V}$, $U_{ef} = 0{,}5\text{V}$;

d) $U_{stř} = 0\text{V}$, $U_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\text{V}$;

e) $U_{stř} = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} \sin(W t)dt = \frac{1}{p} \approx 0{,}318\text{V}$, $U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} \sin^2(W t)dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\frac{T}{4}} = 0{,}5\text{V}$;

f) $U_{stř} = 2.U_{stř(e)} = \frac{2}{p} \approx 0{,}637\text{V}$, $U_{ef} = U_{ef(d)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\text{V}$.

Výkon signálu na normované zátěži 1Ω je roven efektivní hodnotě na druhou.
Energie za čas T = výkon.T.

a) P = 1W, W = 1mWs = 1mJ;
b) P = 0,5W, W = 0,5mJ;
c) P = 0,25W, W = 0,25mJ;

d) viz b);
e) P = 0,25W, W = 0,25mJ;
f) viz b) a d).

& ***Poznatky z příkladu***:

a) *Signály různých tvarů mohou mít stejné střední nebo efektivní hodnoty (viz efektivní hodnoty signálů c), e) nebo b), d) ,f)).*

b) *Efektivní hodnota signálu je vždy o něco větší než jeho střední hodnota; výjimku tvoří stejnosměrný signál, u něhož jsou obě veličiny stejné.*

c) *Střední ani efektivní hodnota periodického signálu nezávisí na časovém posunutí signálu (t.j. nezávisí na volbě počátku času) a dokonce ani na opakovací periodě (t.j. nezávisí na časové expanzi a kompresi) a směru toku času (t.j. nezávisí na časové inverzi).*

d) *Efektivní hodnota signálu nezávisí na znaménku signálu.*

e) *Střední hodnota součtu dvou periodických signálů se stejnou opakovací periodou je rovna součtu jejich středních hodnot.*

f) *Výkon součtu dvou periodických signálů se stejnou opakovací periodou za tuto periodu (t.j. kvadrát efektivní hodnoty) je větší než součet výkonů (t.j. kvadrátu efektivních hodnot) obou signálů. K rovnosti dochází pouze u ortogonálních signálů, t.j. u signálů s nulovým vzájemným výkonem. Nejjednodušší ortogonální signály jsou ty, které se vzájemně nepřekrývají v rámci opakovací periody.*

Například dvoucestně usměrněný harmonický signál f) je složen ze dvou nepřekrývajících se jednocestně usměrněných signálů typu e) o efektivní hodnotě 0,5V. *Proto efektivní hodnota signálu f) bude*

$$U_{ef} = \sqrt{0{,}5^2 + 0{,}5^2} \doteq 0{,}707\,\mathrm{V}.$$

r **1.2.** Určete počáteční fáze signálů na obr.1.3. Opakovací perioda T_1 = 1ms.

þ ***Řešení***:

Je připsáno k obrázkům.

& ***Poznatky z příkladu***:

a) *Je-li počáteční fáze nulová, harmonický signál je signálem kosinovým. Extrém kosinusovky si označíme tečkou. Při následné změně počáteční fáze se tento znak bude posouvat doprava nebo doleva.*

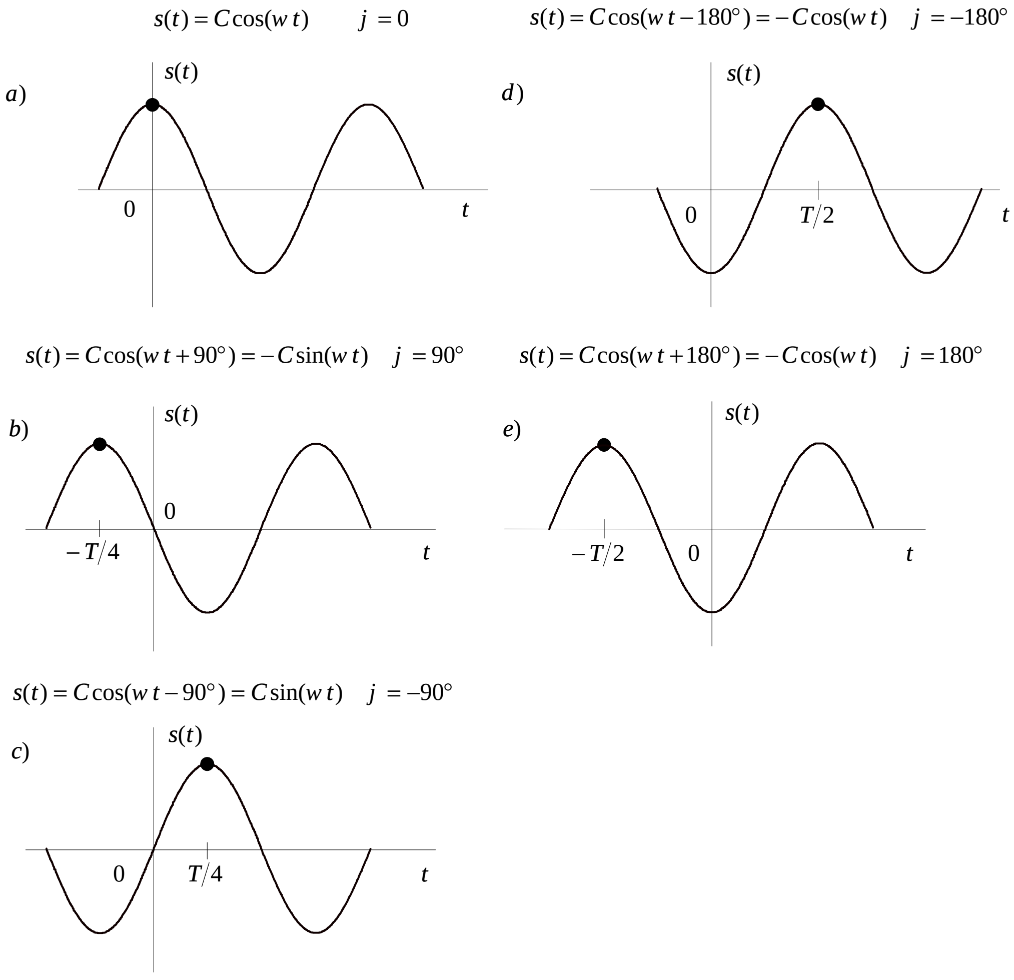
b) *Při kladné, resp. záporné počáteční fázi se kosinusovka přesouvá doleva, resp. doprava po časové ose.*

