

Principy impulsních modulací v základním pásmu

U kódovaných impulsových modulací v základním pásmu-nazýváme je také **číslicové**, je zpracování signálu složitější než u základních modulací.

Při vysvětlení těchto modulačních metod vycházíme z vývojově nejstarší impulsové kódované modulace označované PCM.

Modulace PCM- na vysílací straně se vytvoří z modulačního signálu a impulsové nosné vlny signál odpovídající některé z nekódovaných impulsových modulací. Jako nejvýhodnější se jeví modulace PAM. Signál PAM se podrobí kvantování, což znamená, že se u signálu PAM celý dynamický rozsah modulovaných impulsů rozdělí na konečný počet diskrétních úrovní tzv. hladin a každé skutečné úrovni určitého impulsu se přisoudí nejbližší diskrétní hodnota. Určitě by šlo takto kódovat i další typy impulsních modulací- PPM,PDM a PFM, ale signály PAM jsou nejvýhodnější.

Kvantovaný signál se pak vhodným způsobem zakóduje, přičemž pod pojmem kódování myslíme převod kvantované úrovně vyjádřené v desítkové soustavě do soustavy binární. Počet kvantizačních úrovní může být různý; čím větší počet, tím věrněji kvantovaný signál odpovídá skutečnému signálu. Rostou však nároky na přenosovou kapacitu kanálu. Například pro přenos hovorových signálů v telefonii, nebo obrazových signálů v televizi stačí 128, nebo 256(tj. 2^7 nebo 2^8) kvantizačních úrovní. Každé kvantizační úrovni je přiřazena kódová skupina (slovo, které se skládá ze sedmi, nebo osmi symbolů-logických hodnot 1, nebo 0. V porovnání s analogovými metodami modulací je velkou výhodou PCM odolnost proti šumovému a jinému rušení a rovněž možnost regenerace přenášeného číslicového signálu. Modulace PCM však vyžaduje pro přenos téže informace podstatně širší pásmo a také zde působí kvantizační zkreslení.

Přenosová kapacita komunikačního kanálu.

Z teorie rádiové komunikace vyplývá, že skutečný-reálný, komunikační kanál nemůže v určitém čase přenést libovolné množství informace. Může přenést jen takové množství, které nepřesahuje tzv. přenosovou kapacitu C_k komunikačního kanálu. To je způsobeno tím, že skutečný kanál vždy obsahuje jistý šum, který neumožní na přijímací straně rozlišit jemnější rozdíly zpracovávaného signálu, než je jeho vlastní úroveň-úroveň šumu.

C_k přenosová kapacita kanálu je definována jako maximální množství informace, které může být kanálem přeneseno za 1s .

Protože při digitálním přenosu přenášíme číslicový signál, který nabývá dvou hodnot 1 a 0, vyjádříme přenosovou kapacitu pomocí středního výkonu signálu na vstupu demodulátoru přijímače S a šumu N a šířky pásma kanálu B.

$$C_k = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

tento výraz je základním vztahem pro teorii rádiové komunikace. Veličina C_k je vyjádřena v bitech za sekundu.

Výraz \log_2 představuje logaritmus o základu 2. Základ 2 vychází z binárního kódování, které obsahuje pouze dvě hodnoty a to 1 a 0.

Matematicky platí

$$\log_2 a = 5 ; \text{ potom } a = 2^5 = 32$$

$$\text{podobně } \log_2 0,5 = \log_2 2^{-1} = -1$$

Na několika příkladech si ukážeme způsoby stanovení přenosové kapacity komunikačního kanálu, pro konkrétní druhy přenosů.

- a) Určíme kapacitu komunikačního kanálu s šířkou pásma $B = 6$ MHz, který je určen k přenosu televizního signálu, při poměru signál k šumu $S/N = 50$ dB

$$C_k = 6 \cdot 10^6 \log_2 (1 + 10^5) \text{ bit/s} = 99,6 \text{ bit/s} = 99,6 \text{ Mbit/s}$$

nejdříve si vypočítáme výraz $\log_2 (1 + 10^5) = x$ výraz řešíme jako logaritmickou rovnicí

$$(1 + 10^5) = 2^x \text{ což představuje exponenciální rovnici}$$

tuto řešíme ve tvaru $x \log 2 = \log (1 + 10^5)$, potom:

vypočtenou hodnotu x násobíme šířkou pásma $B = 6$ MHz = $6 \cdot 10^6$

$$C_k = 6 \cdot 10^6 \cdot 16,61 = 99,66 \text{ Mbit s}^{-1}$$

- b) Nyní porovnejme vypočítanou kapacitu, která představuje dosažitelné maximum, se skutečnou rychlostí přenosu informace odpovídající černobílému televiznímu signálu. Předpokládejme, že uvažovaný televizní systém používá obrazovku, která vytváří snímek složený z 550 000 elementárních obrazových bodů; snímkový kmitočet 25 Hz. Dále předpokládejme, že každý ze zmíněných bodů může nabývat se stejnou pravděpodobností osmi tj. (2^3) rozlišitelných úrovní jasu, takže k jeho přenosu jsou zapotřebí tři bity. Potom přenosová rychlost bude:

$$550\,000 \cdot 25 \cdot 3 \text{ bit s}^{-1} = 41\,250\,000 \text{ bit s}^{-1} = 41,25 \text{ Mbit s}^{-1}$$

