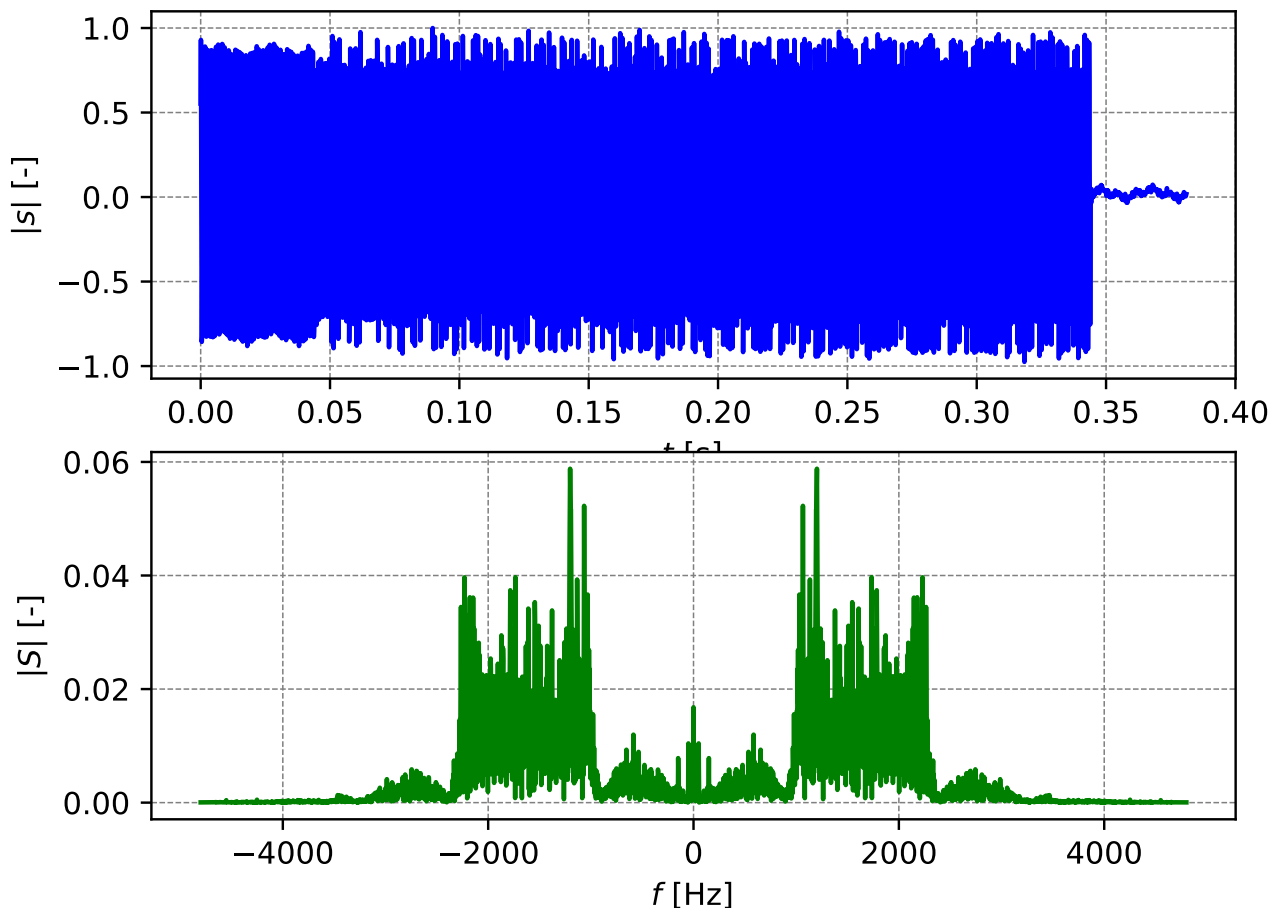


Úvod

FSK modulace je založená na technice frekvenčního klíčování. Funguje to tak, že jednotlivým vysílaným symbolům (0, 1) odpovídá harmonický signál o definované frekvenci.

