
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1234R567 – Elektronické informační a řídicí systémy

Řídicí zesilovač vibrátoru ES020
Control amplifier for shaker ES020

Bakalářská práce

Autor: **Pavel Stranka**
Vedoucí práce: Ing. Jan Václavík
Konzultant: Ing. Martin Černík, PhD.

V Liberci 28. 5. 2009

SEM vložit originál zadání práce !!!

Prohlášení:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL. V tomto případě má TUL právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Janu Václavíkovi za odborné vedení bakalářské práce a poskytnuté konzultace a Ing. Martinu Černíkovi PhD., za poskytnuté konzultace.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům a celé rodině za podporu při studiu.

Abstrakt:

Cílem tohoto projektu je realizace požadavku TUL vytvořit řídicí přístroj k laboratornímu zařízení vibrátoru typ ES020. Zařízení je určeno pro měření a testování účinků vibrací v rámci výzkumu potlačování těchto jevů pomocí inteligentních materiálů. Dále ho lze použít při testování piezoelektrických materiálů zrovna tak jako pro kalibrace a ověřování akcelerometrů a senzorů síly v dynamickém režimu.

Přístroj je navrhován pro použití elektrodynamický měnič typ ES020 – dále jen vibrátor. Konstrukce zařízení je částečně univerzální. To znamená, že obsahuje prvky, kterými ho lze jednoduše svými parametry přizpůsobit k parametrům i jiného používaného vibrátoru. Můj úkol byl tímto pro daný účel přesně specifikován. Zařízení se v běžné technické praxi nevyskytuje. Proto mi byl zadán úkol zkonstruovat takový přístroj, který těmto požadavkům plně vyhoví.

Abstract:

The aim of this project is the realization of the TUL request to create a control system for the laboratory device shaker type ES020. The shaker is designated for measuring end testing the consequences of vibration within the research of suppressing of these phenomena with help of intelligent materials.

Next it can be also used when testing piezoelectric materials as well as calibrating and verifying accelerometers and power sensors in dynamic operation.

The system is suggested for the electro dynamic shaker – type ES020, next only shaker. The construction of the system is partly universal. It means, that it contains same elements which are simply adjustable as for their parameters, for another shaker. My task was for this purpose exactly specified. The system doesn't exist in ordinary technical practice. That's why my task was to construct such device which would be fully convenient for suggested requirements.

Obsah

Úvod.....	10
1. Teoretická část	11
1.1 Blokové schéma přístroje.....	11
1.2 Výkonový zesilovač	13
1.3 Monitorovací část.....	16
1.3.1 Zpožděné připojení výstupu.....	16
1.3.2 Ochrana před nežádoucím stejnosměrným napětím na výstupu	16
1.3.3 Tepelná ochrana - proti přehřátí přístroje.....	16
1.3.4 Řízení otáček chladicího ventilátoru.....	17
1.3.5 Ochrana k omezení limitních parametrů přístroje.....	17
1.4 Vibrátor ES020	20
1.4.1 Princip činnosti elektrodynamického systému.....	20
1.4.2 Konstrukce elektrodynamického systému	21
2 Praktická část	23
2.1 Zdrojová část.....	24
2.1.1 Tabulka parametrů zdroje	27
2.1.2 Schéma	28
2.2 Výkonový nízkofrekvenční zesilovač	29
2.2.1 Použitý zesilovač pracuje ve třídě AB s parametry	29
2.2.2 Schéma výkonového zesilovače.....	30
2.2.3 Popis zapojení	31
2.2.4 Úpravy zesilovače	32
2.3 Ochrana před nežádoucím stejnosměrným napětím na výstupu	35
2.3.1 Schéma	35
2.3.2 Popis zapojení	36
2.3.3 Výpočty	36

2.4 Tepelná ochrana	38
2.4.1 Schéma	38
2.4.2 Popis zapojení	38
2.5 Řízení ventilátoru	40
2.5.1 Schéma	40
2.5.2 Popis funkce	40
2.6 Ochrana překročení limitních parametrů přístroje	42
2.6.1 Schéma	42
2.7 Signalizační část.....	48
2.7.1 Popis zapojení signalizačních LED diod	49
3 Závěr	51
4 Seznam použité literatury.....	52
5 Seznam příloh.....	53

Seznam obrázků

Obr. 1. Blokové schéma přístroje.....	11
Obr. 2. Principiální schéma výkonového zesilovače	13
Obr. 3. Znázornění efektivní hodnoty	19
Obr. 4. Uspořádání kmitací cívky v magnetickém poli	20
Obr. 6. Vinutí transformátoru.....	24
Obr. 7. Schéma zdrojové části.....	28
Obr. 8. Schéma NF výkonového zesilovače	30
Obr. 9. Úprava NF zesilovače pro kladnou větev výkonové části	33
Obr. 10. Úprava NF zesilovače pro zápornou větev výkonové části	34
Obr. 11. Schéma ochrany před nežádoucím ss napětím na výstupu	35
Obr. 12. Schéma tepelné ochrany	38
Obr. 13. Síťové zapojení transformátoru	39
Obr. 14. Schéma řízení ventilátoru	40
Obr. 15. Schéma vstupní části ochrany	42
Obr. 16. Katalogové zapojení výrobcem.....	43
Obr. 17. Schéma vyhodnocovací části ochrany	44
Obr. 18. Průběhy výstupního napětí integrátoru pro $u_i > 0$	45
Obr. 19. Schéma řízené části ochrany	46
Obr. 20. Nákres čelního panelu přístroje	48
Obr. 21. Schéma zapojení LED na ~ 230 V.....	49
Obr. 22. Schéma zapojení LED diody do obvodu stejnosměrného napětí.....	49

Úvod

Úkolem bakalářské práce bylo zkonstruovat přístroj do laboratoře pro buzení elektromagnetického vibrátoru. Vibrátor ES020 je určen pro měření a testování účinků vibrací v rámci výzkumu potlačování těchto jevů pomocí inteligentních materiálů.

Přístroj se skládá z pěti základních částí.

Tyto části jsou: a) Zdrojová část

b) Výkonová část

c) Monitorovací část

d) Řízený prvek – vibrátor

e) Část signalizující stav přístroje

Přístroj je navržen tak, aby nebyly limitovány technické parametry samotného vibrátoru. Vibrátor je poměrně drahé zařízení. Tato konstrukce musí zajišťovat svými parametry jeho ochranu. Bylo nutno zjistit parametry vibrátoru a tuto skutečnost vzít v úvahu při návrhu celého zařízení.

Přístroj neobsahuje budící generátor signálu. Je nutno používat generátor externí. Vibrátor sám o sobě je velmi kvalitní elektrodynamický převodník elektrického signálu na mechanické kmitání. Je poměrně energeticky náročný. K zajištění jeho řádného vybuzení a zároveň stability kmitočtu i amplitudy musela být zvolena konstrukce kvalitního budícího stupně – výkonového zesilovače. Funkce vibrátoru je podobná systému dynamického reproduktoru. Jako výkonový stupeň je použit kvalitní nízkofrekvenční zesilovač. Bylo možno použít toto řešení, jelikož parametry vibrátoru jsou velmi podobné parametrům reproduktoru.