c) *Fázové posuvy* +180° *a* -180° *jsou ekvivalentní, znaménko u počáteční fáze* 180° *tedy nehraje roli. Posuv o* 180° *znamená změnu znaménka (inverzi) harmonického signálu.*
Amplitudu C v (1.14) *je vhodné definovat jako nezáporné číslo, aby nedocházelo k nejednoznačnosti při určování počáteční fáze. Např. signál* $s(t)$ = -5 cos(W t-45°) *má amplitudu* +5V *(nezáporné číslo) a počáteční fázi* -225° *(nebo také* +135°*), neboť*
-5cos(W t-45°) = 5 cos(W t-45°± 180°) = 5 cos(W t-225°) = 5 cos(W t+135°).

d) *Dohodnutým základním tvarem pro matematický popis harmonického signálu je tvar kosinový* (1.14). *Proto je-li signál popsán funkcí sinus, je třeba ji za účelem zjištění počáteční fáze převést na funkci typu kosinus podle vztahu*

$$\sin(a) = \cos(a - 90°) \tag{1.40}$$

Například signál $u(t)$ = -5sin(Wt-45°) *má amplitudu* +5V *a poèáteèní fázi* +45°, *nebo•*
sin(Wt-45°) = -5 cos(Wt-45°-90°) = 5 cos(Wt-45°-90°±180) = 5 cos(Wt+45°).



Obr.1.3. Harmonické signály s různými počátečními fázemi.

r 1.3. Vypočtěte fázový a časový posuv mezi signály a) a b) z obr.1.3.

þ ***Řešení:***

Počáteční fáze signálu a): $j_a = 0°$
Počáteční fáze signálu b): $j_b = +90°$

Fázové posuvy:	$j_{ab} = j_a - j_b$ = -90°= -π/2 rad...	signál a) je zpožděn za signálem b) o 90°
	$j_{ba} = j_b - j_a$ =+90°= +π/2 rad...	signál b) předbíhá před signálem a) o 90°
Časové posuvy:	$t_{ab} = j_{ab}/W_1 = -T_1/4$ = -250µs...	signál a) je zpožděn za signálem b) o 250µs
	$t_{ba} = j_{ba}/W_1 = +T_1/4$ = +250µs..	signál b) předbíhá před signálem a) o 250µs

& ***Poznatky z příkladu*:**

a) *Je-li harmonický signál o kmitočtu W posunut o časový úsek* t_S*, odpovídá to úhlovému posunutí*

$$Dj = W t_S \,. \tag{1.41}$$

Posunou-li se dva harmonické signály různých kmitočtů o stejný časový úsek, posunou se o různé úhly: signál o vyšším kmitočtu bude posunut o větší fázový posuv.

b) ***Fázový posuv*** *dvou harmonických signálů* $s_1(t)$ *a* $s_2(t)$ o *stejných kmitočtech a počátečních fázích* j_1 *a* j_2 *je*

$$j_{12} = j_1 - j_2 \,. \tag{1.42}$$

Je-li $j_{12} > 0$, *resp.* $j_{12} < 0$, *říkáme, že signál* $s_1(t)$ *předbíhá, resp. je zpožděn za signálem* $s_2(t)$.

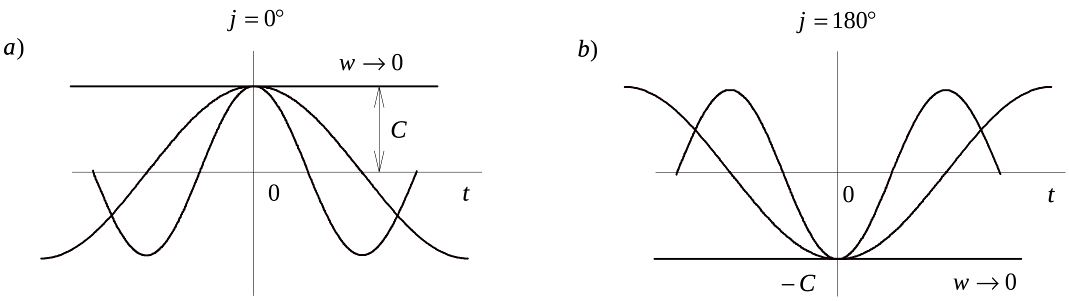
r 1.4. Vyjádřete stejnosměrné signály a) $u(t) = +5\mathrm{V}$, b) $u(t) = -5\mathrm{V}$ jako zvláštní případy harmonických signálů. Určete jejich amplitudy, kmitočty a počáteční fáze.