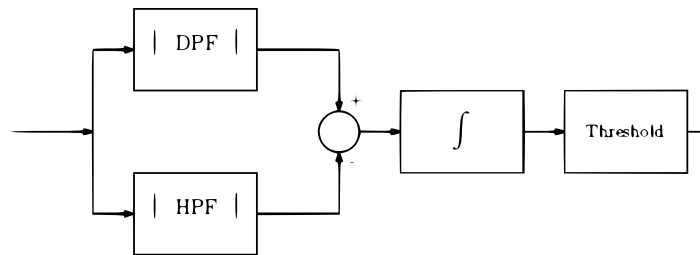
Realizovaný systém si klade za cíl demodulovat a posléze dekódovat správy vysílané modemem BEL202. Úrovní logické jedničky odpovídá kmitočet 1,2 kHz a logické nule 2,2 kHz.



Obrázek 1: Časový průběh a frekvenční modulové spektrum vstupního souboru 1.wav

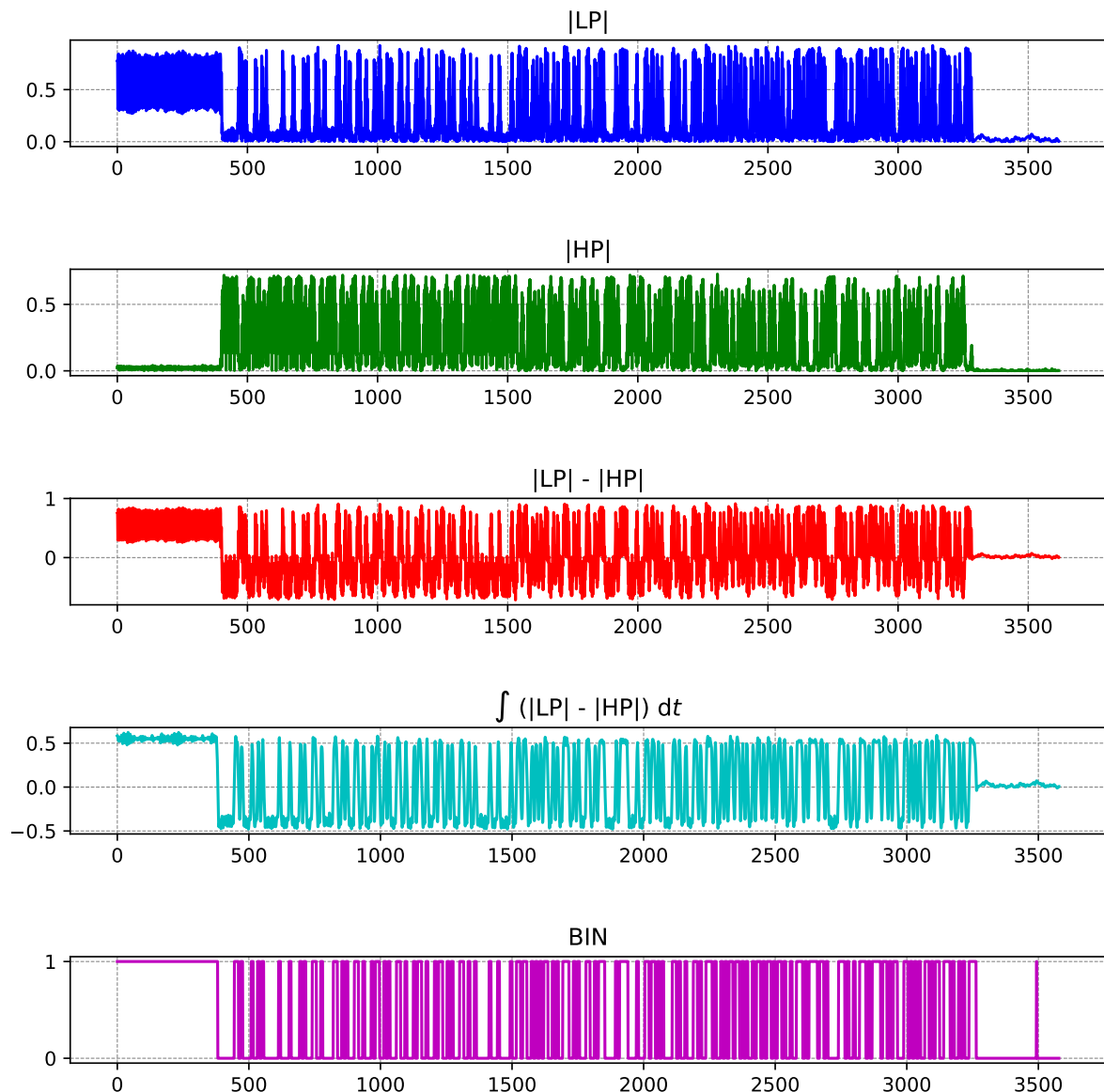
Jak je ve spektru vidět, nejvíce jsou zastoupeny kmitočty okolo 1,2 kHz a 2,2 kHz, zároveň je v signálu i značné množství šumu.