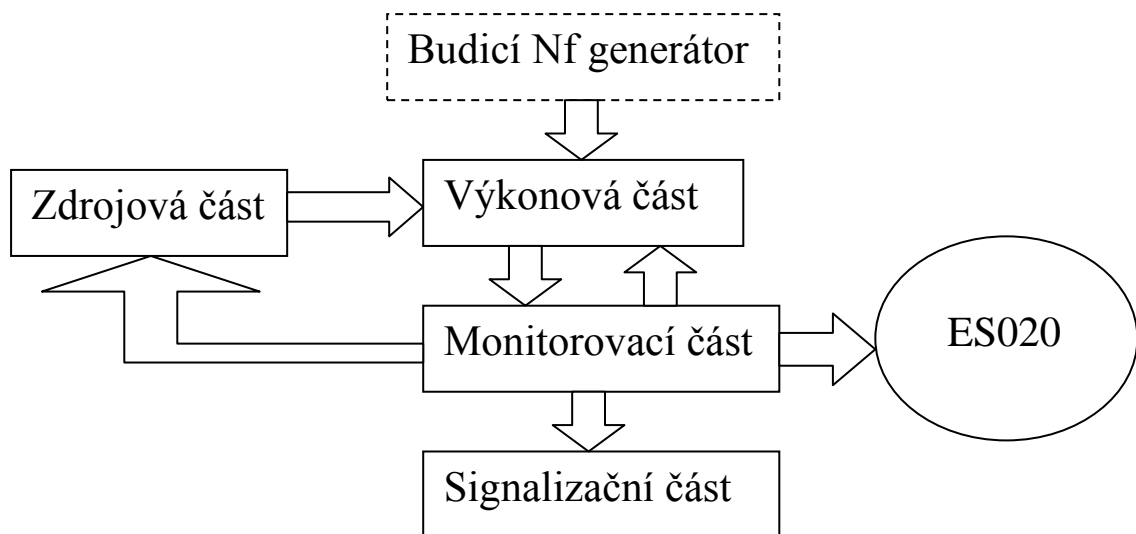
K zajištění vysoké frekvenční stability je konstrukce zvolena pro generátor externí. Tato forma byla zvolena z důvodu nesnadného zajištění stabilního napájecího zdroje uvnitř přístroje, pro případný vnitřní generátor, což by záporně ovlivňovalo jeho parametry. Výhoda tohoto řešení spočívá v přesnějším zajištění tvaru signálu a možnosti aplikace jiných tvarů signálu než jen sinusový. Externí generátor bývá z pravidla součástí vybavení běžné laboratoře. Náklady na konstrukci přístroje se tímto řešením podstatně snížily.

Parametry a fotografii samotného vibrátoru uvádím, viz příloha A.

1. Teoretická část

Blokové schéma přístroje a jeho integrace v měřicím řetězci je naznačena na obrázku č. 1. Mimo externího budicího generátoru a samotného vibrátoru je přístroj sestaven ze 4 logických bloků – zdrojové, výkonové, monitorovací a signalizační části.

1.1 Blokové schéma přístroje



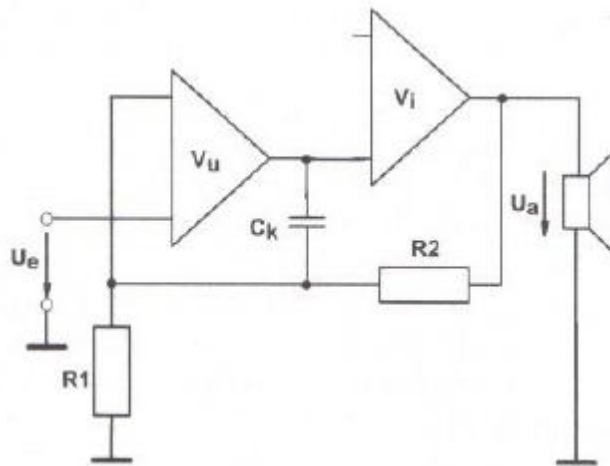
Obr. 1. Blokové schéma přístroje

- **Budicí Nf generátor:** Použit libovolný externí přístroj s vhodnými parametry tj. výstupní napětí alespoň 0 - 800mV na výstupní impedanci 50 Ω .
- **Zdrojová část:** Zdroj, který pro celý přístroj zajišťuje potřebná elektrická napětí s příslušným elektrickým výkonem. Skládá se z více sekcí.
- **Výkonová část:** Další důležitou částí je výkonový budič samotného vibrátoru. Je použit výkonový nízkofrekvenční zesilovač – dále výkonový zesilovač.
- **Monitorovací část:** Elektronický řídicí a monitorovací obvod, který je nastaven tak aby v žádném případě nedošlo k přesáhnutí limitních parametrů vibrátoru – chrání vibrátor před zničením.
- **Signalizační část:** Slouží k signalizaci stavu, ve kterém se přístroj nachází. Přístroj je vybaven několika ochrannými prvky. Pro snazší identifikaci závady je každá z ochran vybavena indikační LED diodu s případným dalším elektronickým obvodem.

- **Vibrátor ES020:** Zařízení je určeno pro měření a testování účinků vibrací. V rámci výzkumu potlačování těchto jevů pomocí inteligentních materiálů. Dále ho lze použít při testování piezoelektrických materiálů zrovna tak jako pro kalibrace a ověřování akcelerometrů a senzorů síly v dynamickém režimu.

1.2 Výkonový zesilovač

Zesilovač má za úkol jako výstupní část řetězce v přístroji zesílit vstupní signál na potřebnou úroveň pro náležité vybuzení daného vibrátoru. Zesilovač musí mít kromě jiného, takové vlastnosti aby v celém použitelném rozsahu byl schopen dodat na svorky vibrátoru náležité napětí. Výstupní napětí musí mít minimální tvarové zkreslení aby se nedegradovali vlastnosti vibrátoru. Můžeme si jej představit jako zesilovač napětí V_u na vstupu viz obrázek č. 2, jenž má za úkol mimo potřebného zesílení napětí i oddělení od předchozích stupňů předzesilovače. Musí vybudit následující proudový zesilovač V_i tak, aby tento stupeň byl schopen do připojeného vibrátoru odevzdat i požadovaný výkon.



Obr. 2. Principiální schéma výkonového zesilovače [1]

Vstupní část, tj. napěťový zesilovač koncového stupně moderních zesilovačů se obvykle skládá ze vstupního diferenciálního zesilovače, zdroje konstantního proudu a oddělovacího zesilovače. Toto uspořádání zhruba odpovídá i vnitřnímu zapojení speciálního integrovaného obvodu: výkonového operačního zesilovače. Operační zesilovače však až do nedávna měly některé nedostatky, kvůli kterým nebyly příliš vhodné k použití v nízkofrekvenčních zesilovačích. Mezi nežádoucí vlastnosti patřily například malá šířka přenášeného pásma, vysoký vlastní šum, tepelný drift, malá přeběhová rychlost a celková stabilita některých parametrů. V nynější době jsou integrované zesilovače mnohem kvalitnější.

