

SYSTÉM AUTOMATICKÉ REGULACE ZESÍLENÍ DETEKTORU KMITOČTOVĚ KLÍČOVANÝCH SIGNÁLŮ

Petr Johanides

Vojenská akademie v Brně, Katedra Speciálních komunikačních systémů

Abstrakt

V příspěvku jsou analyzovány dva systémy dopředné automatické regulace zesílení (AGC) pro demodulátor kmitočtově klíčovaných signálů (FSK), využívající korelační zpracování signálu v základním pásmu. Dosažené výsledky jsou prezentovány s využitím programového prostředí Matlab/Simulink.

1. Úvod

Činnost popisovaných systémů dopředné regulace zesílení (AGC) demodulátoru kmitočtově klíčovaných signálů (FSK), vychází ze známého vztahu [1] pro určení okamžitého kmitočtu analytického signálu, který je dán derivací své fáze jako

$$\omega = d\Phi/dt = d / dt \{ \arctg [q(t) / i(t)] \} = [q(t) \cdot i'(t) - i(t) \cdot q'(t)] / [i^2(t) + q^2(t)], \quad (1)$$

kde $i(t)$ a $q(t)$ jsou reálná a imaginární složky tohoto signálu, zatímco $i'(t)$ a $q'(t)$ jsou jejich derivace.

Čítenel výše uvedeného vztahu reprezentuje vlastní detekci signálu s korelačním zpracováním v základním pásmu, zatímco jmenovatel provádí normování signálu, zabezpečující konstantní úroveň výstupního signálu. Normování tak plní funkci systému AGC.

Tento kmitočtový demodulátor byl prvně popsán v [2], s nástupem mobilních rádiových systémů je mu věnována zvýšená pozornost, např. [3], vzhledem k možnostem číslicové realizace a implementaci na DSP.

V [4] byla provedena základní analýza a simulace, při níž bylo předpokládáno, že před demodulátorem je zařazen omezovač, případně stupeň přijímače s AGC systémem, zabezpečující konstantní úroveň signálu. Za tohoto předpokladu byl potom jmenovatel vztahu (1) pokládán za konstantní.

2. Princip činnosti

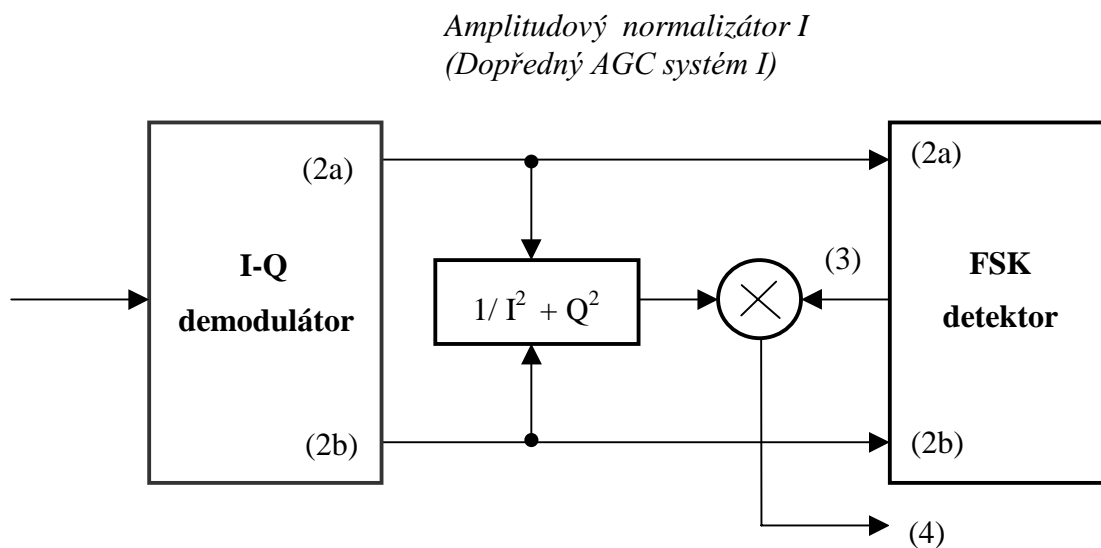
V příspěvku je poukázáno na možná řešení normování (volby systému AGC) vycházejícího ze vztahu (1), respektive jeho jmenovatele. Normování lze realizovat dvěma způsoby – normováním signálu po korelačním zpracování vyplývajícím přímo ze vztahu (1), nebo normováním před korelačním zpracováním. V obou případech však normování bude odpovídat funkci dopředného systému AGC, které není v analogových systémech (přijímačích) běžně používáno. Podetekční filtr (dolní propust) a následné zpracování zde není

uvažováno, poněvadž není předmětem analýzy. Ze vztahu (1) je zřejmé, obr. 1, že detektor obsahuje tři základní podsystémy:

- **I-Q demodulátor**, na jehož výstupu jsou reálná a imaginární složky ve tvaru

$$i(t) = U(t) \cdot \cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi) \quad \text{a} \quad q(t) = -U(t) \cdot \sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi) , \quad (2a, b)$$

kde $\Delta\omega$ je kmitočtový zdvih, $\Delta\varphi$ fázový rozdíl mezi počátečními fázemi signálu a oscilátoru I-Q demodulátoru a $U(t)$ je obálka komplexního signálu;



Obr. 1. Principiální zapojení dopředného systému AGC před detektorem

- **kmitočtový detektor** s korelačním zpracováním podle čitatele vztahu (1) na jehož výstupu bude signál ve tvaru

$$s(t)_{\text{FSK}} = U^2(t) \cdot \Delta\omega . \quad (3)$$

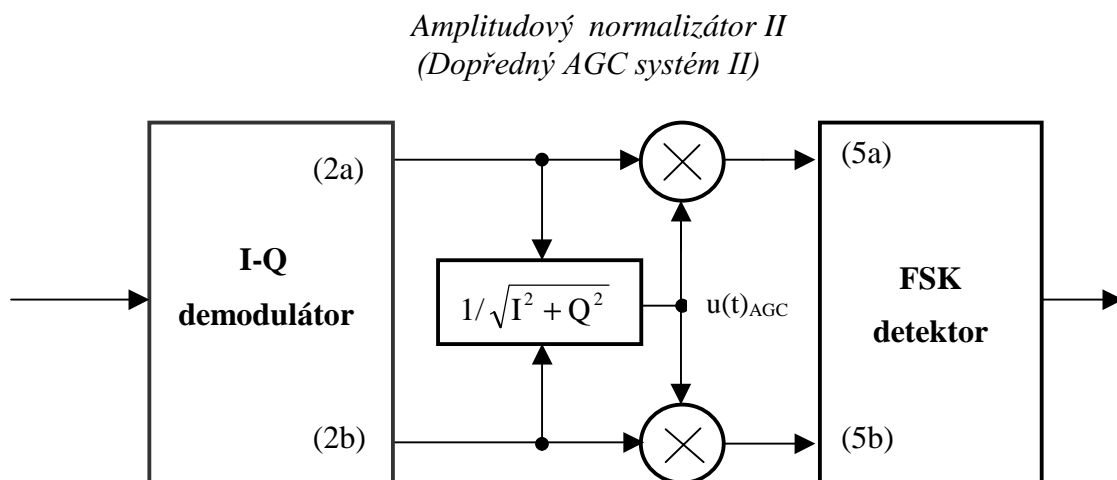
- **normovací obvod**, který eliminuje změny kolísání hodnot komplexní obálky a na jehož výstupu bude signál vyjádřený vztahem

$$v(t)_{\text{VÝSTĚ}} = u(t)_{\text{AGC}} \cdot s(t)_{\text{FSK}} = [1/ U^2(t)] \cdot U^2(t) \cdot \Delta\omega = \Delta\omega . \quad (4)$$

Ze vztahu (3) je zřejmá kvadratická závislost signálu na komplexní obálce, což klade nároky na dynamiku kmitočtového detektoru i normovacího obvodu.