Toto je tedy hledaná rychlost přenosu černobílého signálu. Zde je však nutno upozornit, že televizní obraz s pouhými osmi rozlišitelnými úrovněmi jasu je málo kvalitní, v programové televizi se používá hodnota $2^8 = 256$ úrovní a potřebná přenosová rychlost bude

$$550\,000 \cdot 25 \cdot 8 \text{ bit/s} = 110 \text{ Mbit/s}$$

Tento skutečný datový tok se však výrazně zmenší potlačením redundantních informací na doporučenou hodnotu 34 Mbit/s.

Po vysvětlení problému přenosové kapacity budeme pokračovat v použití impulsových modulací s nosnými kmitočky pro přenosy digitálních informací..

V moderní radiotechnice se velmi používají impulsové modulace s nosnými kmitočky. Vznikají tak, že se signál s impulsovou kódovanou modulací namoduluje na vlnu s nosnou vlnou. Signál je možné modulovat na nosnou vlnu pomocí amplitudové, kmitočtové, nebo fázové modulace. Nejvýznamnější jsou ty, které vzniknou fázovou modulací nosné vlny signálem PCM, nebo (DPCM, DM, ADM). Používají se dvojestavové modulace

ASK tj. PCM/AM nazývaná	klíčování amplitudovým posuvem (zdvihem)
FSK tj. PCM/FM	klíčování frekvenčním posuvem (zdvihem) - modulace kmitočtu f_c
PSK tj. PCM/PM	klíčování fázovým posuvem – modulace fáze φ_c

Pro přenos informací komunikačním kanálem se dnes zpravidla používají vícecestavové digitální modulace. U systémů digitálního rozhlasu a televize se jedná o modulace M-QAM – M-stavové kvadraturní amplitudové modulace. Používají se tři typy: QPSK* (4-QAM), 16-QAM a 64-QAM.

kde $M = 4, 16, 64$

Každý stav je popsán amplitudou a fází, je představitelný například jako sinusový signál o dané amplitudě a jisté fázi vztahované k nějaké referenci.

Pokud bychom měli k dispozici pouze **dva stavy**, přenesli bychom v jeden okamžik informaci pouze o **jednom bitu**. Se **čtyřmi stavy** již přenášíme najednou informaci o **dvou bitech**, při **16 stavech o 4 bitech** (2^4) a při **64 stavech už o 6 bitech** (2^6). Tuto informaci nazýváme symbolem. Výsledný tvar modulace pro všechny stavy, kterých může nabývat, si tak můžeme představit jako čtvercovou síť bodů, z nichž každý představuje jeden stav – určitou kombinaci nul a jedniček pro jednotlivé bity.

Modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) – kvadraturní modulace fázovým posuvem, odpovídá modulaci 4-QAM, označení QPSK je však více používané.

Při čtyřstavové fázové modulaci může nabývat nosná vlna čtyř diskretních fázových stavů. Každému z těchto stavů je jednoznačně přiřazena jedna **bitová dvojice (bitový pár, dibit)**. Pro optimální činnost musí mít vektory nosné stejný úhlový odstup, takže platí;

$$\begin{aligned} s_o(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t + \pi/4) \quad \text{pro bitový pár } 10 \\ s_o(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t + 3\pi/4) \quad \text{pro bitový pár } 00 \\ s_o(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t + 5\pi/4) \quad \text{pro bitový pár } 01 \\ s_o(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t + 7\pi/4) \quad \text{pro bitový pár } 11 \end{aligned}$$

Základní předností modulace QPSK je, že při daných podmínkách přenosu vykazuje stejnou efektivitu jako modulace BPSK, avšak při poloviční šířce kmitočtového pásma.

Je-li v aplikacích nutné zmenšovat šířku pásma B a je-li současně možné zvýšit výkon signálu, je vhodné přejít od čtyřstavové, nebo dokonce dvoustavové modulace PSK na modulaci M -stavovou, kde M je větší než 4. Tím lze dosáhnout efektivnějšího využití daného pásma nebo výkonu vysílače.

Při M -stavové modulaci je odstup jednotlivých fázových stavů nosné $2\pi/M$ radiánů.

Každému z těchto stavů odpovídá skupina n bitů, $n = \log_2 M$.

pro $M = 4$ $n = \log_2 4 = 2$ protože $2^2 = 4$

pro $M = 16$ $n = \log_2 16 = 4$ protože $2^4 = 16$

pro $M = 64$ $n = \log_2 64 = 6$ protože $2^6 = 64$

Rychlost přenosu těchto skupin a tím i potřebná šířka pásma B se zmenšují podle vztahu

$$B \frac{1}{\log_2 M} = \frac{1}{n}$$

