

# DIGITAL AUDIO AMPLIFIER

**Vladimír Smejkal**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsmejk10@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Tomáš Kratochvíl

E-mail: kratot@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

Amplifiers in the class D take advantage of pulse width modulation (PWM). This modulation creates comparison of audio signal with reference triangle signal of very high frequency. The application uses MOSFET transistors as switches and amplify PWM signal. Efficiency of such amplifiers can rise very close to theoretical 100% which leads to less power loss. The contribution deals with the class D audio amplifier design.

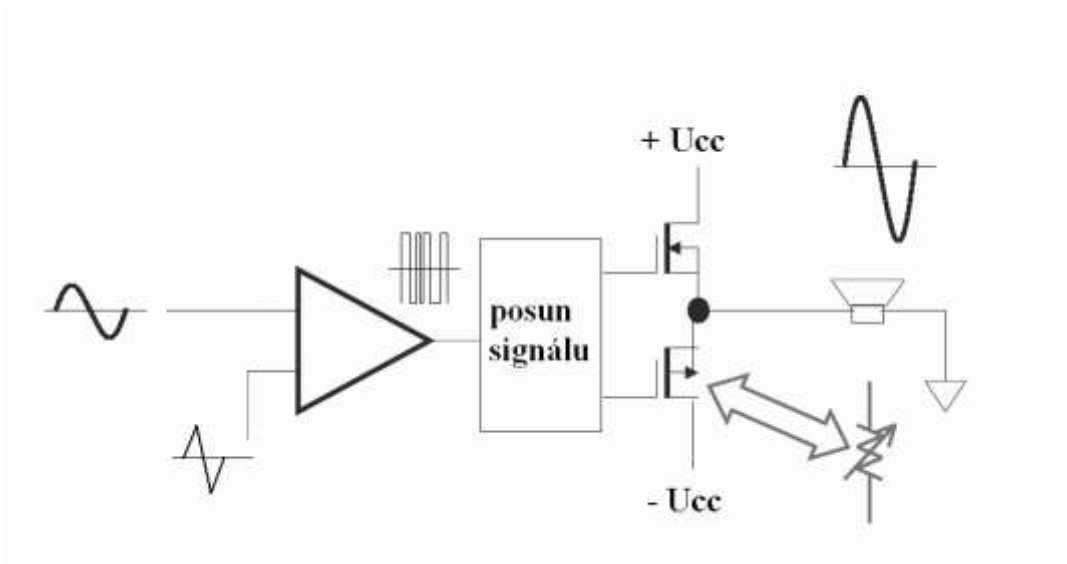
## 1. ÚVOD

V současné době jsou nejdůležitějšími kritérii výrobků spotřební elektroniky a elektrotechnického průmyslu spotřeba energie, hmotnost výrobku a v neposlední řadě i velikosti a tím i spotřeba použitého materiálu. Většina elektrotechnických zařízení je dnes už napájena impulsně regulovanými zdroji, které mají podstatně vyšší účinnost a menší rozměry než napájecí zdroje klasické. Výhody zesilovačů pracujících impulsním režimu (zesilovače ve třídě D), jsou zřejmé už ze základní myšlenky použití zesílení pravoúhlých signálů a jejich přenosu. Tímto dosáhneme účinnosti teoreticky až 100%.

## 2. ROZBOR PROBLEMATIKY

Úkolem při návrhu digitálního zesilovače je vytvoření přípravku pro demonstrační úlohu při výuce principu a problémů zpracování signálu nízkofrekvenčními zesilovači ve třídě D. vytvořený zesilovač bude využit při výuce v předmětu Nízkofrekvenční elektronika.

Základní myšlenka zesilovačů pracujících ve třídě D je zobrazena na **obrázku 1**. Ve střídě vzniklých pravoúhlých impulsů PWM je modulován kmitočet vstupního signálu. Kmitočet referenčního trojúhelníkového průběhu musí být alespoň desetkrát vyšší než je maximální kmitočet vstupního signálu. Pro zesílení PWM signálu je výhodné použití tranzistorů MOSFET, které pracují jako rychlé spínače ve stavech sepnuto-rozepnuto. Pokud použijeme jako zátěž zesilovače reproduktor, tak není nutné používat dolní propust pro odfiltrování vyšších harmonických složek. Součástí práce je i návrh výstupního filtru, který má charakter dolní propusti. Jedná se o pasivní LC filtr minimálně třetího řádu s Butterworthovou aproximací. Tato část zesilovače však vnáší podstatné zkreslení do výsledných výstupních průběhů signálu. V praktických aplikacích se od použití výstupního filtru tedy upouští.



**Obrázek 1:** Základní princip činnosti zesilovače ve třídě D.

### 2.1. VZNIK PWM SIGNÁLU

Využitím komparátoru MAX9691 vznikne signál PWM o velice nízké úrovni. Použitím třístupňového zesílení pomocí rychlých operačních zesilovačů s velkou šířkou pásma. Pro tento účel vyhovuje operační zesilovač AD8023, který v jednom pouzdře obsahuje trojici takových zesilovačů.