Následující proudový zesilovací stupeň je zapojený jako protitaktně pracující – push pull. Obsahuje mimoto ještě obvod pro nastavení klidového proudu, případně jeho stabilizaci. Rovněž zajišťuje i omezovač proudu s obvodem kontroly teploty.

Velmi významnou roli v zapojení tvoří záporná zpětná vazba. Zpětná vazba je zavedena pomocí rezistorů R1, R2. Rezistory jsou zapojeny jako dělič napětí. Napětí přiváděné ze středu tohoto děliče je zavedeno ve stejné polaritě z výstupu na vstup zesilujícího prvku. Vhodnou volbou hodnot rezistorů R1, R2 dosáhneme vhodného napětového zesílení zesilovače. Záporná zpětná vazba má následně celou řadu dalších důsledků. Působí pozitivně na parametry zesilovače, jako jsou například snížení celkového zkreslení, zvětšení šířky přenášeného pásma kmitočtů, zvýšení stability, zlepšení přeběhové rychlosti, změna výstupní impedance příslušného zesilovacího stupně atp.

Pro celkové zesílení zesilovače se zápornou zpětnou vazbou platí:

$$V_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

kde V_U je napětové zesílení ve voltech a R1, R2 hodnoty rezistorů v ohmech. Možný velký fázový posun signálu, při určitých hodnotách mezi vstupem a výstupem zesilovače skrývá nebezpečí parazitní kladné zpětné vazby. Důsledkem by mohlo být rozkmitání celého zesilovače, tudíž porušení stability. Kompenzace tohoto efektu je dosaženo kondenzátorem C_K . Podle [1].

Pro daný účel bylo na výběr poměrně mnoho možností jaký zesilovač použít. Z důvodu uzavření do prostoru malé přístrojové skříně a použití poměrně malého chladiče byl vybrán zesilovač s relativně dobrou účinností a dobrými vlastnostmi pro danou aplikaci. Byl použit modul FMD1200, což je nízkofrekvenční zesilovač o výkonu 120W. Zesilovač má symetrické napájení s výkonovými MOSfet tranzistory. Zesilovač se vyznačuje velkou rychlostí přeběhu a velmi dobrým činitelem tlumení. Výstupní výkon zesilovače je pro naše použití s dostatečnou rezervou.

Elektrický výkon systému je fyzikální veličina, která vyjadřuje elektrickou práci vykonanou systémem za jednotku času. Značí se písmenem P a jeho jednotkou je watt, značený písmenem W.

Impedance použitého vibrátoru je dle dodaných parametrů $Z = 3,5 \Omega$. Výpočtem zjistíme maximální výkon z daných hodnot:

$$\text{Pro: } Z = 3,5 \Omega$$

$$I = 2,5 \text{ A}$$

$$P = Z \cdot I^2 \quad (2)$$

$$P = 3,5 \cdot 2,5^2 = 21,9 \text{ W}$$

Výkon použitého zesilovače 100W, je pro aplikaci v přístroji více než dostačující. Zesilovač bude pracovat s patřičnou výkonovou rezervou což nikdy není na škodu.

1.3 Monitorovací část

Nejdůležitější částí je elektronický řídicí a monitorovací obvod, který je nastaven tak aby v žádném případě nedošlo k přesáhnutí limitních parametrů vibrátoru – chrání vibrátor před zničením.

Vibrátor ES020 nepatří mezi levná zařízení, proto vyvíjený přístroj musí být pro tento vibrátor bezpečný za všech situací. Modul hlídá a následně limituje výstup přístroje, při překročení nastavených dovolených hodnot.

Modul je vybaven těmito prvky:

1.3.1 Zpožděné připojení výstupu

V přístroji zajišťuje funkci zpožděného připojení výstupu výkonového zesilovače, po ustálení všech přechodných dějů v přístroji bezprostředně po jeho zapnutí. Výkonový zesilovač je napájen symetrickým napětím, kde přechodné děje při zapnutí nepůsobí takový problém jako při napájení nesymetrickém. Celý děj odezní do cca 3 sekund po zapnutí přístroje.

1.3.2 Ochrana před nežádoucím stejnosměrným napětím na výstupu

Funkcí této ochrany je monitorování výstupu výkonového zesilovače na výstupních svorkách přístroje. V případě jakékoliv poruchy na zesilovači, při výskytu stejnosměrné složky napětí na výstupu přístroje, tato ochrana odpojuje připojený vibrátor od výstupu. Působí již od stejnosměrných 0,8V na výstupních svorkách přístroje. Při buzení vibrátoru velmi nízkou frekvencí například okolo 5 Hz, by mohla ochrana zapůsobit a při měření, vibrátor neočekávaně odpojit. Ochranu lze vyřadit.

1.3.3 Tepelná ochrana - proti přehřátí přístroje

Tepelná ochrana chrání především výkonový zesilovač v přístroji použitý. Teplota je snímána na chladiči koncových tranzistorů výkonového zesilovače. Je nastavena tak aby odpojovala napájení zesilovače při teplotě vyšší jak 70 °C na chladiči. Tato teplota není nijak kritická avšak je potřeba vzít v úvahu, že teplota na čipu každého tranzistoru připevněného na chladiči je o několik desítek stupňů vyšší. Použitá přístrojová skříň je plastová. Pro tento účel je bezpečnější tuto teplotu nastavit níže, z důvodu nežádoucích deformací.

V přístroji jsou umístěny dva druhy tepelné ochrany. První je elektronická, která při přehřátí odpojuje od napájení pouze výkonový zesilovač. Druhou tvoří mechanický termostatický prvek, umístěný též na chladiči výkonových tranzistorů zesilovače. Tento prvek je zapojen v obvodu primárního vinutí toroidního transformátoru. V případě, že z nějakého důvodu selže elektronická tepelná ochrana a teplota na chladiči vystoupá nad 80 °C, celý přístroj odpojí od sítě.

1.3.4 Řízení otáček chladičového ventilátoru

Řídicí prvek ventilátoru je umístěný na modulu ochran. Vykonává funkci řízení dvou ventilátorů umístěných na zadním panelu přístroje. Ventilátory zastávají funkci nuceného chlazení chladiče výkonového zesilovače. Důvodem pro toto řešení je nutné použití poddimenzovaného chladiče.

Teplotu chladiče snímá termistorové čidlo. Při případném zvyšování teploty na chladiči se oba ventilátory točí rychleji a tím účinněji ochlazují chladič přístroje.

1.3.5 Ochrana k omezení limitních parametrů přístroje

Týká se konkrétně o výstupního, špičkového a středního výkonu. Na výstupní svorky přístroje je sériově připojen rezistor, na něm se snímá napětí, úměrné procházejícímu proudu. Napětí se přivádí na převodník skutečné hodnoty RMS, který ho převádí na RMS hodnotu stejnosměrného napětí.

RMS z Angličtiny Root Mean Square, česky doslovně „odmocnina průměru čtverců“, jinak též kvadratický průměr. RMS amplituda se používá pro měření a porovnávání dynamických signálů všech tvarů a velikostí. RMS amplituda je ohřívací potenciál dynamických signálů. Efektivní hodnota střídavého napětí / proudu RMS je rovna hodnotě stejnosměrného napětí / proudu. Bude mít stejné tepelné účinky. V praxi se převážně používá termín efektivní proud, nebo efektivní napětí. Pokud se v elektrotechnice mluví o jinak neurčených hodnotách střídavých napětí nebo proudů, většinou se předpokládá, že se jedná o efektivní hodnoty.