3. Simulační model

Z výše naznačené analýzy je zřejmé, že řešení normování podle obr. 1 není příliš vhodné. Výhodnější se potom jeví po obdobné analýze normování před korelačním zpracová-



Obr. 2. Principiální zapojení dopředného systému AGC před detektorem

ním, obr. 2, v němž normovací obvod eliminuje kolísání obálky komplexního signálu před vlastním detektorem. Na výstupu normovacího obvodu je signál ve tvaru

$$i(t)_{\text{NORM}} = i(t) \cdot u(t)_{\text{AGC}} = U(t) \cdot \cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi) \cdot 1/U(t) = \cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi) \quad \text{a} \quad (5a)$$

$$q(t)_{\text{NORM}} = q(t) \cdot u(t)_{\text{AGC}} = -U(t) \cdot \sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi) \cdot 1/U(t) = -\sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi) . \quad (5b)$$

Ze vztahů (5a,b) je zřejmé, že signál na vstupu kmitočtového detektoru má již konstantní obálku na rozdíl od předchozí varianty. Na jeho výstupu bude po korelačním zpracování signál ve tvaru

$$v(t)_{\text{VYST2}} = \Delta\omega . \quad (6)$$

Vztahy (4) a (6) jsou formálně stejné, avšak zapojení podle obr. 2 neklade takové požadavky na dynamiku detektoru jako zapojení podle obr. 1.

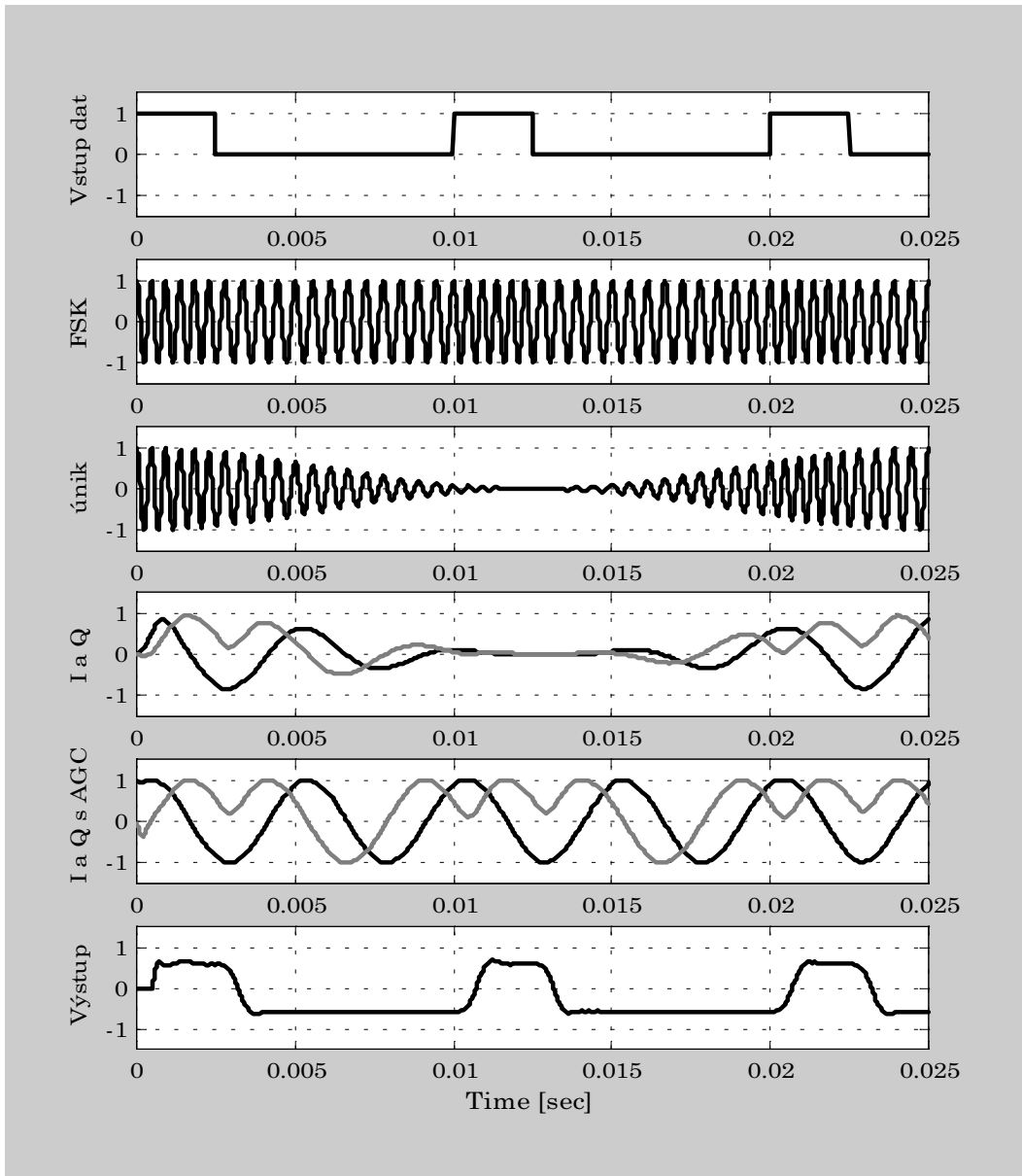
Ve shodě se zapojením na obr. 2 byl vytvořen model, obsahující uvedené tři dílčí pod-systémy jejichž prvky využívají knihovny Simulinku.