þ ***Řešení*:**

(Viz také obr.1.4)

a) $u(t) = 5\mathrm{V} = 5\cos(0.t + 0°)[\mathrm{V}] \Rightarrow$ amplituda = 5V, kmitočet 0 rad/s, fáze 0°.

b) $u(t) = 5\mathrm{V} = 5\cos(0.t + 180°)[\mathrm{V}] \Rightarrow$ amplituda = 5V, kmitočet 0 rad/s, fáze 180°.

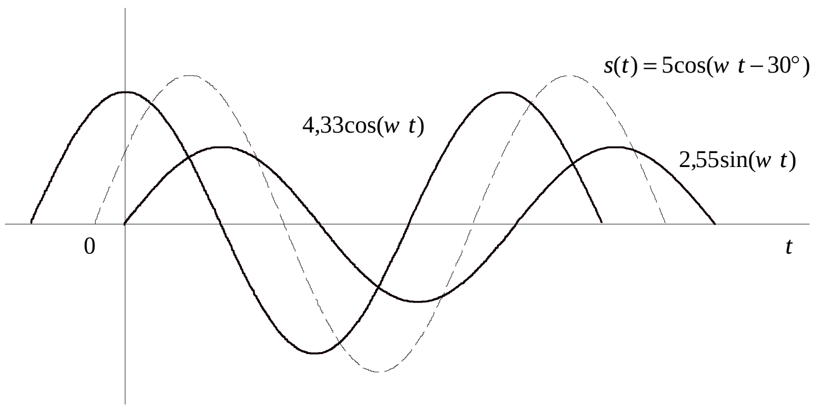


Obr.1.4. Stejnosměrný signál jako zvláštní případ harmonického signálu pro nulový kmitočet.

& ***<u>Poznatek z příkladu</u>*:**

Stejnosměrný signál $C > 0$ *(*$C < 0$*) je zvláštním případem harmonického signálu o amplitudě* $|C|$, *počáteční fázi* $j = 0$ *(*$j = 180°$*) a kmitočtu* $W_1 = 0\mathrm{rad/s}$.

r 1.5. Rozložte signál $u(t) = 5\cos(w\, t - 30°)[\mathrm{V}]$ na sinovou a kosinovou složku.



Obr.1.5. Rozklad harmonického signálu na sinovou a kosinovou složku.

þ ***Řešení*:**

Použití rozkladového vzorce

$$\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

nebo přepočtových vztahů (1.15):

$$u(t) = 5\cos(w\,t - 30°) \doteq 4{,}33\cos w\,t + 2{,}55\sin w\,t\ [\mathrm{V}].$$

& ***Poznatek z příkladu*:**

Harmonický signál o kmitočtu w a obecné počáteční fázi j se skládá ze sinového a kosinového signálu o stejných kmitočtech w.

r 1.6. Určete amplitudu a počáteční fázi harmonického signálu, znáte-li jeho sinovou a kosinovou složku:

$$u(t) = 2\sin w\,t - 5\cos w\,t\,[\mathrm{V}].$$

þ *Řešení*:

Použití přepočtových vztahů (1.15):

$A\cos w\,t + B\sin w\,t = C\cos(w\,t + j\,);\ A = -5\mathrm{V}, B = 2\mathrm{V}, C = ?, j\ = ?$

$C = \sqrt{A^2 + B^2} = \sqrt{29} \doteq 5{,}385\mathrm{V},$

$j\ = \mathrm{arctg}\dfrac{(-B)}{A} + p = \mathrm{arctg}\dfrac{(-2)}{(-5)} + p \doteq 3{,}522\ \mathrm{rad} \doteq 201{,}8°.$

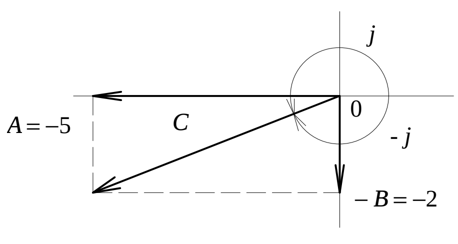
& ***Poznatek z příkladu*:**

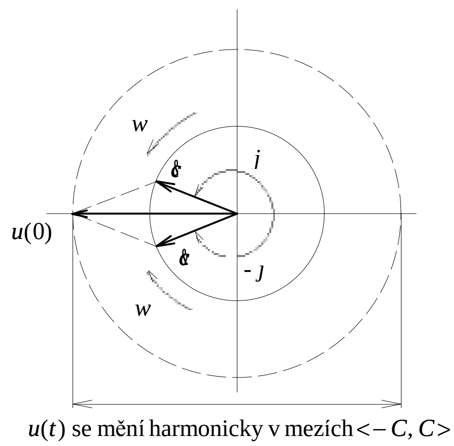
Součtem harmonických signálů o stejných kmitočtech je opět harmonický signál o tomtéž kmitočtu.

r 1.7. Vyjádřete signál z př.1.6 dvojicí proti sobě rotujících vektorů.