Pokud se jedná o proud, který má sinusový průběh, pak platí:

$$I_{ef} = I_{max} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(t) dt} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Pokud se jedná o napětí, které má sinusový průběh, pak platí:

$$U_{ef} = U_{max} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(t) dt} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Některé měřicí přístroje využívají jednodušší metodu a to tu, že měří střední absolutní hodnotu střídavého napětí či proudu, která je rovna:

$$U_{střabs} = U_{max} \cdot \frac{2}{\pi} \quad (5)$$

Pro určení efektivní hodnoty střídavého sinusového průběhu poté násobí tuto hodnotu tak zvaným koeficientem tvaru

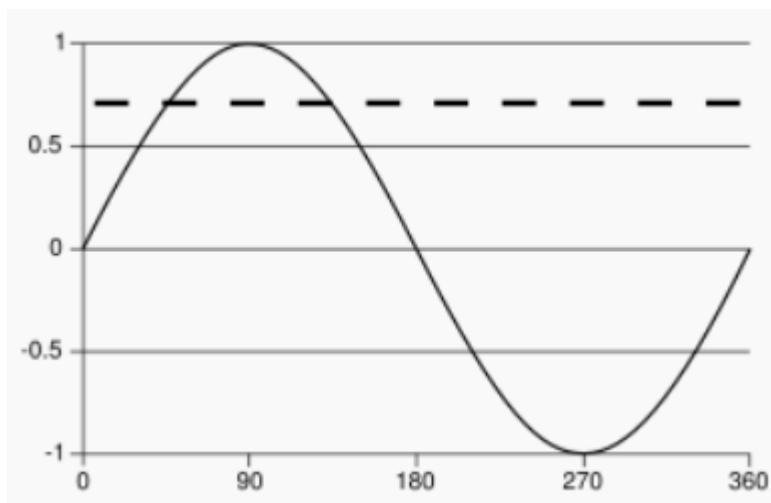
$$k_t = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \quad (6)$$

Tento koeficient se pak rovná zhruba 1,11

$$U_{ef} = U_{střabs} \cdot \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \quad (7)$$

Pokud není střídavý průběh napětí či proudu přesná sinusoida, pak nejspíš naměříme různými přístroji mírně odlišnou velikost napětí, či proudu. Záleží, jakou metodou daný přístroj měří, zda metodou střední kvadratické hodnoty true RMS, nebo střední absolutní hodnoty. Podle [7]

Na obrázku č. 3 je znázorněna velikost, která odpovídá RMS hodnotě, tedy odmocnině průměru čtverců.



Obr. 3. Znázornění efektivní hodnoty [7]

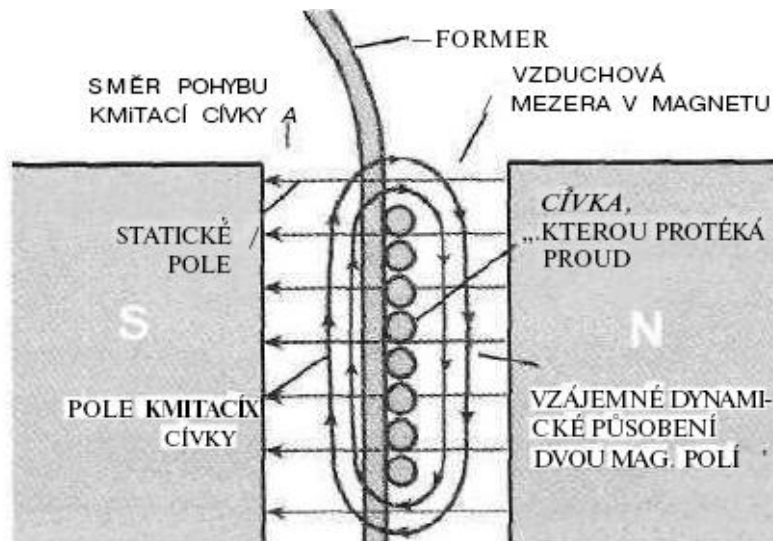
U konstruovaného přístroje je omezen přesah RMS hodnoty proudu na výstupu cca 2 A. Větší přesah by vedl k tepelnému přetížení používaného vibrátoru. Rovněž je omezován nežádoucí výstupní špičkový proud pod 5 A. Tato otázka je řešena v samotném obvodu výkonového zesilovače, doplněním omezujícího prvku.

1.4 Vibrátor ES020

Řízený vibrátor ES020 jako „hnací motor“ využívá elektrodynamického systému. Takovýto systém je velice rozšířený například v audio technice v reproduktorech atp.

1.4.1 Princip činnosti elektrodynamického systému

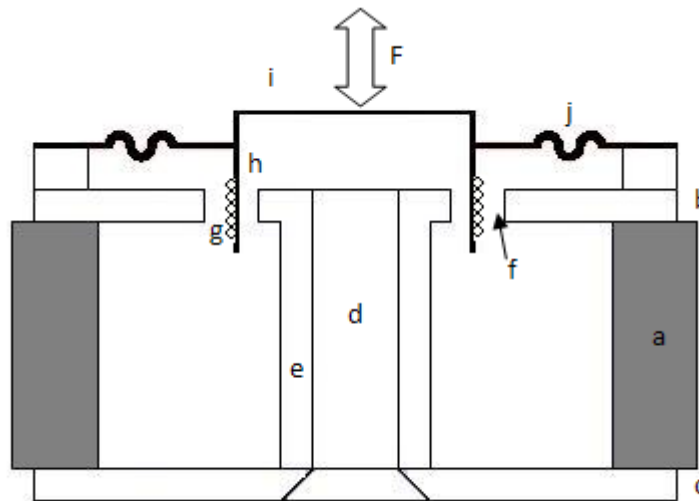
Funkce elektrodynamického systému je založena na principu vzájemného silového působení elektromagnetického pole vodiče a magnetického pole permanentního magnetu s příslušnými pólovými nastavci.



Obr. 4. Uspořádání kmitací cívky v magnetickém poli [3]

Přivedením elektrického proudu na vodič, se kolem něho indukuje magnetické pole. Toto pole působí dle polaritý přiváděného napětí proti magnetickému poli magnetu, nebo opačně. Podle směru vzájemného působení magnetických polí je cívka, buď vtahována, nebo vypuzována z vzduchové mezery magnetu.

