Analýza obvodů s neharmonickými zdroji

Budeme se zabývat řešením ustáleného stavu v obvodech se zdroji napětí resp. proudů, jejichž průběh je dán **periodicky proměnnou funkcí** (dosud jsme se zabývali analýzou ustáleného stavu v obvodech s harmonickými zdroji, k řešení jsme používali SKM). V praxi se velmi často vyskytují případy, kdy kromě základní harmonické obsahují napětí a proudy ještě další harmonické.

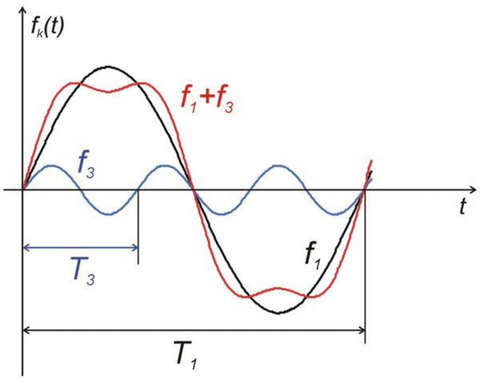
Příčiny neharmonických průběhů:

- vlivem nelinearit dochází ke zkreslení harmonických průběhů, (např. cívky s feromagnetickým jádrem protékané harmonickým proudem mohou mít průběh napětí neharmonický)
- polovodičové prvky v obvodech (tyristory produkují částečně „ořezané“ sinusovky ap.)
- ve sdělovací technice se často používají signály ve tvaru pilových pulsů, obdélníkových kmitů ap.

K řešení obvodů s neharmonickými zdroji se používá metoda založená na **rozkladu periodické funkce do Fourierovy řady.**

Každou periodickou funkci s periodou T lze rozložit na jednotlivé harmonické s **periodou $T_k = T/k$** a **úhlovou frekvencí $\omega_k = k\,\omega$**

obecně platí $$f(t)=\sum_{k=1}^{\infty} f_k(t)$$



$$k=1 \qquad \omega_1=\frac{2\pi}{T_1} \qquad T_1=T$$

$$k=3 \qquad \omega_3=3\omega_1=\frac{6\pi}{T_1} \qquad T_3=\frac{T}{3}$$

<u>Fourierův rozvoj periodické funkce f(t)</u>

$$f(t)=\frac{a_0}{2}+\sum_{k=1}^{\infty}\left(a_k\cos k\omega t+b_k\sin k\omega t\right) \qquad (1)$$

kde koeficienty a_k a b_k vypočteme podle vztahů

$$a_0=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\mathrm{d}t \qquad a_k=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos k\omega t\,\mathrm{d}t \qquad k=1,2,3,\ldots$$

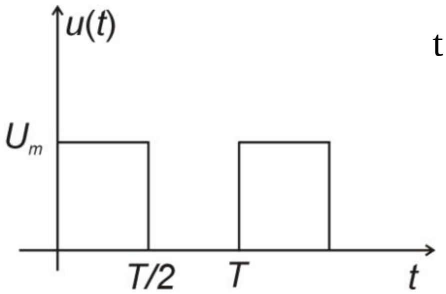
$$b_k=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin k\omega t\,\mathrm{d}t \qquad k=1,2,3,\ldots$$

Rozklad podle rov. (1) je výhodný pro funkce s jistou symetrií (liché, sudé nebo střídavé funkce). Na základě vlastností funkce f(t) lze snadno určit, které Fourierovy koeficienty jsou nulové:

jeli **funkce f(t) lichá** $\Rightarrow$ $a_k = 0$, k=1,2,... Fourierova řada nebude obsahovat kosinové členy
jeli **funkce f(t) sudá** $\Rightarrow$ $b_k = 0$, k=1,2,.. Fourierova řada nebude obsahovat sinové členy
jeli **funkce f(t) střídavá** $\Rightarrow$ střední hodnota je nulová čili Fourierův koeficient $a_0 = 0$

Příklad:

Určete Fourierovy koeficienty a_k, b_k, je-li funkce f(t) ve tvaru obdélníkových pulsů



$$t \in \langle 0, T \rangle$$

$$f(t) = U_m \qquad t \in \left\langle 0, \frac{T}{2} \right\rangle$$

$$f(t) = 0 \qquad t \in \left\langle \frac{T}{2}, T \right\rangle$$

$$a_0 = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} U_m dt = U_m \qquad a_k = 0 \qquad k = 1,2,\ldots \text{ funkce lichá}$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} U_m \sin k\omega t\, dt = \frac{2U_m}{T}\left[-\frac{\cos k\omega t}{k\omega}\right]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{U_m}{k\pi}(1 - \cos k\pi)$$