K ověření funkčnosti systému AGC byl dále vytvořen zjednodušený pásmový model únikového kanálu, v němž je ovlivňována amplituda FSK signálu s hloubkou úniku 40 dB; model je tvořený násobičkou která provádí změnu modulu přenosu kanálu v závislosti na řídicím vstupu, kam je přiváděn signál z generátoru s amplitudovou modulací s hloubkou modulace m , odpovídající požadované dynamice vstupního signálu D_I (40 dB) kmitočtového detektoru.

4. Výsledky simulace

Ověření modelu a jeho simulace proběhlo v programovém prostředí Matlab/Simulink. Dosažené výsledky jsou uvedeny na obr. 3.

Zvolené parametry signálu s FSK, $v = 400$ Bd ($\tau = 2,5$ ms) a $\Delta f = \pm 200$ Hz, odpovídají parametrům signálů používaným v KV pásmu (3 – 30 MHz); zpracování tohoto signálu bylo prováděno na středním kmitočtu $f_s = 2$ kHz (linkový výstup přijímače pracujícího v provozním režimu J3E - SSB).



Obr. 3. Výsledky simulace systému AGC s demodulátorem FSK signálu

Podle potřeb lze dynamiku vstupního signálu pro demodulátor nastavovat změnou hloubky modulace generátoru s amplitudovou modulací (v modelu přenosového kanálu) a rychlost úniku hodnotou jeho modulačního kmitočtu.

Modulační kmitočet byl použit vyšší (40 Hz) než je rychlost úniků v KV pásmu; uvedená hodnota byla zvolena k ověření reakce na možné rychlé překmity obálky signálu zpětnovazebního systému AGC přijímače a vliv impulsních poruch. Hloubka modulace byla nastavena na hodnotu

$$m = \frac{D_1 - 1}{D_1 + 1} \cdot 100\% ,$$

podle požadované dynamiky D_1 signálu.

Dosažené výsledky na obr.3 prokazují, že navržený systém AGC pracuje podle předpokladů a následný detektor funguje podle výše uvedených vztahů. Na obr. 3 je celkem zobrazeno šest grafických průběhů se společnou časovou osou v rozmezí 0 – 25 ms, postupně zobrazující modulační datový signál na vysílací straně, modulovaný signál s kmitočtovým klíčováním – FSK, únikový FSK signál na vstupu demodulátoru (na $f_s = 2$ kHz), signály $i(t)$ a $q(t)$ před normalizací, $i(t)$ a $q(t)$ po normalizaci a výsledný detekovaný signál podle vztahu (1), respektive (6) na výstupu korelátorů kmitočtového detektoru.

4. Závěr

Výsledky simulace použitého modelu systému AGC prokázaly, že kmitočtový detektor pracuje ve shodě s předpoklady. Navržený a použitý systém AGC pracuje jako dopředný, předřazený před vlastní kmitočtový detektor. Na základě dosažených výsledků byl systém AGC dále upraven i do zpětnovazebního podoby; výsledky simulace prokázaly funkčnost i tohoto systému, který je však náročnější co do návrhu vhodných časových konstant filtru AGC systému.

Literatura

- [1] Gonorovskij, I.S.: Radiotěchničeskije cepi i signaly. Sovětskoje radio, Moskva 1977.
- [2] Park, J.H., Jr.: An FM Detector for Low S/N. IEEE Trans. on COMM -18, No. 2, April 1970.
- [3] Wickert, M. A. – Sward, W. S.: Limiter Discriminator-detected GMSK with FM and GMSK Interference in a Land Mobile Channel. IEEE Trans. on COMM - 47, No. 11, November 1999.
- [4] Johanides, P. - Siska, M.: Demodulator FSK signálu. Konference – Nové směry v spracování signalov V. Liptovský Mikuláš, květen 2000.