1.4.2 Konstrukce elektrodynamického systému



Obr. 5. Konstrukce elektrodynamického systému

- a) magnetický obvod, magnet
- b) horní deska
- c) zadní deska
- d) otvor v magnetu
- e) pólový nástavec
- f) mezera
- g) kmitací cívka
- h) kostra kmitací cívky
- i) kmitací trn
- j) středící membrána

Magnetický obvod

Magnetický obvod se skládá z horní desky, samotného magnetu, zadní desky, pólových nástavců a popř. otvoru v magnetu. Je základní součástí pohonu elektrodynamického systému. Používá se jako permanentní magnet s magneticky měkkými pólovými nástavci, jejichž úkolem je soustředit magnetickou energii do pracovní mezeře, v které se pohybuje kmitací cívka. Magnet nejčastěji tvoří vnější plášť magnetického obvodu. Materiál magnetuje většinou magneticky tvrdý ferit, u nejspičkovějších typů najdeme magnet s příměsí magnetických zemin (Nd). Starší systémy používaly slitinu AlNiCo. Magnetický obvod je konstruován tak, aby magnetické pole v mezeře bylo pokud možno homogenní z důvodu menšího

zkreslení. K lepšímu odvodu tepla slouží chladicí otvor, čímž se zmenšuje vliv termické komprese. Otvor v magnetu, který se někdy nazývá středovým kanálkem, má ještě jeden přínos. Při pohybu kmitací cívky v uzavřeném magnetickém obvodu bez otvoru dochází ke kompresi vzduchu, který tak klade pohybu jistý odpor - způsobuje jisté tlumení pohybu cívky.

Kmitací cívka

Kmitací cívka spolu s magnetickým obvodem je hlavním hnacím ústrojím systému. „Motorická“ síla se vyjadřuje součinem magnetické indukce a délky navinutého vodiče. Bude-li alespoň jedno z toho větší, bude větší i charakteristická citlivost systému. Kmitací cívka neudává jenom motorické vlastnosti systému, ale má i vliv na frekvenční charakteristiku. Obecně platí, že čím je delší vinutí cívky, tím je samozřejmě větší maximální výchylka. Vinutí je nejčastěji vyrobeno z izolovaného vodiče (měď, hliník, poměděný hliník), navinuté na cívkovém tělese (formeru), které je spojeno s kmitajícím trnem. Charakteristické vlastnosti cívky jsou dány geometrickými rozměry a vzájemnými fyzikálními vztahy.

Magnetická mezera

Je prostorem v magnetu, kde se pohybuje kmitací cívka a kde je nejvyšší hodnota magnetické indukce. Čím vyšší indukce bude, tím jsou silnější dynamické účinky na kmitací ústrojí, zkrátka „motor“ systému má větší sílu.

Funkce tohoto systému je založena hlavně na střídavém proudu a napětí. Podle [3]

2 Praktická část

V počátcích konstruování přístroje byly k dispozici dodány tyto prvky: přístrojová skříň, toroidní transformátor, síťový konektor do panelu, dva 60 mm ventilátory, hliníkový chladič, modul nestabilizovaného zdroje, modul zesilovače a konektory na přední přístrojový panel.

Z těchto konstrukčních prvků bylo za úkol sestavit elektrický přístroj, který vyhoví požadavkům zadání. Dále je popsána praktická konstrukce.

Zadní panel obsahuje síťového konektoru s pojistkou a vypínačem, dva 60 mm ventilátory. Tyto ventilátory byly nutností, jelikož dodaná přístrojová skříň, je malých rozměrů a tepelná ztráta na dodaném chladiči bude vyšší. Bylo za potřebí, zajistit potřebný průtok vzduchu kolem chladiče, což oba ventilátory dobře obstarají. Z důvodu hluku jsou otáčky obou ventilátorů řízeny modulem řízení otáček, který je zmíněn dále.

Transformátor svými parametry plně nevyhovoval, obsahoval pouze napájecí napětí pro výkonový zesilovač. Byla potřeba zajistit další napájecí napětí pro modul ochran. Dodaný modul napájecího zdroje, byl příliš veliký a pro daný účel nevhodný. Byl navrhnout zdroj vlastní konstrukce.

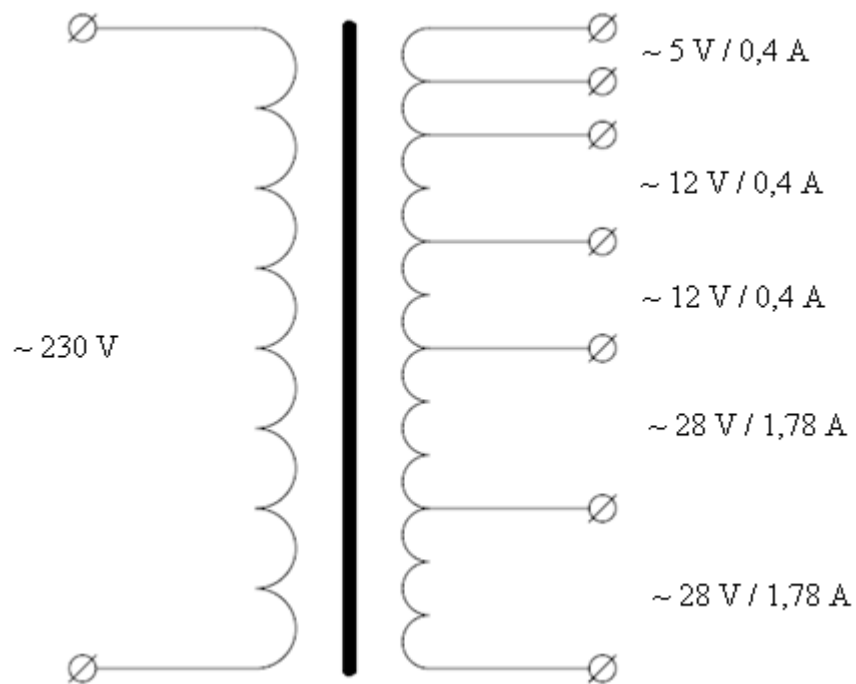
Výkonový zesilovač se úpravám nevyhnul též. Zesilovač neměl proudovou ochranu, kterou by bylo možné přenastavit na zadané limity. Do obvodu zesilovače konkrétně do míst ke koncovým tranzistorům byl vsazen modul, jehož konstrukci popíši dále.

V návrhu přístroje bylo nutno navrhnout a zhotovit další moduly tj. modul ochran chránící vibrátor před zničením a signalizační část, signalizující vzniklé chyby na přístroji.

Přístrojovou skříň a dodané součásti byly třeba mechanicky upravit a následně upevnit.

2.1 Zdrojová část

Pro lepší účinnost a malé rozměry je použit toroidní transformátor typ: TST 100/016. Jehož parametry jsou $U_{\text{PRIM.}} = 230\text{V}$, $U_{\text{SEC.}} = 2 \times 28\text{V}$ ($2 \times 1,78\text{A}$). Tato dvě hlavní vinutí jsou použita pro napájení zesilovače. Byla potřeba další napětí pro napájení modulu ochrany a signálních obvodů. V přístrojové skříni bylo velmi málo místa. Muselo se přivinout na stávající toroidní transformátor ještě další 3 vinutí. Nejprve se na transformátoru udělal jeden závit a změřilo se, jaké je na něm naindukované napětí. Tímto byla učiněna představa, kolik bude potřeba navinout závitů, pro dosažení požadovaného napětí. Ve výsledku má transformátor celkem 5 vinutí. Vinutí mají napětí $2 \times 28\text{V}$, $2 \times 12\text{V}$ pro ochrany a $1 \times 5\text{V}$ pro logiku použitou v modulu ochrany.