Přizpůsobený filtr



Obrázek 2: Blokové schéma demodulátoru s přizpůsobeným filtrem

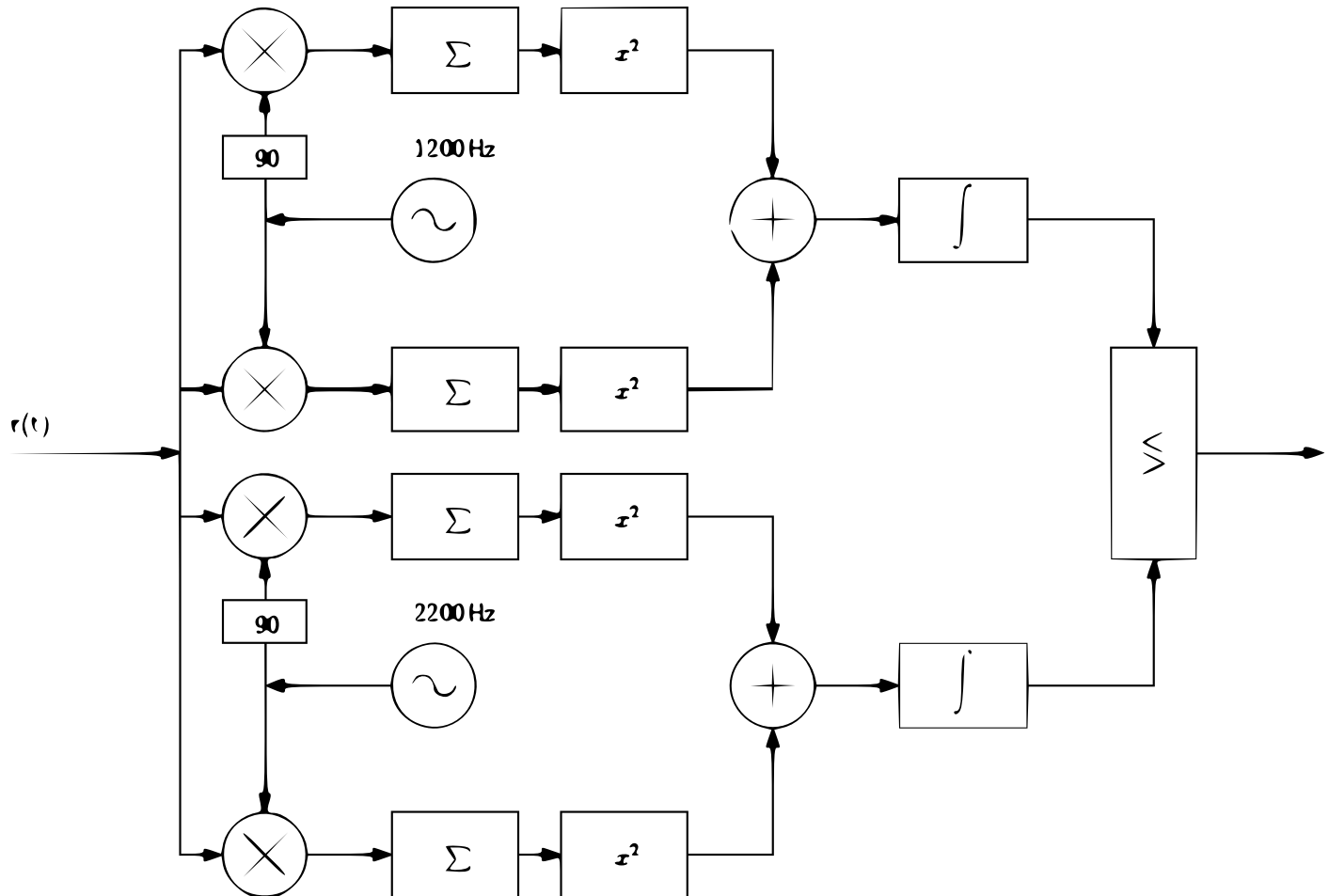
Tato metoda bude dále označována jako DEM1. Nejprve dojde k rozdělení signálu pomocí horní a dolní propusti. Následně je spočítána absolutní hodnota z filtrovaných signálů, což představuje usměrnění. Díky tomu je možné signály od sebe odečíst. Tím vznikne signál ve kterém vyšším hodnotám odpovídá 1 nízkým 0. Poté signál integrujeme podle času, tedy opět na něj aplikujeme dolní propust. Nyní je signál již připraven k prahování, pomocí kterého rozhodneme zda-li je přijímána logická nula nebo jednička.