þ *Řešení*:

$$u(t) = C\cos(w\,t + j\,) = \underbrace{\frac{C}{2}e^{jj}}_{\&}e^{jw\,t} + \underbrace{\frac{C}{2}e^{-jj}}_{\&^*}e^{-jw\,t} \doteq 2{,}693e^{j201{,}8°}e^{jw\,t} + 2{,}693e^{-j201{,}8°}e^{-jw\,t}\,[\mathrm{V}].$$





Obr.1.6. Vektorové vyjádření harmonického signálu.

Obr.1.7. Vztah rotujících vektorů a okamžité hodnoty.

1.8. Vyřešte př.1.6 s využitím komplexních koeficientů $\hat{c}$.

Řešení:

signál	koeficient $\hat{c}$
$2\sin\omega t = 2\cos(\omega t - 90°)$ ⟶	$\frac{2}{2}e^{-j90°} = -j$
$5\cos\omega t$ ⟶	$\frac{5}{2}e^{j0°} = 2{,}5$
$2\sin\omega\ t - 5\cos\omega t \doteq$ $\doteq 2.2{,}693\cos(\omega t + 201{,}8°) \doteq 5{,}385\cos(\omega t + 201{,}8°)[\mathrm{V}]$	$-j - 2{,}5 \doteq 2{,}693e^{j201{,}8°}$ ⟵

1.9. Nakreslete spektrum amplitud a fází harmonického signálu z př.1.6

$$u(t) = 2\sin\omega t - 5\cos\omega t \doteq 5{,}385\cos(\omega t + 201{,}8°)[\mathrm{V}].$$

Řešení:

$\hat{c}_1 = 2{,}693e^{j201{,}8°}[\mathrm{V}] \Rightarrow |\hat{c}_1| = c_1 = 2{,}693\mathrm{V}$, $\varphi_1 = 201{,}8°$, ostatní koeficienty jsou nulové.

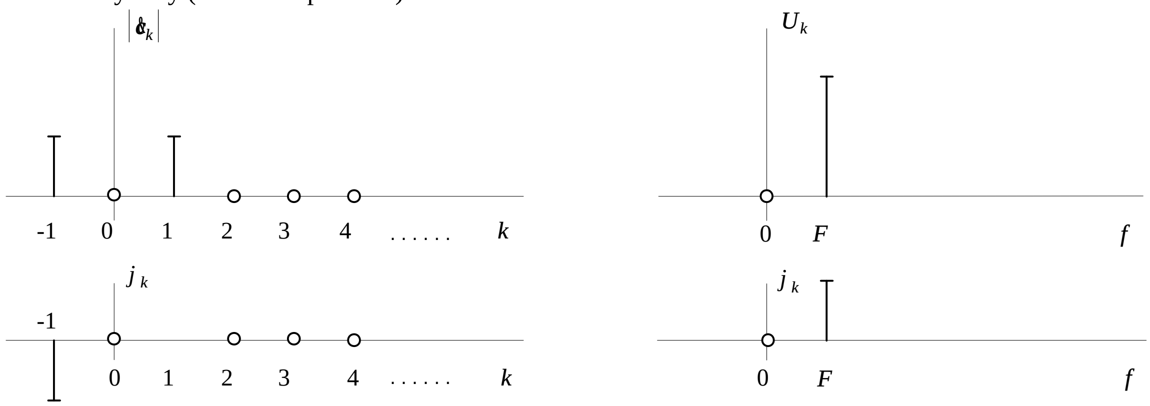
Stejnosměrná složka je nulová: $U_0 = 0\,\mathrm{V}$.

Amplituda 1.harmonické složky: $U_1 = 2c_1 = 5{,}358\,\mathrm{V}$.

Fáze 1.harmonické složky: $\varphi_1 = \arg(\hat{c}_1) = 201{,}8°$.

Grafické znázornění koeficientů Fourierovy řady (toto není spektrum)

Spektrum amplitud a počátečních fází



Obr.1.8. Koeficienty Fourierovy řady a spektrum.

<u>*Poznatky z příkladu*</u>:

a) *Koeficienty Fourierovy řady* $\hat{c}_k$ *jsou jen prostředkem k výpočtu harmonických složek signálu. Přepočet je jednoduchý:*

