

# CLASS D AUDIO AMPLIFIER WITH PWM MODULATION

**Luboš Arvai**

Bachelor Degree Programme(3), FEEC BUT  
E-mail: xarvai00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Tomáš Kratochvíl  
E-mail: kratot@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

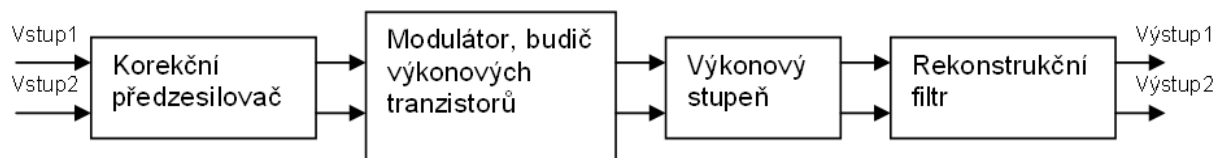
The Class D audio amplifiers work with the Pulse Width Modulation (PWM). For design of bellow described amplifier was used modern monolithic integrated circuit TPA3101D2 and design was completed with correction preamplifier and power module with MOSFET transistors.

## 1. ÚVOD

Hlavní výhodou nízkofrekvenčních zesilovačů ve třídě D je jejich vysoká účinnost. Proto se využívají v aplikacích, kde je důležitá co nejnižší spotřeba energie a malá velikost modulu zesilovače. Dnes je na trhu mnoho nízkofrekvenčních zesilovačů ve třídě D dostupných jako monolitický integrovaný obvod. Tyto zesilovače dosahují výkonu až 2x20W [1].

## 2. ROZBOR

Cílem návrhu bylo navrhnout jakostní nízkofrekvenční zesilovač ve třídě D s PWM modulací o výkonu 2x20W, který by sloužil jako přípravek pro měření v laboratoři. Pro konstrukci tohoto zesilovače byl použit monolitický integrovaný obvod, který bude řídit spínání výkonových tranzistorů a celý zesilovač byl doplněn o korekční předzesilovač. Blokové schéma navrhovaného zesilovače je uvedeno na obrázku 1.



**Obrázek 1:** Blokové schéma navrhovaného nízkofrekvenčního zesilovače ve třídě D.

### 2.1. KOREKČNÍ PŘEDZESILOVAČ

Korekční předzesilovač ovládá hlasitost, tónové korekce, stereo vyvážení a fyziologickou regulaci hlasitosti. Pro konstrukci byl zvolen integrovaný obvod korekčního předzesilovače od firmy National Semiconductor LM1036M. Tento obvod umožňuje ovládat výše uvedené parametry zesilovače. Obvod je zapojen dle doporučení výrobce, ale ovládání klasic-

kými potenciometry bylo nahrazeno ovládáním tlačítka pomocí digitálních potenciometrů DS1666 od firmy Dallas Semiconductor.

## 2.2. MODULÁTOR S BUDIČEM VÝKONOVÝCH TRANZISTORŮ

Modulátor převádí spojitý audio signál na PWM modulovaný signál. Budič řídí spínání výkonových MOSFET tranzistorů. V tomto bloku je použit integrovaný obvod firmy Texas Instruments TPA3101D2, jehož zapojení vychází z doporučení výrobce. Jedná se o „power stage“ obvod, který v sobě integruje i výkonový stupeň. Ten ale v mém návrhu pouze spíná externí výkonové MOSFET tranzistory. Tím je dosaženo vysoké účinnosti zesilovače.

## 2.3. VÝKONOVÝ STUPEŇ

Ve výkonovém stupni jsou použity MOSFET tranzistory v můstkovém zapojení. Obvod TPA3101D2, který řídí spínání výkonových tranzistorů, má symetrické výstupy a proto jsou použity MOSFET tranzistory s N a P kanálem. Toto řešení není ideální z hlediska zkreslení, protože díky výrobní technologii nelze vyrobit tranzistory s N a P kanálem, které by měly stejné vlastnosti. Pro výběr vhodných tranzistorů je nejdůležitější hodnota průrazného napětí  $U_{DS}$ . Minimální napětí  $U_{DS}$  pak lze spočítat podle následujícího vztahu [1]:

$$U_{DS\min} = \frac{\sqrt{2 \cdot P_{OUT} \cdot R_Z}}{M} + K = \frac{\sqrt{2 \cdot 20 \cdot 4}}{0,5} + 10\% = 27,8 V, \quad (1)$$

kde  $P_{OUT}$  je výstupní výkon zesilovače,  $R_Z$  impedance zátěže,  $M$  stupeň modulace,  $K$  rezerva. Pro navrhovaný zesilovač byly vybrány tranzistory od firmy International Rectifier IRF3205 a IRF4905. Parametry těchto tranzistorů jsou uvedeny v tabulce 1.