Obr. 6. Vinutí transformátoru

Po přeměření transformátoru se zjistilo, že hlavní vinutí transformátoru v nezátíženém stavu (na prázdkno) je rovno $U_{20} = 31,9 \text{ V}$. Výsledné napětí na výstupu z modulu zdroje v každé větvi je dáno úbytkem $0,7\text{V}$ na diodě v můstku. Na filtračních kondenzátorech ve zdroji po vyhlazení, napětí stoupne o násobek druhé odmocniny, tedy podle vzorce:

$$U_{OUT} = (U_{IN} - 0,7) * \sqrt{2} \quad (8)$$

Pro náš konkrétní případ, kdy transformátor na prázdkno má napětí $U_{20} = 31,9 \text{ V}$ bude na výstupu:

$$U_{OUT} = (31,88 - 0,7) * \sqrt{2}$$

$$U_{OUT} = 44,09 \text{ V}$$

Měření potvrdilo vypočtený výsledek. Výpočet je správný. Na výstupní svorkovnici XC7 dle schématu na obrázku č. 7 je napětí o velikosti $2 \times 44 \text{ V}$. Takovéto napětí pro použitý výkonový zesilovač je příliš veliké. Maximální napájecí napětí výkonného zesilovače podle technické dokumentace [8] je $2 \times 40 \text{ V}$.

Bylo tedy nutností vhodným způsobem zmenšit napájecí napětí o 4 V v každé větvi zdroje. Tento problém je možno řešit tranzistorovými stabilizátory atp. Z důvodu vzniku dalšího tepla a potřeby dalšího chlazení, se od tohoto řešení upustilo. Zvolil se způsob relativně bezeztrátový. Úprava výstupního napětí transformátoru, byla provedena tím způsobem, že se navinula další dvě pomocná vinutí. Tato vinutí se zapojila v proti fázi s vinutím hlavním. Ve výsledku se tato dvě napětí vinutí odečetla.

Nejprve bylo potřeba zjistit, jak velká napětí tato pomocná vinutí mají mít. Použil se výše uvedený způsob, který se upravil a vypočetl:

$$U_{OUT} = (U_{20} - 0,7) * \sqrt{2} \quad (9)$$

$$40 = (U_{20} - 0,7) * \sqrt{2}$$

$$U_{20} = \frac{40}{\sqrt{2}} + 0,7$$

$$U_{20} = 29 \text{ V}$$

Bylo vypočteno, že námi požadovaný transformátor musí mít pro napájení zesilovače dvě vinutí o napětí naprázdno 2 x 29 V.

Pro pomalý náběh a pro šetření kondenzátorů je ve zdroji v sérii s primárním vinutím transformátoru vřazen výkonový termistor typ: 10S250L. Tento termistor zastává funkci soft startu. Pracuje tak, že při zapnutí přístroje má větší hodnotu odporu, kterou po jeho zatížení a zahřátí termistoru zmenší na minimum. Ve výsledku žádnou podstatnou funkci v přístroji nezastává, ale částečně se zahřívá.

Dle schématu na obrázku č. 7 zhotovené sekundární vinutí o napětí 2 x 29 V určené pro zesilovač připojíme na svorky XC4 a to tak, že na jeden kraj svorky připojíme začátek prvního vinutí a na druhý kraj konec druhého vinutí. Hlavní část zdroje, z které je napájen zesilovač obsahuje usměrňovací můstek M3, jehož maximální dovolený proud je 8A a maximální napětí 600V. Pro naše požadavky je dostatečně dimenzovaný. Za můstkem následuje filtrační kapacita C15, C16. Tvoří jí pro každou větev jeden kvalitní kondenzátor o kapacitě 4700 mF pro maximální dovolené napětí 50 V. Tato filtrace pro naše účely vyhoví. Z konstrukčních důvodů byly na desce zdroje osazeny relé RE1 RE2, která při poruše odpojí zesilovač od napájení. Relé jsou řízena modulem ochran. V případě poruchy nesmí být zesilovač dále napájen zbytkovým napětím z filtračních kondenzátorů. Z tohoto důvodu jsou relé zapojena v obvodu až za filtračními kondenzátory. Kondenzátory C5 a C6 jsou pouze blokovací. Dioda VD5 je rekuperační pro omezení napěťových špiček při vypnutí cívky relé. Chrání spínací tranzistor před zničením.

Relé RE1 a RE2 jsou řazena sériově a každé z nich má cívku na 12V, jsou napájena nestabilizovaným napětím z kladné větve před stabilizátorem N1. Pro lepší funkci stabilizačních obvodů jsem použil napájení relé před stabilizátory. Výsledné napětí je přibližně 17,5 V, což postačuje pro bezpečné sepnutí obou relé. Jejich spínání obstarává tranzistor VT7 v modulu ochran na obrázku č. 19, jehož funkci je popsána dále. Připojení je provedeno přes svorku XC3.

Mezi další části zdroje patří pomocné napájecí napětí pro modul ochran. Zde stejně jako u předchozí části obvodu jsou opět použity usměrňovací diodové můstky, z důvodu ušetření místa. Na svorkovnici XC5 je přivedeno střídavé napětí 2 x 13 V. Napětí je vyfiltrováno kondenzátory C14, C15 a přivedeno na integrované stabilizátory kladné větve N1 a záporné větve N3. Stabilizátory jsou blokovány keramickými kondenzátory C7, C10, C8, C11 o hodnotách 100 NF k zamezení vysokofrekvenčních překmitů. Oba tyto stabilizátory mají maximální proud 1 A, což je pro modul ochran více než dostačující. Výstupní napětí 2 x 12 V je vyvedeno na svorkovnici XC6.