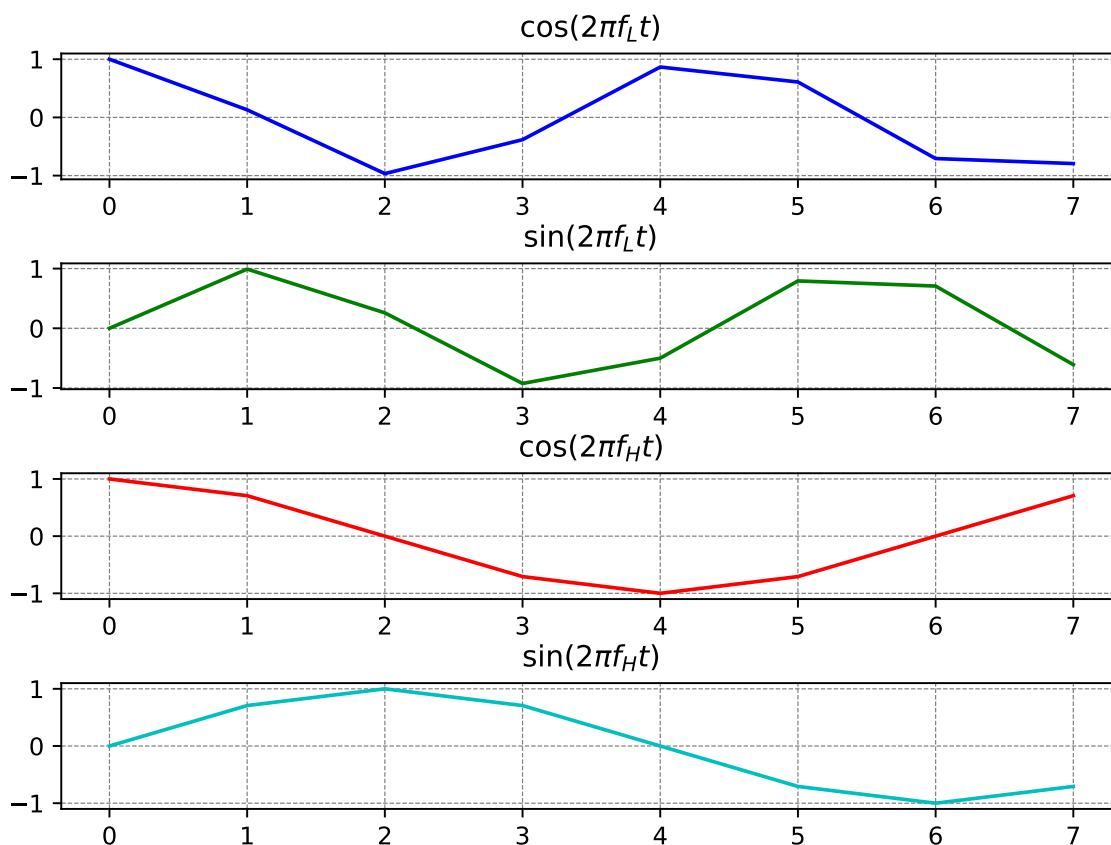
Obrázek 3: Časové průběhy bloků demodulátoru