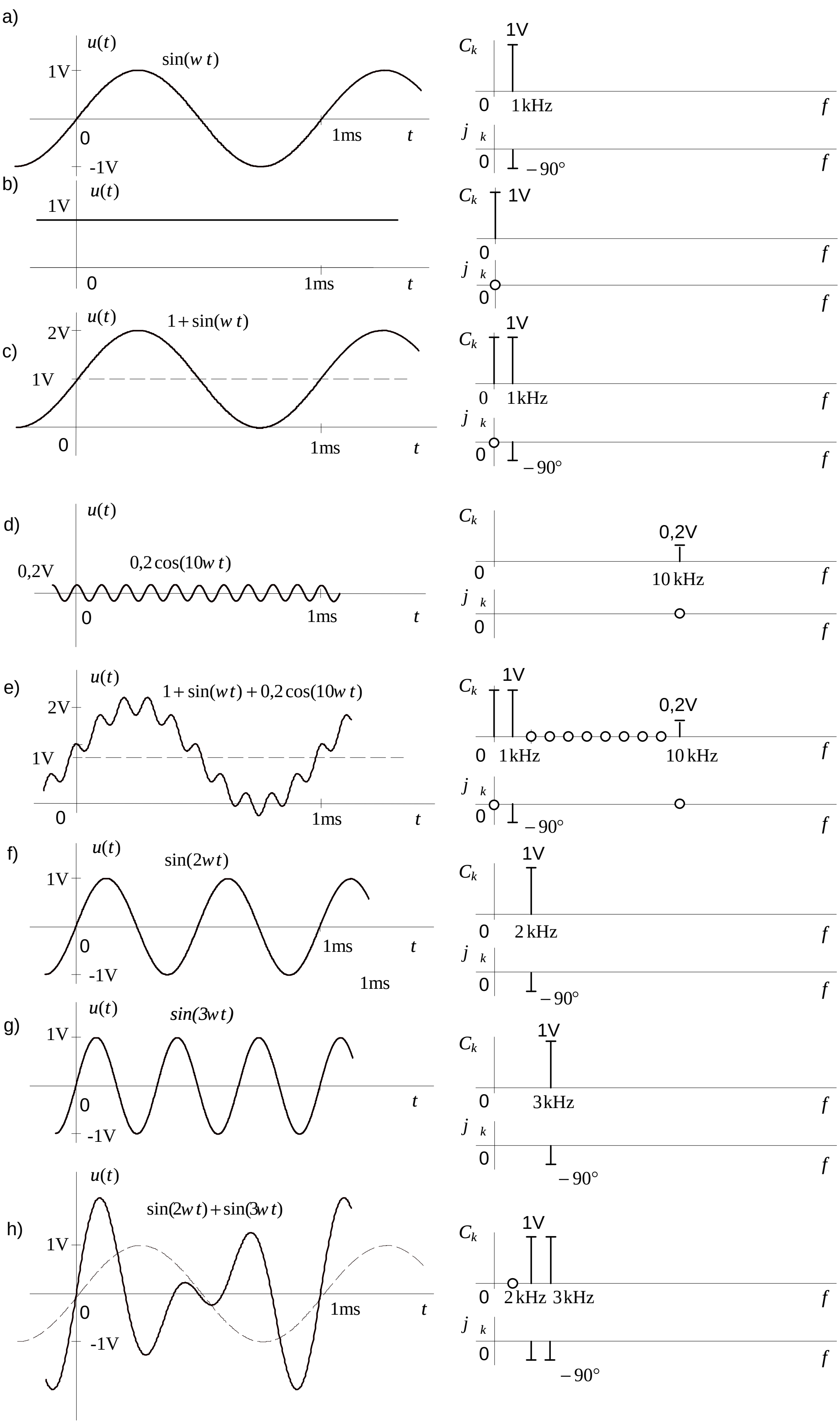
Stejnosměrná složka = $|\hat{c}_0| = c_0$;

Amplituda k-té harmonické = $2|\hat{c}_k| = 2c_k$, $k > 0$;

Počáteční fáze k-té harmonické = $\arg(\hat{c}_k)$.

Koeficienty $\hat{c}_k$ *jsou formálně definovány i pro k* < 0. *Pak platí*

$$\hat{c}_{-k} = \hat{c}_k^*.$$



Obr.1.9. Příklady periodických signálů a jejich spekter.

b) *Signál z příkladu se skládá z jediné harmonické složky (jedna dvojice čar), je to tedy jednoduchý harmonický signál.*

c) *Kmitočet harmonického signálu je dán polohou spektrálních čar na kmitočtové ose. „Pomalejší“, resp. „rychlejší“ signály budou mít spektrální čáry umístěny blíže, resp. dále od počátku.*

d) *Výška amplitudové spektrální čáry přímo udává velikost amplitudy signálu.*

e) *Souřadnice j fázové spektrální čáry přímo udává velikost počáteční fáze signálu.*

Spektrální reprezentace signálu je univerzální v tom, že ji lze rozšířit i na neharmonické signály. Skládá-li se signál z více harmonických složek, můžeme ze spektra zjistit jejich počet a informace o jejich parametrech.

r **1.10.** Načrtněte spektra amplitud a fází signálů na obr.1.9.

þ ***Řešení***:

Viz obr.1.9.

& ***Poznatek z příkladu***:

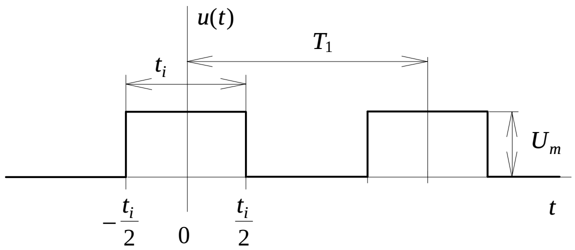
Skládá-li se periodický signál z harmonických složek na kmitočtech F_1 a F_2, pak opakovací kmitočet signálu F musí vyhovovat rovnici

$$F_1 = k_1 F,\ F_2 = k_2 F,\ k_1 \text{ a } k_2 \text{ jsou přirozená čísla.}$$

Opakovací kmitočet se pak určí z dané rovnice pro nejmenší možná čísla k_1 a k_2, která ještě rovnici vyhovují.

Pokud není možné nalézt číslo F pro žádnou kombinaci přirozených čísel k_1 a k_2, není výsledný signál periodický (je kvaziperiodický).

r **1.11.** Načrtněte amplitudové a fázové spektrum periodického sledu obdélníkových impulsů na obr.1.10.



Obr.1.10. Analyzovaný periodický signál.