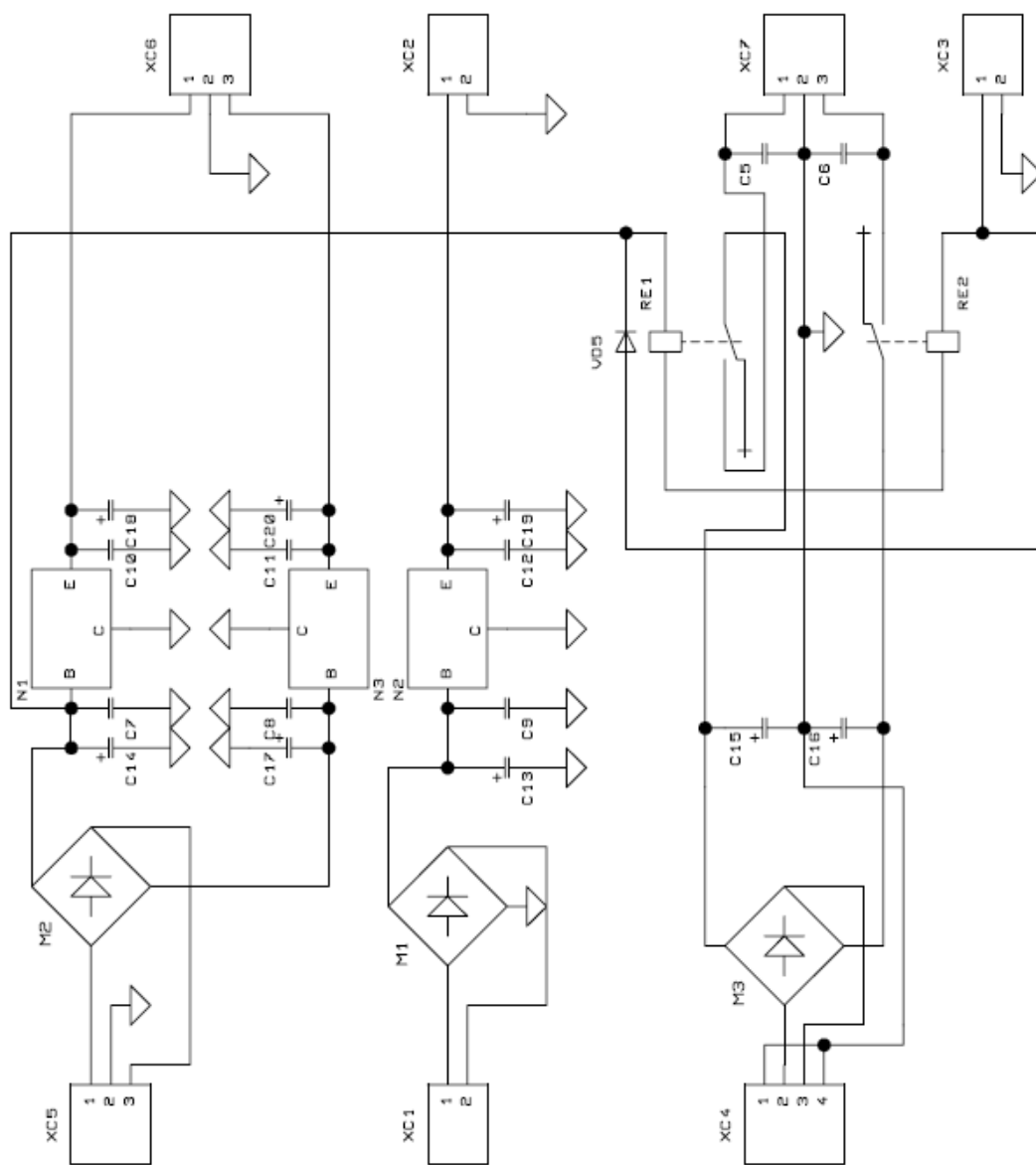
Na svorkovnici XC1 je přivedeno střídavé napětí o velikosti 5 V. Napětí je usměrněno integrovaným diodovým můstkem M1, vyfiltrováno elektrolytickým kondenzátorem C13. Napětí je přivedeno na integrovaný stabilizátor N2, který jako předchozí zmíněné stabilizátory je též zablokovan keramickými kondenzátory C9 a C12 o velikosti 100 NF. Výstupní napětí na svorkovnici XC2 je 5 V.

2.1.1 Tabulka parametrů zdroje

Svorky	Napětí	Proud	Výkon
XC6	2 x 12 V	2 x 0,4 A	10 W
XC2	1 x 5 V	0,4 A	2 W
XC7	2 x 29 V	2 x 1,78 A	100W
Výkon transformátoru celkem			112 W

Jádro transformátoru je původně dimenzováno na výkon 100 VA. Transformátor nebude zatěžován takovýmto výkonem trvale. Skutečné zatížení transformátoru bude relativně menší – nehrozí ohrožení bezpečnosti provozu transformátoru.

2.1.2 Schéma



Obr. 7. Schéma zdrojové části

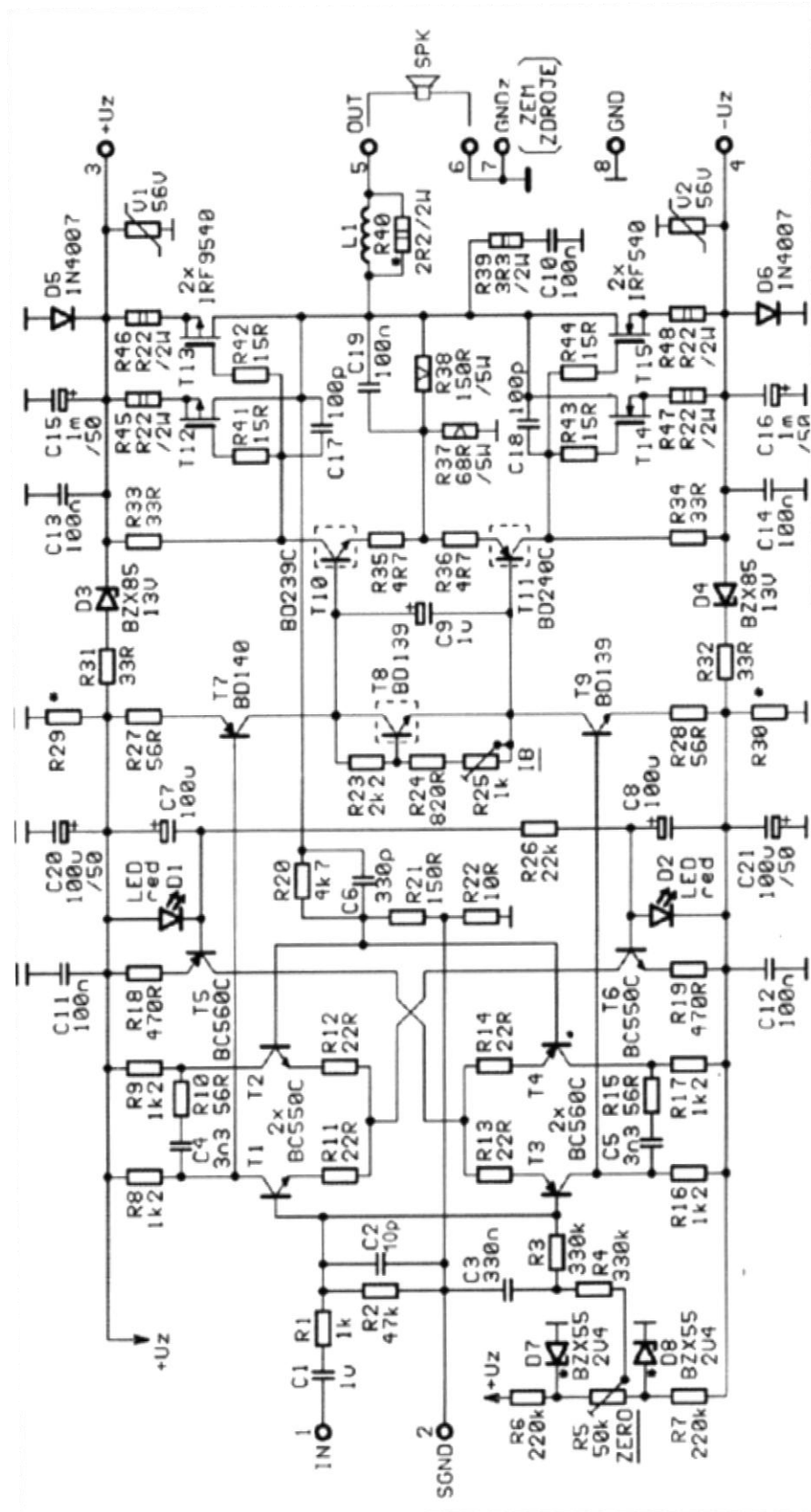
2.2 Výkonový nízkofrekvenční zesilovač

Zesilovač má za úkol jako výstupní část řetězce v přístroji zesílit vstupní signál z externího generátoru na potřebnou úroveň pro náležité vybuzení daného vibrátoru. Zesilovač musí mít kromě jiného, takové vlastnosti aby v celém použitelném rozsahu byl schopen dodat na svorky vibrátoru náležité napětí.