Odtud plyne: pro $k = 2,4,6,\ldots$ je $\cos k\pi = 1$ čili $b_k = 0$

pro $k = 1,3,5,\ldots$ je $\cos k\pi = -1$ $b_k = \frac{2U_m}{k\pi}$

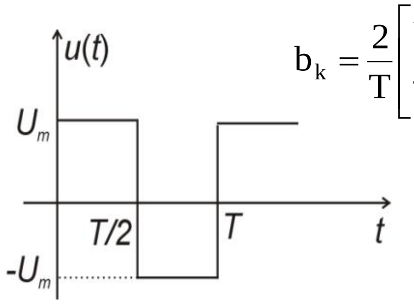
Fourierův rozvoj funkce $f(t)$ bude

$$f(t) = \frac{U_m}{2} + \sum_{k=1,3,5,\ldots} \frac{2Um}{\pi}\,\frac{\sin k\omega t}{k} = \frac{U_m}{2} + \frac{2U_m}{\pi}\left(\sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \ldots\right)$$

Příklad:

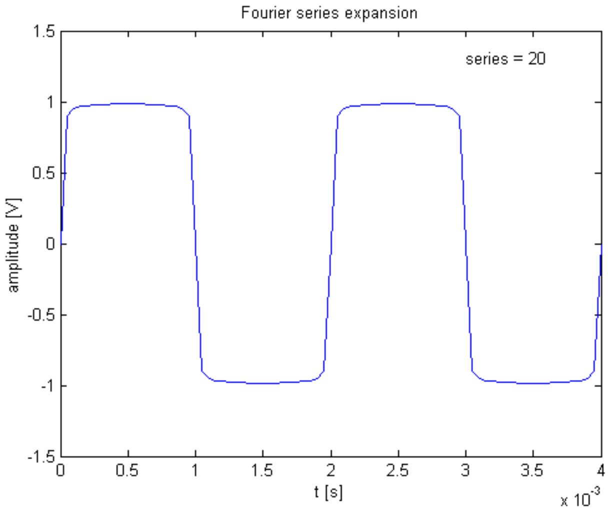
Má-li funkce $u(t)$ tvar obdélníkových kmitů, čili je střídavá (s nulovou střední hodnotou a lichá), platí $a_0 = 0$ $a_k = 0$

$$b_k = \frac{2}{T}\left[\int_0^{\frac{T}{2}} U_m \sin k\omega t\, dt - \int_{\frac{T}{2}}^{T} U_m \sin k\omega t\, dt\right] = \frac{4U_m}{k\pi} \qquad k = 1,3,5,\ldots$$



$$u(t) = \frac{4U_m}{\pi}\left(\sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \ldots\right)$$

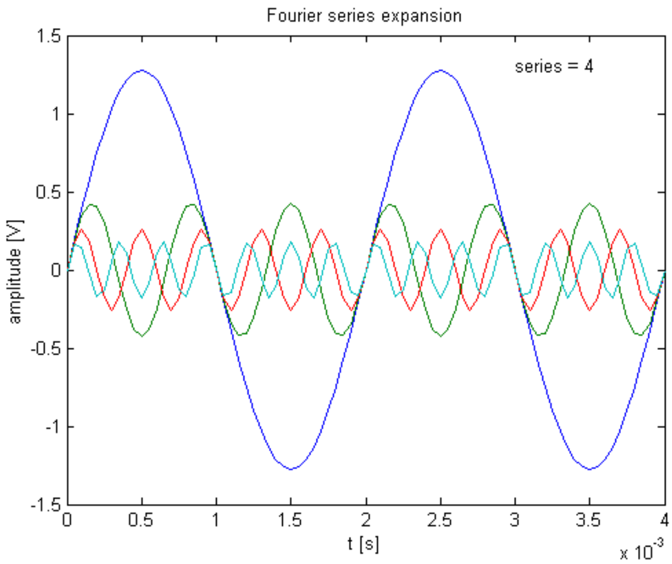
Příklad: rozklad obdélníkový kmitů na jednotlivé harmonické