þ ***Řešení***:

a) Nalezení koeficientů Fourierovy řady.
b) Výpočet amplitud a fází harmonických složek.
c) Náčrt spektra.

ad a) <u>Nalezení koeficientů Fourierovy řady</u>

Signál je sudá funkce času ⇒ bude obsahovat pouze kosinové složky ⇒ $B_k = 0\ \forall\, k$, $A_k = C_k$, &$_k = A_k/2$.

$$A_0 = C_0 = \frac{2}{T_1}\int_{T_1} u(t)\,dt = \frac{2}{T_1}\int_{-t_i/2}^{+t_i/2} U_{\max}\,dt = 2U_{\max}\frac{t_i}{T_1} \quad \Rightarrow$$

stejnosměrná složka $U_0 = \dfrac{A_0}{2} = U_{\max}\dfrac{t_i}{T_1}$.

$k > 0$:

$$A_k = \frac{2}{T_1}\int_{T_1} u(t)\cos kW_1 t\,dt = \frac{2}{T_1}\int_{-t_i/2}^{t_i/2} U_{\max}\cos kW_1 t\,dt = \frac{2U_{\max}}{kW_1 T_1}\sin\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right) = \frac{2U_{\max}t_i}{T_1}\,\frac{\sin\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right)}{\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right)}.$$

Obecně

$$A_k = C_k = \frac{2U_{\max}t_i}{T_1}\operatorname{sinc}\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right),\ \dot{c}_k = \frac{U_{\max}t_i}{T_1}\operatorname{sinc}\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right),\ k = 0,1,2,..,$$

kde

$$\operatorname{sinc}(\ ) = \begin{cases} \dfrac{\sin(\ )}{(\ )} & \text{pro } (\ ) \neq 0 \\ 1 & \text{pro } (\ ) = 0 \end{cases} \quad \text{je tzv. vzorkovací funkce.}$$

ad b) <u>Výpočet amplitud a fází harmonických složek</u>

Stejnosměrná složka $U_0 = \dfrac{A_0}{2} = c_0 = U_{\max}\dfrac{t_i}{T_1}$.

Amplituda k-té harmonické $U_k = \left|A_k\right| = 2\left|\dot{c}_k\right| = \dfrac{2U_{\max}t_i}{T_1}\left|\operatorname{sinc}\left(kW_1\dfrac{t_i}{2}\right)\right|$.

Fáze k-té harmonické $j_k = \begin{cases} 0 \text{ pro } \sin\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right) > 0, \\ p \text{ pro } \sin\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right) < 0, \\ \text{libovolná pro } \sin\left(kW_1\frac{t_i}{2}\right) = 0. \end{cases}$

ad c) <u>Náčrt spektra</u> - viz obr.1.11.

& ***<u>Poznatky z příkladu</u>*:**

a) *Spektrální čáry obdélníkového signálu z příkladu pro obecný poměr T_1/t_i získáme takto:*

<u>Amplitudové spektrum</u>

- *Vypočteme* $1/t_i$ [Hz] *a získáme kmitočet, kdy obálka spektrálních čar typu* $|\operatorname{sinc}(x)|$ *poprvé projde nulou.*
- *Vypočteme* $2U_{\max}t_i/T_1$ [V] *a získáme maximální souřadnici obálky pro kmitočet* $f = 0$.
- *Načrtneme obálku* $|\operatorname{sinc}(x)|$ *spektrálních složek. Maximum 2. laloku je asi 21% maxima 1.laloku (viz obrázek amplitudového spektra).*
- *Na kmitočtovou osu vyneseme značky na kmitočtech* F_1, $2F_1$, $3F_1$, .., *kde* $F_1 = 1/T_1$ *je kmitočet 1.harmonické složky.*
- *Značky protáhneme až k obálce (výjimka - stejnosměrná složka je jen do poloviny cesty k obálce) a získáme spektrální čáry amplitudového spektra.*

<u>Fázové spektrum</u>

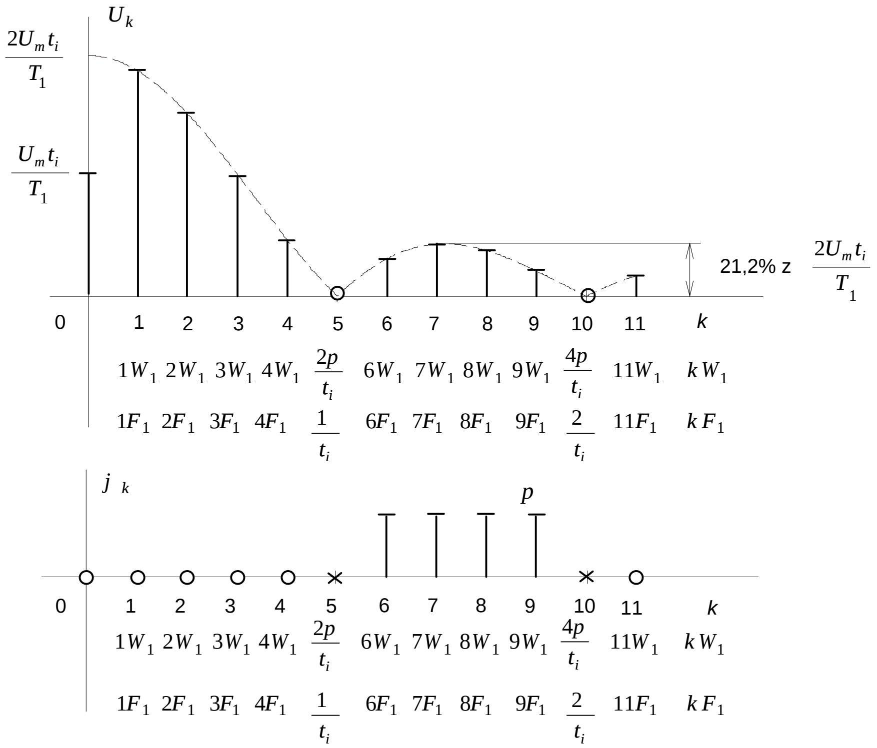
- *Fáze je buď* 0 *nebo* $\pm p$ rad ($\pm 180°$) *podle toho, jak se střídají laloky, v nichž se spektrální čáry nacházejí. Je-li některá z harmonických nulová, pak nemá smysl hovořit o fázi spektrální* *složky, která neexistuje. Proto ve fázovém spektru použijeme speciální znak, např.* x.