Korelační přijímač

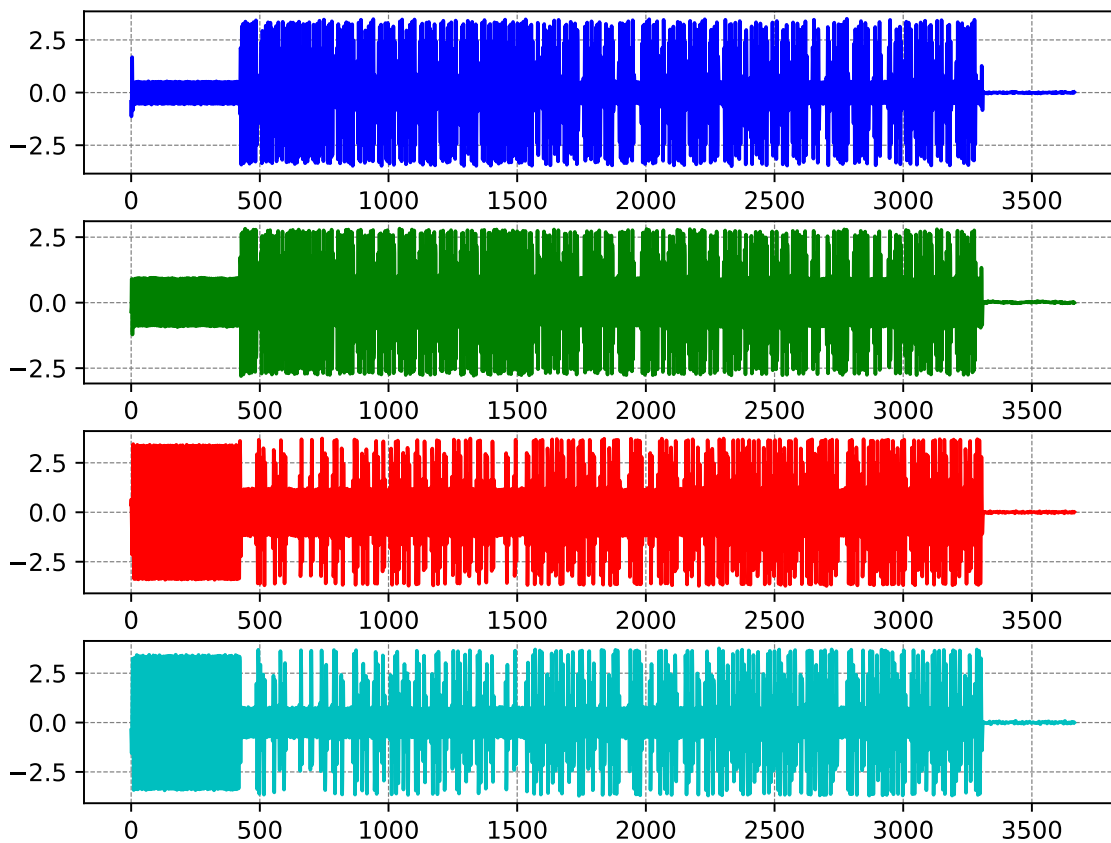
Korelační přijímač dále DEM2 provádí korelaci vstupního signálu s bazovými signály, ty odpovídají harmonickým signálům $1,2\text{ kHz}$ a $2,2\text{ kHz}$. Navíc pro každý z kmitočtů jsou vytvořeny rovnou dva bazové signály posunuté o $\frac{\pi}{2}$. To je kvůli tomu aby korelace měla dostatečnou hodnotu pro libovolnou počáteční fázi. Kvadráty odpovídajících korelací jsou dále sečteny a filtrovány dolní propustí. Tímto postupem získám dva signály det_1 a det_2 , ty jsou nakonec porovnány, čím získáme binární signál.



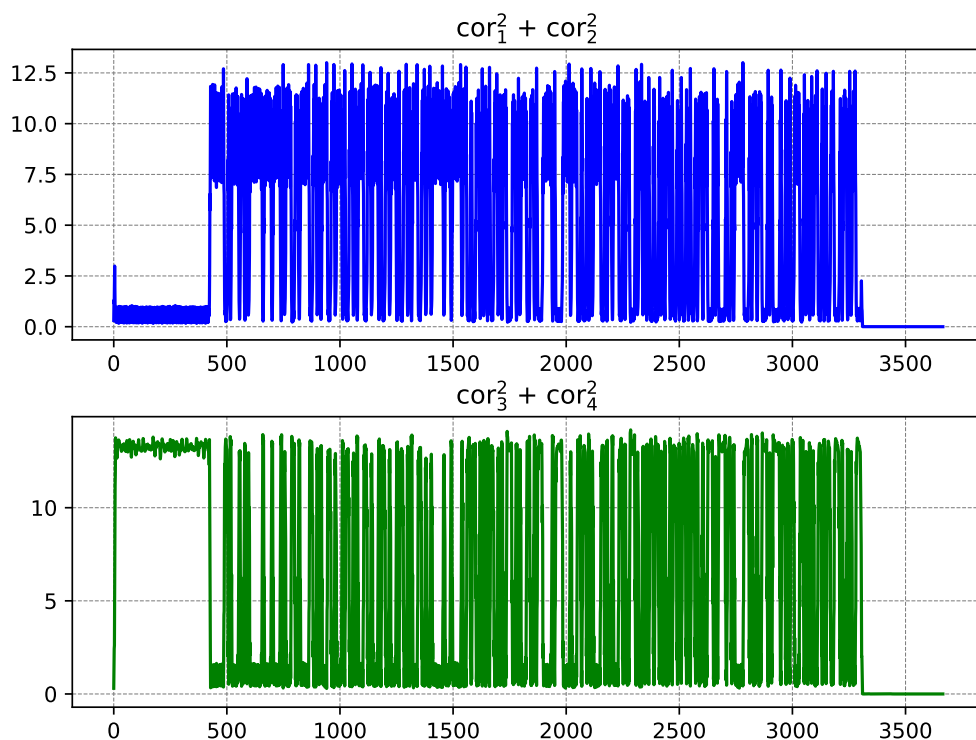
Obrázek 4: Blokové schéma demodulátoru s korelátorem