Fourierův rozvoj

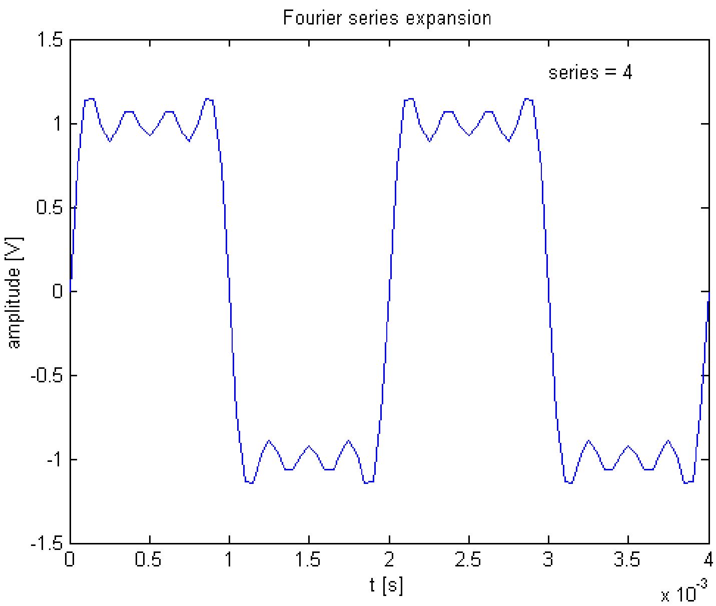
$$\boxed{g(t)=\frac{4}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)}\boldsymbol{sin}\left[(2n-1)2\pi\, f_0\, t\right]}$$

$$g(t)=\frac{4}{\pi}\sin\left[\,2\pi\ f_0\ t\right]+\frac{4}{3\pi}\sin\left[\,6\pi\ f_0\ t\right]+\frac{4}{5\pi}\sin\left[\,10\pi\ f_0\ t\right]+\frac{4}{7\pi}\sin\left[\,14\pi\ f_0\ t\right]$$



Časové průběhy 1., 3., 5. a 7. harmonické

Součet 1., 3., 5. a 7. harmonické

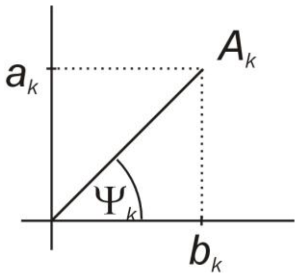


Periodickou funkci f(t) lze rozložit do řady obsahující pouze funkce sin nebo cos, tento rozklad používáme tehdy, chceme-li **obsah harmonických vyjádřit pomocí amplitudového spektra**

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega t + \psi_k)$$

vztah mezi koeficientem A_k a Fourierovými koeficienty a_k, b_k

$$A_0 = \frac{a_0}{2} \qquad \underbrace{A_k \cos\psi_k}_{b_k} \sin k\omega t + \underbrace{A_k \sin\psi_k}_{a_k} \cos k\omega t$$



$$A_k^{\,2} = a_k^{\,2} + b_k^{\,2} \qquad tg\,\psi_k = \frac{a_k}{b_k}$$

Příklad:
Stanovte amplitudové spektrum pro obdélníkové kmity:

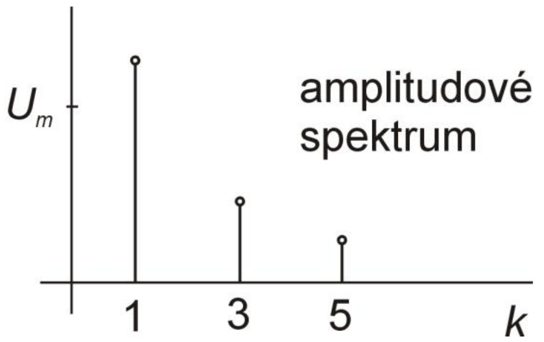
odvodili jsme $u(\mathrm{t}) = \dfrac{4\mathrm{U_m}}{\pi}\left(\sin \omega \mathrm{t} + \dfrac{\sin 3\omega \mathrm{t}}{3} + \dfrac{\sin 5\omega \mathrm{t}}{5} + \ldots\right)$

$$a_0 = 0 \qquad a_k = 0 \;\Rightarrow\; \psi_k = 0 \qquad A_k = b_k$$

$k = 1$ $\qquad A_1 = \dfrac{4U_m}{\pi} = 1{,}274\,U_m$

$k = 3$ $\qquad A_3 = \dfrac{A_1}{3} = 0{,}424\,U_m$

$k = 5$ $\qquad A_5 = \dfrac{A_1}{5} = 0{,}254\,U_m$



Vyšší harmonické mají zpravidla menší amplitudu, obvykle platí $\qquad A_k \sim \dfrac{A_1}{k}$

(tzv. **k zákon**)

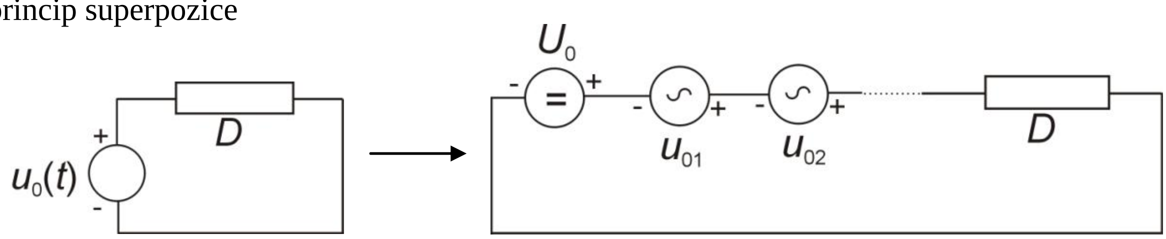
Jestliže známe Fourierův rozvoj periodicky proměnného napětí zdroje, lze k řešení obvodu využít SKM.