Uvedený postup náčrtu spektra musí být mírně modifikován, bude-li obdélníkový signál z příkladu posunut ze základní polohy v hodnotách nebo v čase.

b) Je-li poměr opakovací periody a šířky impulsu celé číslo, t.j.

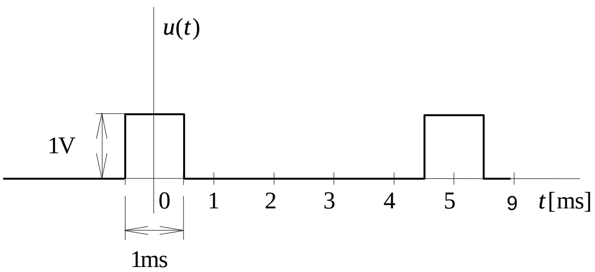
$$\frac{T_1}{t_i} = n\,,$$

pak ve spektru vymizí každá n-tá harmonická. Toho lze využít k přesnému nastavování šířky impulsu pomocí spektrálního analyzátoru.



Obr.1.11. Spektrum amplitud a počátečních fází obdélníkového signálu z obr.1.10 pro $T_1/t_i = 5$.

r 1.12. Vypočtěte amplitudy a počáteční fáze prvních 10 harmonických složek signálu na obr.1.12.



Obr.1.12. Analyzovaný periodický signál.

þ ***Řešení*:**

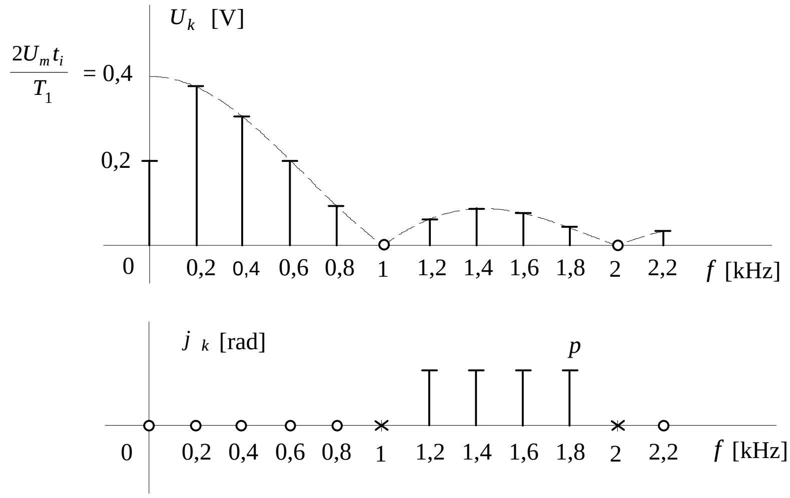
$$U_m = 1\text{V},\ t_i = 1\text{ms},\ T_1 = 5\,\text{ms} \Rightarrow F_1 = \frac{1}{T_1} = 200\,\text{Hz};\ W_1 = 2pF_1 = \frac{2p}{T_1};$$

$T_1/t_i = 5 \Rightarrow$ ve spektru vymizí 5.harmonická složka a její celočíselné násobky;
stejnosměrná složka: $U_0 = U_m t_i / T_1 = 0{,}2\text{V}$;

$$\dot{C}_k = \frac{U_m t_i}{T_1}\,\mathrm{sinc}\left(k\Omega_1 \frac{t_i}{2}\right) = 0{,}2\,\mathrm{sinc}\left(k\frac{2\pi}{T_1}\frac{t_i}{2}\right) = 0{,}2\,\mathrm{sinc}\left(k0{,}2\pi\right);$$

$$U_0 = C_0,\quad U_k = 2\left|\dot{C}_k\right|,\quad k > 0.$$

k	$\dot{C}_k\,[\text{V}]$	$\lvert\dot{C}_k\rvert\,[\text{V}]$	$\arg\left(\dot{C}_k\right) = \varphi_k\,[\text{rad}]$	$U_k\,[\text{V}]$
0	0,2	0,2	0	0,2
1	0,1871	0,1871	0	0,3742
2	0,1514	0,1514	0	0,3027
3	0,1009	0,1009	0	0,2018
4	0,0468	0,0468	0	0,0935
5	0	0	x	0
6	-0,03118	0,03118	π	0,06237
7	-0,04325	0,04325	π	0,04649
8	-0,03784	0,03784	π	0,07568
9	-0,02079	0,02079	π	0,04158
10	0	0	x	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$



Obr.1.13. Spektrum signálu z obr.1.12.

