



## Středoškolská technika 2014

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

### VF MODULÁTOR

Lukáš Karásek

Střední průmyslová škola elektrotechnická  
Praha 10, V Úžlabině

#### Vysokofrekvenční FM modulátor

Tato práce se zabývá návrhem a realizací FM modulátoru pro pásmo občanských radiostanic. Práci jsem doplnil o koncový vysílací stupeň, díky kterému lze ověřit správnost modulace. Signál je na vysílač přiveden pomocí audio konektoru, proto lze jednoduše připojit nahrávku z mobilního telefonu, MP3 přehrávače, počítače nebo jiného zařízení opatřeného 3,5mm jackem. Vysílaný signál lze přijímat na CB radiostanicích na kanálu 4. Při malých úpravách lze FM modulátor použít na široké spektrum kmitočtů a s pomocí odporového trimru doladit na velmi přesné hodnoty.

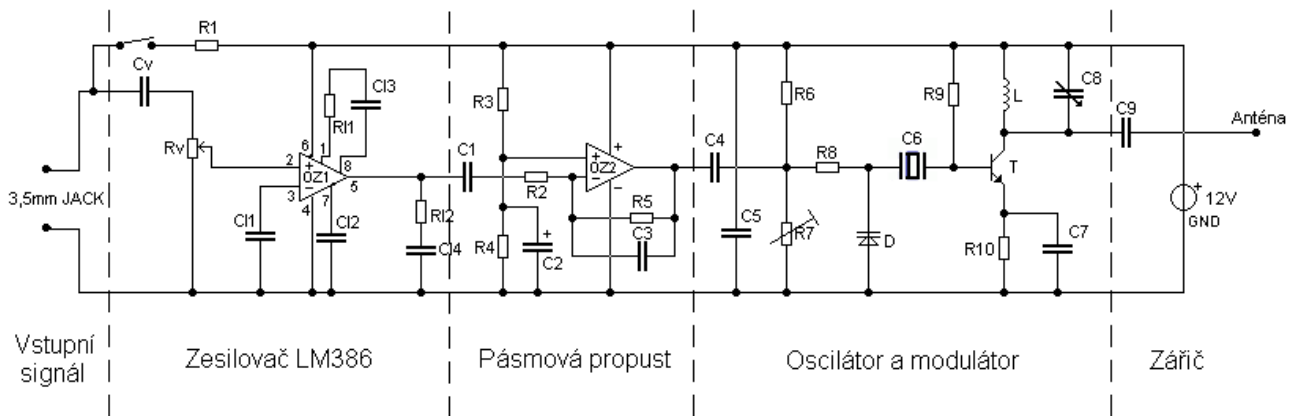
Práci jsem si vybral, jelikož téměř veškerá technologie je dnes provozována bezdrátově pomocí elektromagnetických vln s různě zakódovanou informací na různých pásmech a s různou intenzitou signálu. Zajímalo mě, kolik práce obnáší sestavení jednoduššího FM modulátoru a kolik vědomostí je třeba mít k realizaci vysílání na stanovené frekvenci. Mým cílem bylo prohloubit si znalosti v elektronice a sestavit plně funkční vysílač s frekvenční modulací, která je dnes pravděpodobně nejpoužívanější v rozhlasovém vysílání.

#### FM modulace

Spočívá v ovlivňování frekvence nosné vlny spojitým modulačním nf signálem, který představuje užitečnou informaci. Frekvenční modulace dokáže přenášet signál s velmi malým zkreslením. Vyšší kvalita přenášeného nf modulačního signálu je dána šířkou pásma  $B=30\text{ Hz až }15\text{ KHz}$ . Má velmi dobré energetické využití oproti amplitudové modulaci, z čehož vyplývá vyšší účinnost. Další výhodou je omezení poruch amplitudového charakteru díky možnosti omezení amplitudy. FM má dobrou dynamiku přenosu signálu, kterou vypočítáme jako podíl nejhlasitějšího lomeno nejtišší reprodukce a to až 45dB. Umí lépe potlačit šum díky obvodům preemfáze a deemfáze a také nedochází k velkým přeslechům dvou sousedních vysílačů.

#### Nastavení

Pro správné vysílání je důležité anténu modulátoru vztyčit kolmo k zemi, případně mírně šikmo, podle možností daného prostředí a poté připojit vnější zdroj nízkofrekvenčního signálu na 3,5 mm jack. Jako zdroj nízkofrekvenčního modulačního signálu používám výstup z MP3 přehrávače. Nyní stačí už jen zapojit napájecí adaptér do elektrické sítě a naladit modulátor na stanovenou frekvenci 27,005 MHz.