Postup pro řešení obvodů s neharmonickými zdroji v ustáleném stavu:

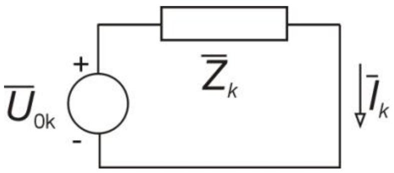
1. budící veličinu rozložíme na jednotlivé harmonické
2. pro každou harmonickou provedeme řešení pomocí SKM
3. k fázoru každé harmonické nalezneme okamžitou hodnotu
4. okamžitá hodnota hledané veličiny je dána součtem okamžitých hodnot jednotlivých harmonických

Pozor!! Nelze sčítat fázory jednotlivých harmonických, sčítat lze pouze okamžité hodnoty

Naznačený postup lze vyjádřit následovně – zdroj $u_0(t)$ nahradíme zdroji u_{0k} a použijeme princip superpozice



pro *k*-tou harmonickou řešíme obvod

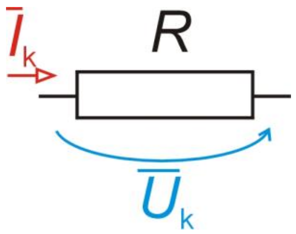


$\overline{Z_k}$ impedance dvojpólu D pro *k*-tou harmonickou

$$\overline{I_k} = \frac{\overline{U_{0k}}}{\overline{Z_k}} \rightarrow \quad i_k(t) = \sqrt{2} I_k \sin\left(k\omega t + \psi_k\right)$$

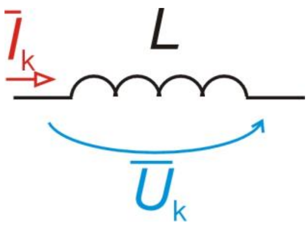
$$i(t) = I0 + \sum_{k=1}^{\infty} i_k(t)$$

Hodnoty pasivních prvků pro jednotlivé harmonické



$$\overline{U_k} = R\overline{I_k}$$

R zachovává svoji hodnotu pro všechny harmonické



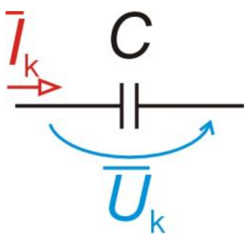
$$\overline{I_k} = \frac{\overline{U_k}}{jk\omega L}$$

$$X_{Lk} = k\omega L$$

$$k \uparrow \quad \overline{I_k} \downarrow$$

induktivní reaktance se pro vyšší harmonické zvětšuje, cívka tlumí vyšší harmonické

$k = 0$	$\overline{Z_{L0}} = 0$	zkrat
$k \rightarrow \infty$	$\overline{Z_{L\infty}} \rightarrow \infty$	rozpojená větev



$$\overline{I_k} = jk\omega C\overline{U_k}$$

$$X_{Ck} = \frac{-1}{k\omega C}$$

$$k \uparrow \quad \overline{I_k} \uparrow$$

proud kapacitorem pro vyšší harmonické roste

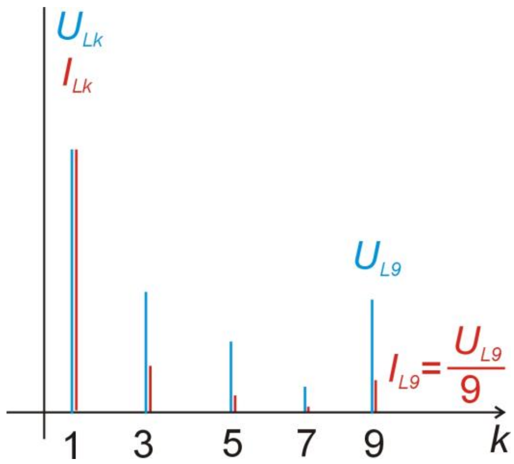
$k = 0$	$\overline{Z_{C0}} \rightarrow \infty$	rozpojená větev
$k \rightarrow \infty$	$\overline{Z_{C\infty}} = 0$	zkrat

Příklad:

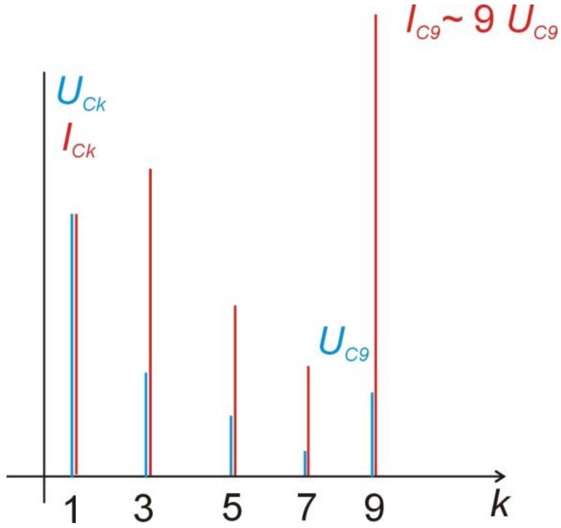
Nakreslete amplitudové spektrum napětí a určete amplitudové spektrum proudu pro

a) induktor, je-li $X_{L1} = 1\ \Omega$

b) kapacitor, je-li $X_{C1} = -1\ \Omega$



induktor tlumí vyšší harmonické



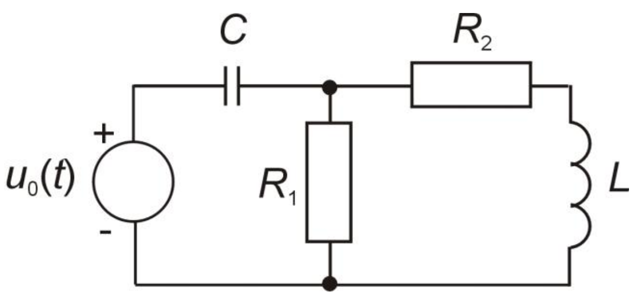
kapacitor vyšší harmonické zvýrazňuje

Příklad:

Určete proud, který do obvodu dodává zdroj neharmonického napětí

$$u_0(t) = 100 + 50\sqrt{2}\sin\omega t + 10\sqrt{2}\sin(3\omega t + 30°) \quad [\mathrm{V}]$$

$$\mathrm{f} = 50\ \mathrm{Hz},\ \mathrm{C} = 300\ \mu\mathrm{F},\ \mathrm{L} = 10\ \mathrm{mH},\ \mathrm{R}_1 = 5\ \Omega,\ \mathrm{R}_2 = 3\ \Omega$$



ss složka: $U_0 = 100\ \mathrm{V},\ I_0 = 0\ \mathrm{A}$

(C – rozpojená větev)

$$\overline{Z_k} = \frac{1}{jk\omega C} + \frac{R_1(R_2 + jk\omega L)}{R_1 + R_2 + jk\omega L}$$

$k = 1$

$$\overline{Z_1} = 9{,}82\angle{-76{,}5°} \quad [\Omega] \qquad \overline{I_1} = \frac{\overline{U_{01}}}{\overline{Z_1}} = \frac{50}{9{,}82}\angle 76{,}5° \quad [\mathrm{A}]$$

$$i_1(t) = 5{,}1\sqrt{2}\sin(\omega t + 76{,}5°) \quad [\mathrm{A}]$$

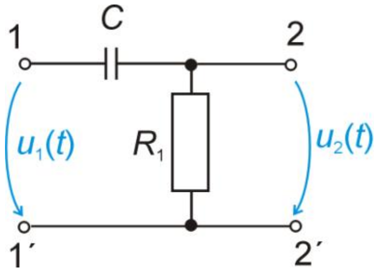
$k = 3$

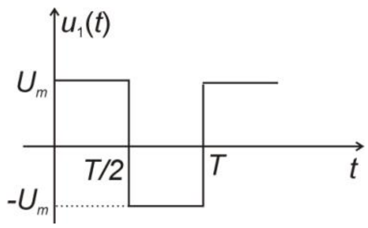
$$\overline{Z_3} = 4{,}2\angle 28{,}5° \quad [\Omega] \qquad \overline{I_3} = \frac{\overline{U_{03}}}{\overline{Z_3}} = \frac{10\angle 30°}{4{,}2\angle 28{,}5°} = 2{,}4\angle 1{,}5° \quad [\mathrm{A}]$$

$$i_3(t) = 2{,}4\sqrt{2}\sin(3\omega t + 1{,}5°) \quad [\mathrm{A}]$$

$$i(t) = 5{,}1\sqrt{2}\sin(\omega t + 76{,}5°) + 2{,}4\sqrt{2}\sin(3\omega t + 1{,}5°) \quad [\mathrm{A}]$$

Příklad:
Určete časový průběh napětí u2(t) na svorkách 2-2´, je-li na vstupní svorkym1-1´připojen zdroj obdélníkových kmitů.