1.13. Vypočtěte efektivní hodnotu signálu z př.1.12, soustředěnou v kmitočtovém pásmu a) 0 ÷ 1kHz, b) 1 ÷ 2kHz, c) 0 ÷ 2kHz, d) 0 ÷ ∞Hz.

Řešení:

Použijeme Parsevalův teorém.

a) $$U_{ef,0\div 1} = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}{2}} \doteq 0{,}4249\,\text{V},$$

b) $$U_{ef,1\div 2} = \sqrt{\frac{U_5^2 + U_6^2 + U_7^2 + U_8^2}{2}} \doteq 0{,}09702\,\text{V} \approx 22{,}8\%\ \text{z}\ U_{ef,0\div 1}\quad (21{,}8\%\ \text{z}\ U_{ef}),$$

c) $U_{ef,0\div2} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{1}^{9} \frac{U_k^2}{2}} = \sqrt{U_{ef,0\div1}^2 + U_{ef,1\div2}^2} \doteq 0{,}43586\,\mathrm{V}$,

d) $U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T u^2(t)dt} = \sqrt{\frac{1}{5.10^{-3}}\int_{-0{,}5.10^{-3}}^{0{,}5.10^{-3}} 1^2\,dt} = \sqrt{\frac{10^{-3}}{5.10^{-3}}} \doteq 0{,}4472\ \mathrm{V}$,

Jinak $U_{ef} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{1}^{\infty} \frac{U_k^2}{2}}$, neznáme další harmonické, proto

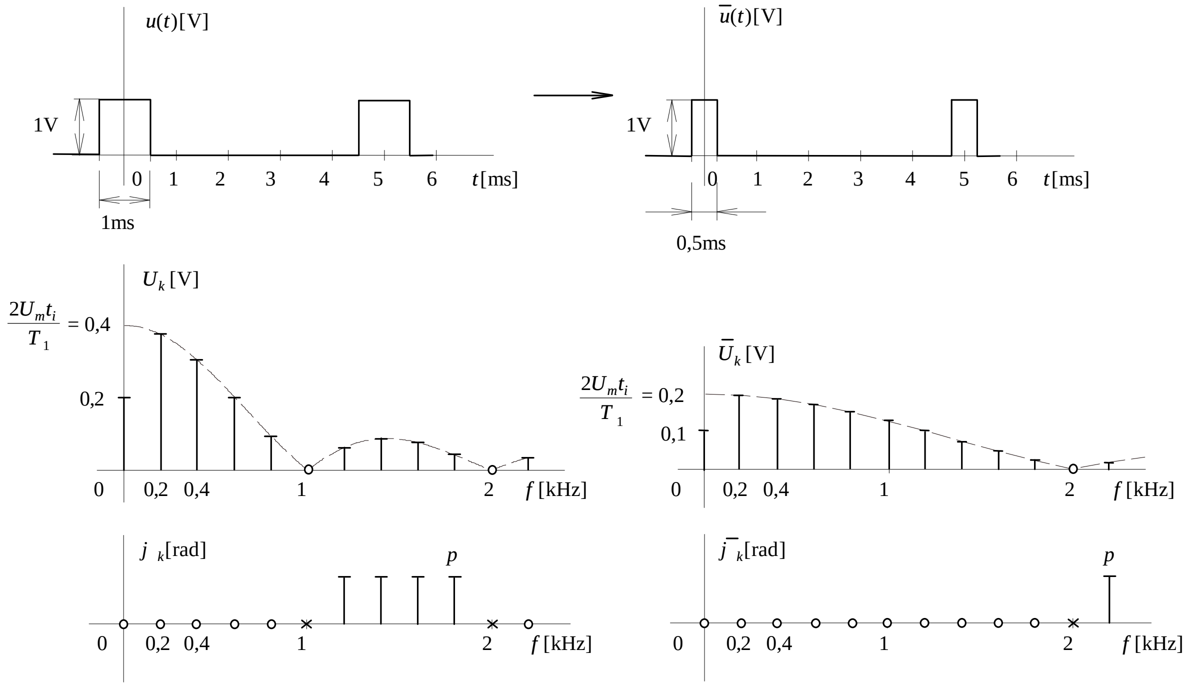
& ***Poznatky z příkladu***:

V 1. *laloku spektra, tj. do kmitočtu* $1/t_i$, *je soustředěno asi* 95% *výkonu celého signálu. Chceme-li sdělovací soustavou přenést obdélníkový signál bez podstatného zkreslení, musí být soustava schopna přenést na svůj výstup co nejvíce spektrálních složek bez útlumu, alespoň do kmitočtu* $1/t_i$.

r **1.14.** Co se stane se spektrem signálu z obr.1.12, zúží-li se šířka impulsu na 1/2?

þ ***Řešení***:

Viz obr.1.14



Obr.1.14. Vliv zúžení impulsů na spektrum.

& ***Poznatky z příkladu***:

a) Při zužování impulsů roste šířka 1.*laloku* $1/t_i$, *spektrální čáry zanikají pozvolněji. Jsou menší než u širších impulsů, protože v užších impulsech je soustředěn menší výkon.*

b) Obvod přenášející úzké impulsy musí být schopen přenášet bez útlumu vyšší spektrální složky než při zpracování širších impulsů.

c) Obecná zákonitost: krátké impulsy - široké spektrum.

<u>Poznámka</u>: v příkladu 1.19 provedeme upřesnění posledního tvrzení.