Technické parametry tranzistorů podle [2] a [3]	IRF3205	IRF4905
Průrazné napětí $U_{DS}$ [V]	Min. 55	Min. -55
Kontinuální proud $I_D$ [A] při $T_J=100^\circ\text{C}$	Max. 80	Max. -52
Teplota čipu za provozu [ $^\circ\text{C}$ ]	Max. 175	Max. 175
Statický odpor $R_{DS-on}$ [ $\Omega$ ]	Max. 0,008	Max. 0,02
Celkový náboj hradla $Q_G$ [nC]	Max. 146	Max. 180
Výstupní kapacita tranzistoru $C_{OSS}$ [pF]	Typ. 781	Typ. 1400

**Tabulka 1:** Vybrané parametry zvolených výkonových tranzistorů IRF.

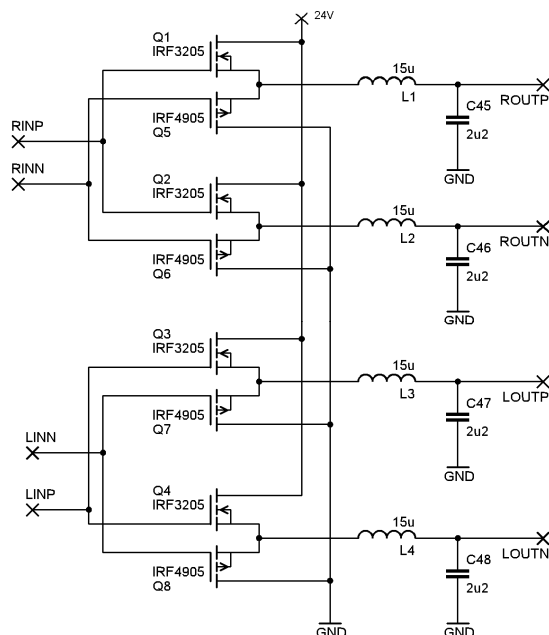
Ve výkonovém stupni také dochází k největším ztrátám v celém zesilovači. Tyto ztráty jsou dvojího druhu:

- ztráty vedením, které závisí na hodnotě statického odporu tranzistoru v sepnutém stavu – parametr  $R_{DS-on}$ ;
- ztráty spínáním, které se skládají ze ztrát v hradle tranzistoru, kam je potřeba pro sepnutí tranzistoru přivést určitý náboj a spínacích ztrát, které vznikají přechodnými jevy při spínání tranzistoru.

Schéma zapojení výkonového stupně a rekonstrukčního filtru je uvedeno na obrázku 2.

## 2.4. REKONSTRUKČNÍ FILTR

Jedná se o LC filtr typu dolní propust druhého řádu, kterým lze získat z PWM signálu jeho střední hodnotu, která nese užitečnou informaci. Filtr se skládá z cívky navinuté na toroidním železoprachovém jádře T68-2 a fóliového kondenzátoru MKS4-2,2 $\mu$ F/63V. K vinutí cívky bude použit lakovaný měděný vodič nebo lakované měděné vysokofrekvenční lanko v závislosti na výkonu a spínací frekvenci zesilovače.



**Obrázek 2:** Zapojení výkonového stupně a rekonstrukčního filtru zesilovače.

## 3. ZÁVĚR

Použití zesilovače třídy D pro konstrukci nízkofrekvenčních zesilovačů umožňuje dosáhnout malých fyzických rozměrů zesilovače i při velkém výstupním výkonu. Pokud jsou použity integrované obvody, tak se zesilovač skládá z malého počtu součástek a jeho obvodový návrh je jednoduchý. Nevýhodou třídy D je potřeba pečlivého návrhu desky plošných spojů, tak aby nedocházelo k pronikání spínací frekvence do užitečného signálu.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM0021630513 a projektu FRVŠ 622/2009 „Inovace laboratorní výuky předmětu Nízkofrekvenční elektronika“.

## LITERATURA

- [1] ŠTÁL, Petr. *Výkonové audio zesilovače pracující ve třídě D*, BEN - technická literatura, Praha 2008, 200s. ISBN 978-80-7300-230-5
- [2] IRF3205 Datasheet [online], International Rectifier, [cit. 19. února 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf/>>
- [3] IRF4905 Datasheet [online], International Rectifier, [cit. 19. února 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf4905.pdf/>>