Obr. 1: Schéma zapojení

### Zesílení

Vstupní modulační signál jsem přivedl přes kondenzátor, který má tu funkci, že zabraňuje vstupu stejnosměrnému napájecímu napětí do obvodu pro zesílení a přes odporový trimr do nf zesilovače LM386. Výstup z obvodu LM386 je přiveden do vstupu pásmové propusti tvořené unipolárním operačním zesilovačem TL061, která má také zesilující charakter.

Zapojení obvodu LM386 jsem použil funkční a odzkoušené schéma z datasheetu se zesílením 50, které je znázorněno na obrázku. Zápornou svorku zesilovače jsem navíc uzemnil přes dostatečně velký kondenzátor, který nebrání průchodu střídavému signálu. Integrovaný obvod LM386 požaduje nesymetrické napájení 4-12 V, což vyhovuje mým požadavkům.

### Pásmová propust

Pásmová propust omezuje vstupní signál podle stanoveného dolního a horního mezního kmitočtu. Zároveň také zesiluje na poměrně vysokou hodnotu. Zesílení je dáno vztahem pro  $A_u$  odvozené pásmové propusti. Pro jednoduchost jsem počítal se zesílením podle vztahu pro invertující zapojení operačního zesilovače. Obvod TL061 je klasický unipolární operační zesilovač v pouzdře DIP8, který požaduje symetrické napájení. Jelikož jsem použil nesymetrické napájení 12 V, tak bylo nezbytné doplnit zapojení o napěťový dělič v poměru 1:1, jehož střed jsem vyvedl do kladné svorky operačního zesilovače. Tento dělič drží operační zesilovač v polovině napájecího napětí a proto je jeho chování podobné, jako kdyby byl napájen symetricky.

$$f_D = 1/2\pi C_1 R_2 = 31 \text{ Hz}; f_H = 1/2\pi C_3 R_5 = 15,9 \text{ KHz}$$

$$|A_u| = R_5/R_2 = 1960$$

### Oscilátor a modulátor

Oscilátor a modulátor je tvořen krystalem, varikapem, tranzistorem a rezistory. Krystalový oscilátor, který pracuje na frekvenci 27,000 MHz, rozkmitá obvod přibližně na tuto hodnotu. Jelikož ale neexistuje kanál, kde by bylo možné přijímat frekvenci 27,000 MHz, musel jsem zvolit nejbližší hodnotu frekvence, která odpovídá kanálu, na které bych mohl vysílat. V České republice se vysílá na frekvencích od 26,565 MHz do 27,405 MHz, přičemž rozstup mezi jednotlivými kanály je 10 KHz. Rozhodl jsem se vysílat na frekvenci 27,00 5MHz, která odpovídá kanálu 4. Doladění na zbylých 5 KHz jsem provedl pomocí varikapu laděného napěťovým děličem s pevným rezistorem a laděným odporovým trimrem. Tranzistor vytváří Fourierovu řadu celistvých násobků frekvencí původní vytvořené frekvence. Tyto frekvence je třeba utlumit paralelním rezonančním LC obvodem naladěným podle Thomsonova vztahu tak, aby propustil pouze potřebný kmitočet.

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

Díky této vlastnosti však nemusíme pro vysílání celé řady frekvencí shánět přesně vyrobený krystalový oscilátor. Například pokud bychom chtěli vysílat na frekvenci 80 MHz a měli bychom k dispozici pouze krystal pro 20,000 MHz, mohli bychom ho použít, pokud bychom správně naladili LC obvod a použili správnou anténu.

Na nelineárních voltampérových charakteristikách elektronických prvků probíhá směšování frekvencí  $f_{nf}$  tedy výstupní frekvence ze zdroje nízkofrekvenčního zvukového zařízení a  $f_{vf}$  tedy frekvence z oscilátoru. Toto směšování neboli modulace probíhá převážně na prvku varikapu a tranzistoru.



Obr. 2: Fotografie výrobku osazeného v krabici

### Závěr

Tato práce mi dala velké množství zkušeností a získal jsem také spoustu nových znalostí v oboru elektronika. Prvotní záměr byl vytvořit pouze zcela funkční modulátor. Jsem však velice rád, že jsem mohl modulátor doplnit i o vysílač, jelikož práce s elektromagnetickými vlnami a vysílaným signálem mě opravdu zaujala. Jsem přesvědčen, že se touto problematikou budu v budoucnu ještě zabývat. Vyzkoušel jsem si také, jaké to je přenést teoretické znalosti z elektroniky do praxe a vytvořit krok za krokem funkční zařízení. Výrobek se na první pohled může zdát jednoduchý vzhledem k jeho velikosti a počtu součástek, ale realizace a zprovoznění s ohledem k poměrně striktním pravidlům, které je třeba dodržet pro správnou činnost, se jeho složitost značně zvýšila. Pokud beru v úvahu sortiment součástek pro český trh, je třeba dosti improvizovat. Projekt hodnotím jako zdařilý a jsem opravdu rád, že jsem se touto problematikou mohl zabývat.