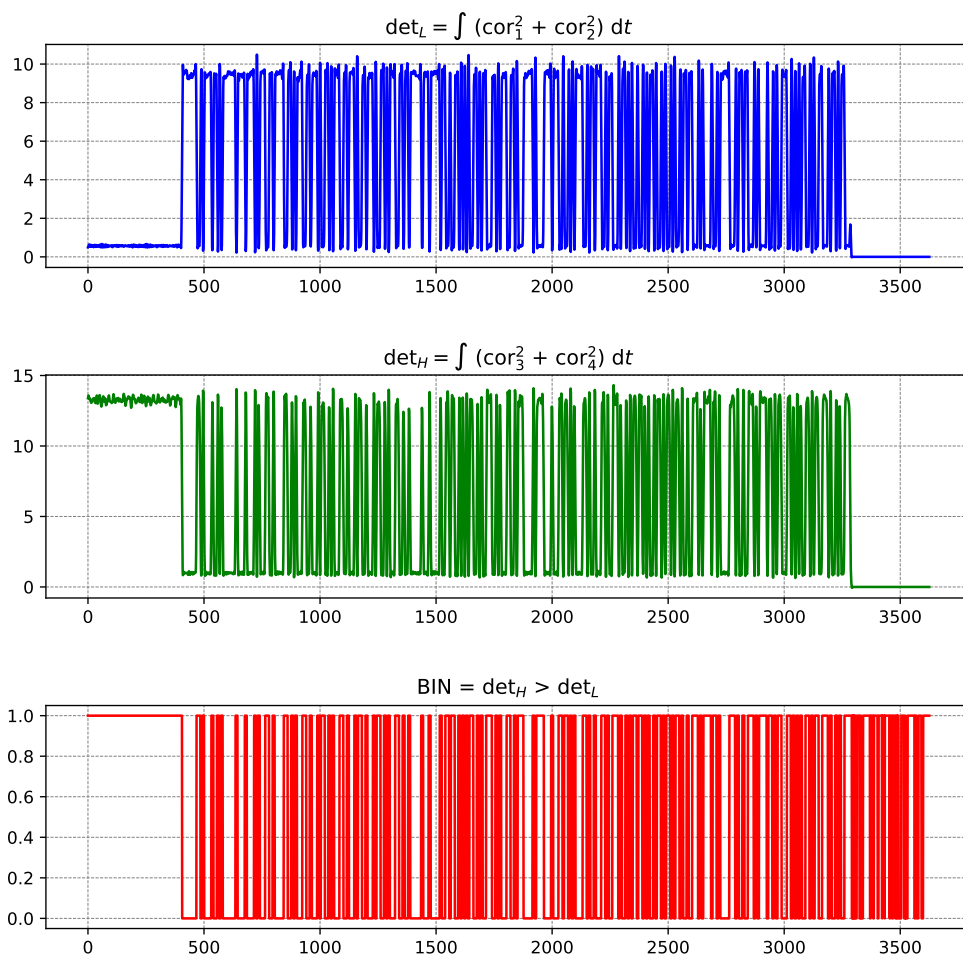
Obrázek 5: Bázové funkce pro korelátor



Obrázek 6: Korelace vstupního signálu s bázovými funkcemi, barvy odpovídají bázovým funkcím