### 2.2. NÁVRH KONCOVÉHO STUPNĚ S TRANZISTORY MOSFET

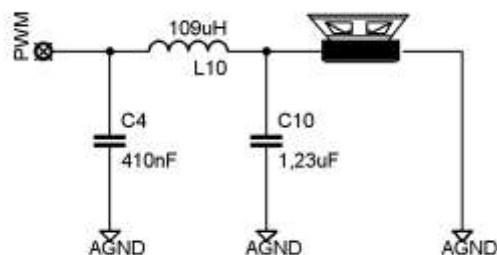
Použití vhodných zesilovacích tranzistorů není příliš kritické. Podle výkonu pro který je zesilovač navržen nás zajímá pouze rychlost spínání  $t_a$ . Tato hodnota je pro MOSFET typicky rovna 32 ns. Maximální kmitočet spínání je tedy roven 31,3 MHz. Problémem je ale použití dvojice tranzistorů kanálu N a P. Ty nemají stejné vlastnosti a vzniká zkreslení. Tomu lze předejít použitím monolitického budiče koncových tranzistorů tzv. „gate driver“. Ten vhodně otáčí fází signálu a lze použít oba koncové tranzistory se stejnou vodivostí. Pro laboratorní výuku vyhovuje např. typ IRF520 s výkonem až 70 W (viz **tabulka 1**).

TYP	$U_{BSS}$ [V]	$I_D$ [A]	$Q_g$ [nC]	$R_{DS(on)}$ [ $\Omega$ ]	$P_D$ [W]
<b>IRF 520</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>0.27</b>	<b>70</b>
IRF 530	100	16	44	0.16	90
IRF 630	200	10	60	0.4	100
IRF 640	200	18	67	0.15	150

**Tabulka 1:** Parametry vhodných tranzistorů MOSFET s N kanálem

### 2.3. VÝSTUPNÍ FILTR

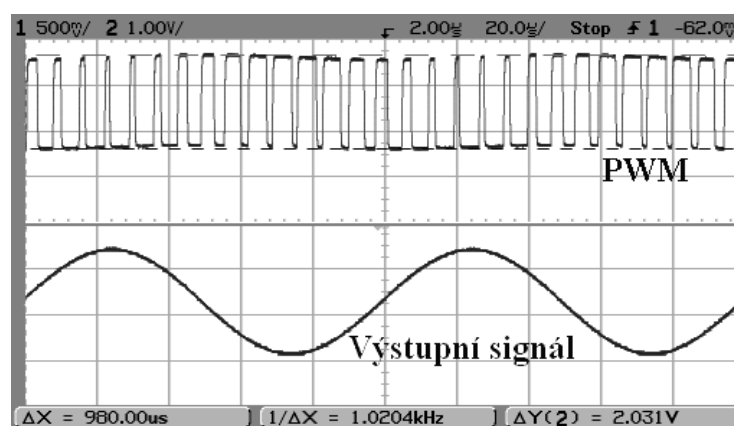
Součástí modulu zesilovače je i dolnofrekvenční pasivní filtr typu LC. Filtr je navržen dle Butterworthovi aproximace třetího řádu. Schéma filtru je na **obrázku 2**. Hodnoty součástí jsou navrženy pro mezní kmitočet 20 kHz a pro potlačení o 15 dB/10 kHz.



**Obrázek 2:** Schéma zapojení výstupního filtru digitálního zesilovače.

## 2.4. NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY

Na **obrázku 3** jsou zobrazeny průběhy signálu zesíleného PWM signálu a výstupního vyfiltrovaného signálu za filtrem LC s charakterem dolní propusti.



**Obrázek 3:** PWM modulovaný signál a výstupní signál digitálního zesilovače.

## 3. ZÁVĚR

Třída D při konstrukci audio zesilovače je vhodná pro zesilovače malých i velkých výkonů. Vysoká účinnost a výborné parametry nízkého harmonického zkreslení posunují tuto třídu směrem do tzv. „high end“ audio aplikací. Koncepce zesilovačů je poměrně jednoduchá a lze dosáhnout vynikajících parametrů i s použitím dostupných součástek.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu FRVŠ č. 1792/2006 „Inovace výukové laboratoře nízkofrekvenčních aplikací“ řešeného na UREL FEKT VUT v Brně.

## LITERATURA

- [1] Self, D. Audio Power Amplifier Design Handbook. Newnes, 2002.
- [2] Punčochář, J.: Operační zesilovače v elektrotechnice, 5. vydání, Nakladatelství DEXON, Karviná, 2001.
- [3] W. Marshall Leasch, Jr. : The Class-D Amplifier (From the book Introduction to Electroacoustics and Audio Amplifier Design, Second Edition)