$R = 10\ \mathrm{k\Omega}$
$C = 1\ \mathrm{\mu F}$
$U_m = 100\ \mathrm{V}$
$T = 0{,}02\ \mathrm{s}$

Fourierův rozvoj $u_1(\mathrm{t}) = \dfrac{4\mathrm{U_m}}{\pi}\left(\sin\omega\mathrm{t} + \dfrac{\sin 3\omega\mathrm{t}}{3} + \dfrac{\sin 5\omega\mathrm{t}}{5} + \ldots\right)$

pro *k*-tou harmonickou platí $\overline{U_{2k}} = \overline{U_{1k}}\dfrac{R}{R + \frac{1}{jk\omega C}} = \overline{U_{1k}}\dfrac{jk\omega RC}{1 + jk\omega RC}$

$k = 1 \qquad \overline{U_{21}} = 121{,}6\angle 17{,}7° \quad [\mathrm{V}]$

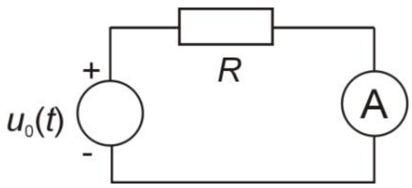
$k = 3 \qquad \overline{U_{23}} = 42{,}2\angle 6{,}1° \quad [\mathrm{V}]$

$k = 5 \qquad \overline{U_{25}} = 26{,}7\angle 0{,}5° \quad [\mathrm{V}]$

$$u_2(t) = 121{,}6\sin(\omega t + 17{,}7°) + 42{,}2\sin(3\omega t + 6{,}1°) + 26{,}7\sin(5\omega t + 0{,}5°) + \cdots \quad [\mathrm{V}]$$

Příklad:
Stanovte činný výkon dodaný zdrojem do obvodu, jakou hodnotu udává ampérmetr?

$u_0(t) = 100 + 50\sqrt{2}\sin\omega t + 20\sqrt{2}\sin 3\omega t + 5\sqrt{2}\sin 5\omega t\ [\mathrm{V}];\quad R = 10\ \Omega$



Nejprve určíme proud a činný výkon pro každou harmonickou $I_k = \dfrac{U_{0k}}{R},\ P_k = RI_k^{\,2}$

$I_0 = 10\ \mathrm{A} \quad P_0 = 1000\ \mathrm{W} \qquad I_3 = 2\ \mathrm{A} \quad P_3 = 40\ W$

$I_1 = 5\ \mathrm{A} \quad P_1 = 250\ \mathrm{W} \qquad I_5 = 0{,}5\ \mathrm{A} \quad P_5 = 2{,}5\ \mathrm{W}$

tepelné účinky proudu (činný výkon) se sčítají $P = \sum P_i = 1295{,}5\ \mathrm{W}$

Činný výkon dodaný do resistoru odpovídá tepelným účinkům proudu, které lze vyjádřit pomocí efektivní hodnoty proudu

$$P = R\left(I_0^{\,2} + I_1^{\,2} + I_3^{\,2} + I_5^{\,2}\right) = RI^2 \qquad \Rightarrow \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 11{,}37\ \mathrm{A}$$

Odtud dostaneme vztah $I = \sqrt{I_0^{\,2} + \sum_{i=1}^{\infty} I_i^{\,2}} = \sqrt{I_0^{\,2} + \dfrac{1}{2}\sum_{i=1}^{\infty} I_{mi}^2}$

efektivní hodnota periodického proudu je rovna odmocnině ze součtu čtverců efektivních hodnot jednotlivých harmonických včetně stejnosměrné složky

Příklad:
Určete efektivní hodnotu napětí U_2 z předchozího příkladu

$$U = \sqrt{U_0{}^2 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{\infty} U_{mi}^2} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(121{,}6^2 + 42{,}2^2 + 26{,}7^2\right)} = 92{,}8\ \mathrm{V}$$

Poznámka:
Jsou-li v obvodu induktory a kapacitory, mění se hodnota impedance obvodu pro jednotlivé harmonické, pro některou může nastat rezonance. Vyšetřováním chování obvodu pro různé harmonické je předmětem ***frekvenční analýzy****.*

Výpočet výkonů v obvodech s neharmonickými průběhy

Pro každou harmonickou vypočteme činný a jalový výkon podobně jako v obvodech s harmonickými zdroji, tj. buď z efektivních hodnot napětí a proudu s přihlédnutím k jejich fázovému posunu nebo pomocí komplexního zdánlivého výkonu.