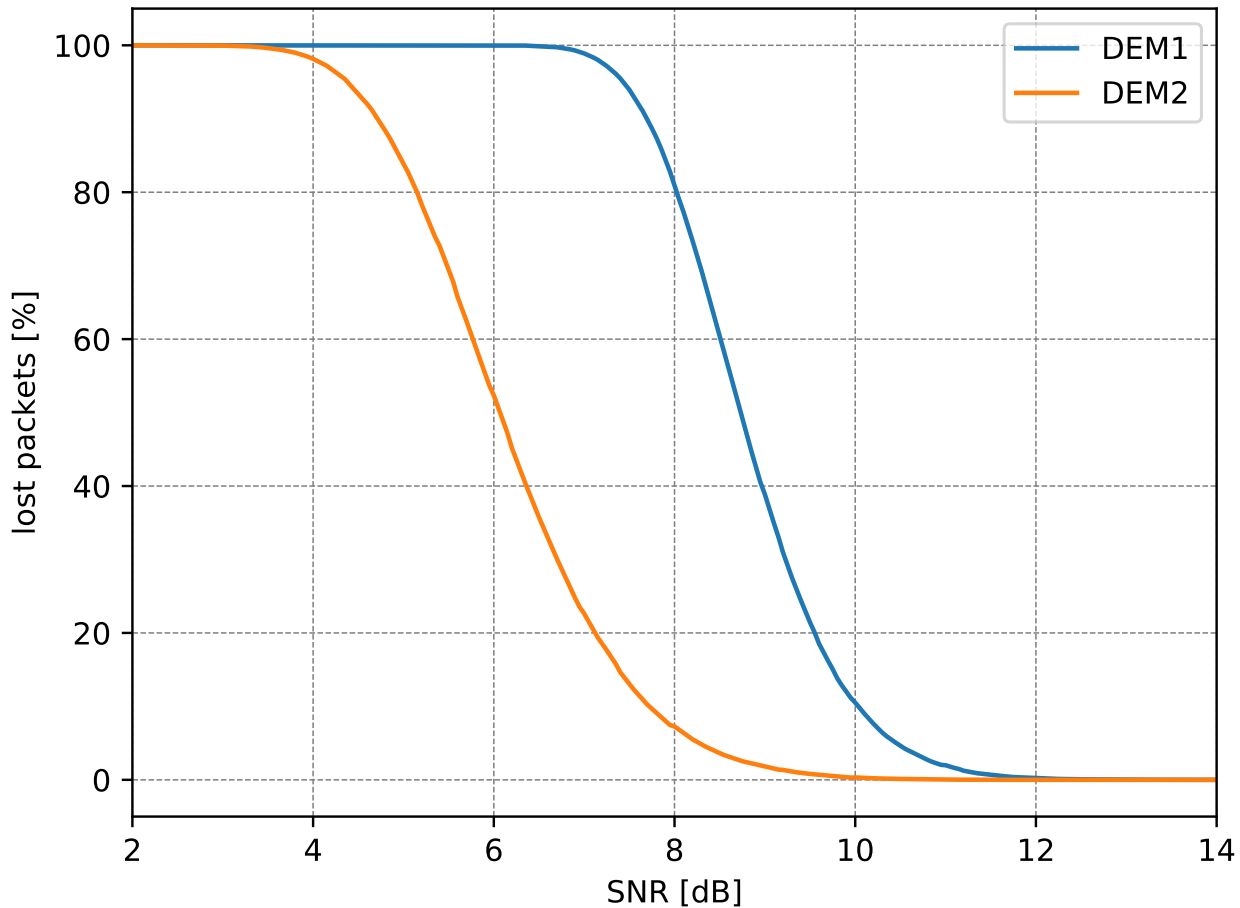
Obrázek 7: Součty kvadrátů odpovídajících bázových funkcí (sin a cos stejné frekvence)