Výsledný činný a jalový výkon pro ***n*** **harmonických** získáme součtem výkonů pro jednotlivé harmonické

činný výkon $$P = \sum_{i=0}^{n} P_i \qquad \mathrm{W} \tag{10.8}$$

jalový výkon $$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad \mathrm{VAr} \tag{10.9}$$

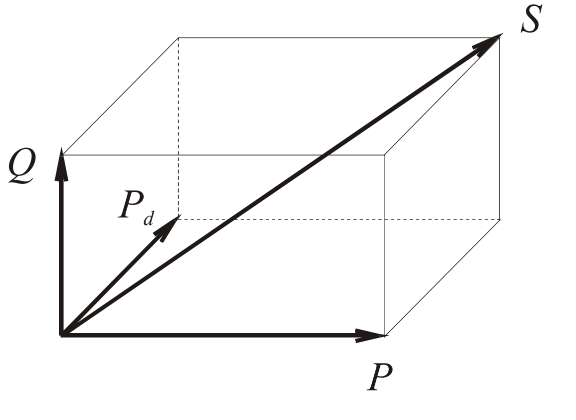
Zdánlivý výkon je definován jako součin efektivní hodnoty napětí a proudu

$$S = UI \qquad \mathrm{VA} \tag{10.10}$$

efktivní hodnoty napětí a proudu jsou vypočtené podle rovnice (10.5), (10.6). Jelikož pro neharmonické průběhy je $S^2 > P^2 + Q^2$, zavádíme další veličinu:

deformační výkon $$P_d = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \qquad \mathrm{VAd} \tag{10.11}$$

V obvodech s neharmonickými zdroji lze stanovit i účiník $\cos\varphi$, ten však nevyjadřuje fázový posun mezi průběhem napětí a proudu, neboť je dán poměrem velikosti činného a zdánlivého výkonu



$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \lambda \tag{10.12}$$

Graficky lze zdánlivý výkon znázornit jako tělesovou úhlopříčkou kvádru, jehož hrany vyjadřují velikost výkonu činného,jalového a deformačního.

Příklad: Vypočtěte deformační výkon zdroje, jestliže napětí zdroje je $u_0(t) = 60 + 380\sin(\omega t + 15°) + 150\sin(3\omega t - 10°) + 10\sin(5\omega t - 20°)$ V a dodávaný proud je $i(t) = 2 + 5\sin(\omega t - 15°) + 0{,}5\sin(5\omega t + 10°)$ A

Řešení:

Činný výkon: $P = 60.2 + \dfrac{380.5}{2}\cos 30^0 + \dfrac{10.0{,}5}{2}\cos\left(-30^0\right) = 944{,}89$ W

Jalový výkon: $Q = \dfrac{380.5}{2}\sin 30^0 + \dfrac{10.0{,}5}{2}\sin\left(-30^0\right) = 473{,}75$ VAr

Efektivní hodnoty napětí a proudu vypočteme Parsevalovou rovností

$$U = \sqrt{60^2 + \frac{380^2 + 150^2 + 10^2}{2}} = 295{,}13\ \text{V}\ , \qquad I = \sqrt{2^2 + \frac{5^2 + 0{,}5^2}{2}} = 4{,}08\ \text{A}$$

Z vypočtených hodnot určíme zdánlivý a deformační výkon:

$$S = UI = 1204{,}13\ \text{VA}\quad P_\text{d} = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 576{,}8\ \text{VAd}$$

Příklady k procvičení:

Určete zdánlivý výkon na dvojpólu, je-li proud $i(t) = 4 + 10\sqrt{2}\sin\omega t + 5\sin 3\omega t$ A a napětí $u(t) = 20 + 100\sqrt{2}\sin\omega t + 25\sin 3\omega t + 10\sin 5\omega t$ V.

$\boxed{S = 1176.4\ \text{V}}$

Napětí a proud na větvi obvodu se v závislosti na čase mění periodicky podle vztahů:

$u(t) = 80\sqrt{2}\sin(\omega t + 15°) + 60\sqrt{2}\sin(3\omega t - 20°)$ V ,

$i(t) = 40\sqrt{2}\sin(\omega t + 75°) + 30\sqrt{2}\sin(3\omega t + 40°)$ A .

Stanovte činný výkon větve.

$\boxed{P = 2{,}5\ \text{kV}}$

Napětí a proud na větvi obvodu se v závislosti na čase mění periodicky podle vztahů:

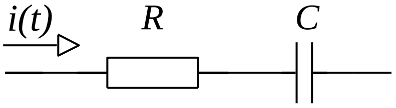
$u(t) = 80\sqrt{2}\sin(\omega t + 15°) + 60\sin(3\omega t + 20°)$ V ,

$i(t) = 40\sqrt{2}\sin(\omega t - 15°) + 40\sin(3\omega t - 70°)$ A .

Stanovte jalový výkon větve.