Obrázek 8: Časové průběhy výstupů detektoru a získaného binárního signálu

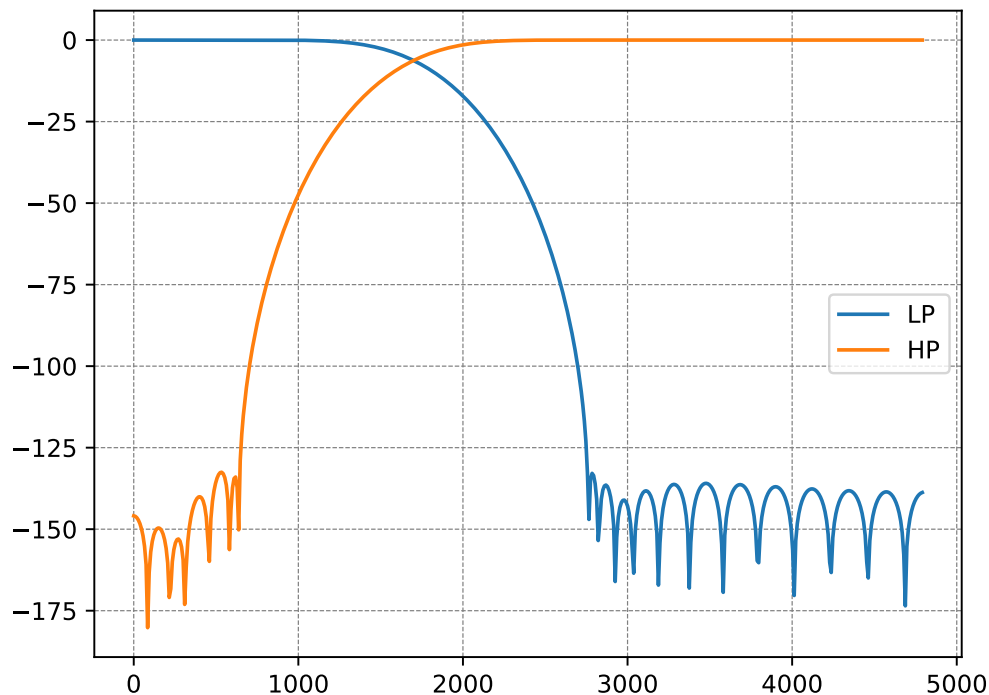
Závěr

Oby dva demodulátory jsem podrobil testu spočívajícího v zašumění vstupního signálu. Hodnoty odstupu signálu od šumu $\text{SNR} \in \langle 2; 14 \rangle \text{ dB}$. SNR bylo krokováno po $0,05 \text{ dB}$ a na každou úroveň SNR proběhlo 100 000 demodulačních cyklů.



Obrázek 9: Závislost chybovosti na SNR

1. Z provedeného experimentu lze pozorovat, že DEM1 dosáhne nulové chybovosti při $\text{SNR} = 12 \text{ dB}$ a DEM2 při $\text{SNR} = 10 \text{ dB}$. DEM2 je tedy schopen demodulovat více zašumělý signál.
2. DEM1 je velmi citlivý na hodnotu prahu, nejlepších výsledků jsem dosáhl s prahem 0,7.
3. Dalším parametrem který má velký vliv na obě metody demodulátoru jsou filtry. Čím mají filtry větší rozdíl útlumu mezi propustným a nepropustným pásmem tím jsou vhodnější. Také je důležité správně zvolit mezní frekvence filtrů.



Obrázek 10: Frekvenční charakteristiky navržených filtrů

Jedná se o FIR filtry, tedy filtry s konečnou impulzní odezvou. Navrženy jsou pomocí metody okna realizované funkcí `scipy.signal.firwin`, která vrací impulzní odezvu. Délka impulzní odezvy je 41 vzorků. Použité okno je Kaiserovo s parametrem $\beta = 14$.

```
1 80 21 01 08 31 30 31 34 | !..1014
2 31 34 34 31 02 04 36 35 | 1441..65
3 39 31 07 0F 6C 61 62 2E | 91..lab.
4 6D 69 6B 72 6F 70 72 6F | mikropro
5 63 65 73 CA F6 FF E6 | ces....
6
7 Packet length 36 octets
8 P1 datetime(MM/DD HH:MM): 10/14 14:41
9 P2 caller number: 6591
10 P7 caller name: lab.mikroproces
```

Listing 1: Dekódování zprávy ze souboru 1.wav

```
1 80 1D 01 08 31 30 31 34 | ....1014
2 31 34 35 30 02 04 36 35 | 1450..65
3 39 35 07 0B 6C 61 62 2E | 95..lab.
4 50 43 36 2E 36 30 61 BE | PC6.60a.
5 BD DD | ..
6
7 Packet length 32 octets
8 P1 datetime(MM/DD HH:MM): 10/14 14:50
9 P2 caller number: 6595
10 P7 caller name:
11 lab.PC6.60a
```

Listing 2: Dekódování zprávy ze souboru 3.wav

Celý demodulátor je napsaný v Pythonu a dostupný na <https://github.com/wykys/MIKS-FSK>. Navíc simulace využívá paralelizaci výpočtů na více jader, takže výpočet probíhá relativně rychle.