$\boxed{Q = 2800\ \text{VAr}}$

Impedance dvojpólu *R*, *C* je při frekvenci ω rovna $\boldsymbol{Z} = 6 - \text{j}9\ \Omega$. Stanovte činný a jalový výkon větve, jestliže $i(t) = 10\sqrt{2}\sin\omega t + \sqrt{2}\sin 3\omega t$ A.



$\boxed{P = 606\ \text{W},\ Q = -903\ \text{VAr}}$

Impedance dvojpólu *RL* je pro 3. harmonickou **Z** = 3 + j12 Ω, stanovte jalový výkon, je-li proud $i(t) = 2 + 10\sin\omega t + 5\sin(3\omega t + 30°)$ A .

$\boxed{Q = 350\ \text{VAr}}$

Souhrn

1. Periodickou neharmonickou funkci lze rozložit do Fourierovy řady jako součet stejnosměrné složky a jednotlivých harmonických vyjádřených pomocí sin a cos funkce (a_k cos kωt a b_k sin kωt). SS složka a_0 je rovna střední hodnotě periodické funkce, je nulová pro střídavé průběhy. Amplitudy a_k a b_k jednotlivých harmonických se nazývají Fourierovy koeficienty.
2. Frekvence jednotlivých harmonických je určena základní periodou neharmonické funkce T_1 ($f_1 = 1/T_1$). Frekvence jednotlivých harmonických jsou celočíselnými násobky základní frekvence f_1.
3. Symetrické funkce mají některé Fourierovy koeficienty nulové. Sudá funkce (souměrná podle osy y, neobsahuje sinové členy) má nulové koeficienty b_k. Lichá funkce (souměrná podle počátku, neobsahuje kosinové členy) má nulové koeficienty a_k.
4. Periodickou funkci lze rozložit do řady s harmonickými vyjádřenými jediným členem $A_k\sin(k\omega t + \varphi_k)$. Graf závislosti amplitud $A_k(k\omega)$ se nazývá amplitudové spektrum, graf φ_k (kω) nazýváme fázové spektrum. Tato spektra jsou pro periodické funkce diskrétní (existují pouze celočíselné harmonické)
5. Analýzu lineárního obvodu s neharmonickými zdroji lze provést pomocí SKM:
   a) zdrojovou periodickou funkci pomocí Fourierova rozvoje rozložíme na ss a harmonické složky
   b) provedeme analýzu obvodu pro každou složku zvlášť (ss složka – řešíme ss obvod, pro harmonické složky použijeme SKM, induktivní reaktance X_{Lk}=k ωL, kapacitní reaktance X_{Ck}=1/kωC
   c) provedeme transformaci řešení ve tvaru fázorů do časové oblasti, hledané řešení je dáno superpozicí časových průběhů pro jednotlivé harmonické (jejich okamžitých hodnot), k výsledku přičteme ss složku (pokud existuje)
6. Efektivní hodnota periodické funkce je dána odmocninou součtu kvadrátů ss složky a čtverců efektivních hodnot jednotlivých harmonických
7. Činný výkon dodaný neharmonickým zdrojem do obvodu je dán součtem činných výkonů ss složky a jednotlivých harmonických (je-li k-tá harmonická pouze v proudovém resp. napěťovém spektru a není-li obsažena v napěťovém resp. proudovém, pak činný výkon pro tuto harmonickou je nulový)
8. Jalový výkon určíme jako součet jalových výkonů jednotlivých harmonických, tato veličina je fiktivní.
9. Zdánlivý výkon je definován jako součin efektivní hodnoty napětí a proudu, k této hodnotě přispívá i harmonická, která je pouze v jednom spektru (napěťovém nebo proudovém). Pro neharmonické průběhy neplatí vztah nazývaný výkonový trojúhelník ($S^2=P^2+Q^2$), neboť platí $S^2>P^2+Q^2$
10. Proto zavádíme tzv. deformační výkon Pd= $S^2+P^2+Q^2$, z této rovnice lze při známých hodnotách S,P,Q výkon Pd vypočítat, lze ho interpretovat jako tělesovou úhlopříčku v kvádru o stranách P,Q a S. Jednotkou jsou VAd – VAdeformační.
11. U neharmonických průběhů definujeme veličinu analogickou účiníku cos φ jako poměr činného a zdánlivého výkonu, nemá fyzikální význam fázového posunu mezi časovým průběhem napětí a proudu.
12. K posouzení charakteru neharmonické funkce (tj. zkreslení harmonické funkce vyššími harmonickými) zavádíme tzv. činitel harmonického zkreslení jako poměr efektivní hodnoty zbytkových harmonických (nezahrnuje 1. harmonickou) a efektivní hodnoty neharmonického průběhu (zahrnuje 1.harmonickou).