2.2.1 Použitý zesilovač pracuje ve třídě AB s parametry

Výstupní výkon P_0 (do zátěže $R_L=4\Omega$) :	120 W
Proudový odběr I_Z ($P_0=120W$, $U_Z=\pm 35V$) :	2.5 A
Klidový odběr ($U_Z=\pm 35V$) :	120mA
Kmitočtová charakteristika (-3 dB) :	20Hz – 100kHz
Harmonické zkreslení:	
($P_0=80W$, $f=1kHz$) :	0.005 %
($P_0=80W$, $f=20Hz$ až $20kHz$) :	0.05%
Intermodulační zkreslení :	0.01%
Odstup signál/šum:	<100dB
Vstupní citlivost:	800mV
Minimální zatěžovací impedance:	4Ω
Vstupní impedance:	$47k\Omega$
Rychlost přeběhu:	$20V/\mu s$

2.2.2 Schéma výkonového zesilovače



Obr. 8. Schéma NF výkonového zesilovače

2.2.3 Popis zapojení

Zesilovač má na vstupu diferenciální zesilovač s tranzistory T1 až T4 s proudovými zdroji tvořenými T5 a T6 s LED diodami D1 a D2. Tranzistory T1, T2 a T3, T4 jsou teplotně mechanicky svázány tak, aby drift výstupního stejnosměrného napětí byl co nejmenší. Pomocí T7 a T8 je diferenciální stupeň navázán na budiče koncových tranzistorů T10 a T11. Diferenciální stupeň je napájen napětím pro koncový stupeň snížený o cca 13V úbytkem na zenerových diodách D3 a D4. Tímto je dosažena limitace při přebuzení již v diferenciálním stupni a nikoliv až v koncovém stupni. Tranzistor T8 je tepelně spojen s chladičem koncových tranzistorů společnou montáží. Slouží ke stabilizaci klidového proudu koncových tranzistorů T12, T13, T14 a T15. Koncové MOSfet tranzistory jsou zapojeny dva paralelně, výstupní signál je odebírán z kolektorů. Rezistory R37 a R38 nastavují napěťové zesílení koncového stupně cca na 3. Prvky R39, C10, L1, R40, C19 a C6 v koncovém stupni a C2, R10, R15, C4 a C6 v diferenciálním stupni slouží k zabezpečení kmitočtové stability zesilovače. Zesílení celého zesilovače je nastaveno rezistory R20 a R21 na cca 32. Nulové výstupní napětí se nastavuje trimrem R5 ke kompenzaci tepelného driftu. Klidový proud koncových tranzistorů trimrem R25. Podle [8]

Zesilovač je dimenzován na mnohem větší výkon, než je pro naši aplikaci potřeba. Další limitní požadavky byly omezit výstupní špičkový proud zesilovače na 5 A. Zapojení zesilovače pro toto omezení se muselo patřičně upravit.

2.2.4 Úpravy zesilovače

Pro kladnou větev výkonové části: Do obvodu ke koncovým MOSfet tranzistorům byl přidán obvod limitující špičkové výstupní proudy zesilovače. Přidané součástky do obvodu jsou, tranzistor PNP T100 a Schottkyho rychlá dioda D100. Modul je v obvodu výkonového zesilovače zapojen dle obrázku č. 9.

Hodnota rezistoru R46 je 0,22 Ω. Přidaný tranzistor T100 v obvodu snímá napětí na tomto rezistoru. Při buzení zesilovače do výkonu, prochází emitorovým rezistorem R46 proud, čímž na něm vzniká úbytek napětí. Tranzistor T100 má v bázi připojenou rychlou schottkyho diodu D100, která posouvá otevření tranzistoru o patřičnou úroveň. Úkolem bylo, omezit výstupní špičkový proud výkonového zesilovače na 5 A. Při tomto jevu nastává omezování přivírání koncových tranzistorů zesilovače.

Na rezistoru vzniká úbytek napětí dle vzorce:

$$u_{R46} = R_{46} \cdot i_{R46} \quad (10)$$

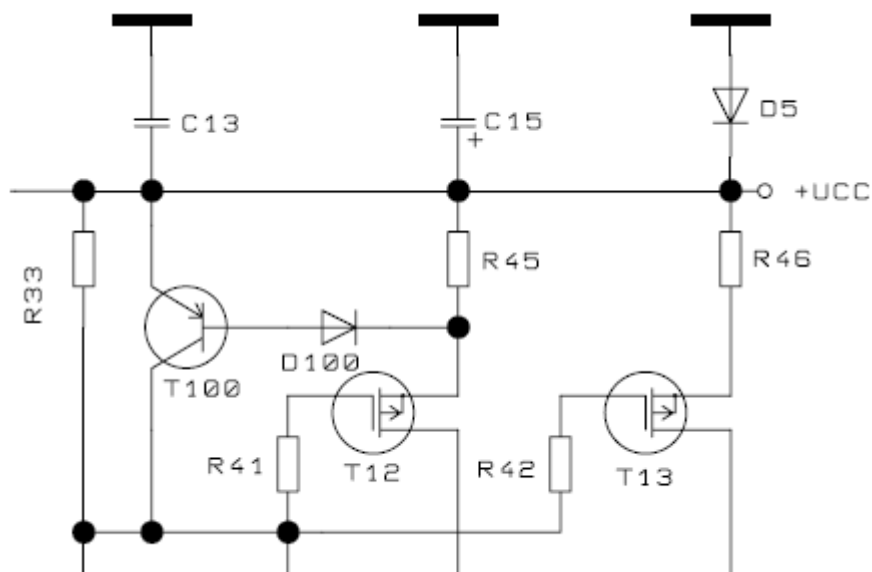
Při výstupním proudu 5 A je na rezistoru úbytek:

$$u_{R46} = 0,22 \cdot 5$$

$$u_{R46} = 1,1 \text{ V}$$

Tranzistor T100 se otevírá dle katalogových listů od napětí $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$. Je nutno aby ochrana, kterou tranzistor T100 zastává, limitovala až při špičkovém proudu cca 5 A. Napětí na rezistoru se pohybuje podle výpočtu (10) kolem hodnoty $u_{R46} = 1,1 \text{ V}$. Bylo potřeba posunout otevření tranzistoru. K tomu je použita dioda D₁₀₀ - rychlá schottkyho dioda s malým saturačním napětím. Na diodě vzniká úbytek cca 0,4 V. Ve výsledku se tranzistor T100 bude otevírat až při výstupním špičkovém proudu 5 A.

Při otevření tranzistor T100, dojde k přivření výkonových tranzistorů T12 a T13. Tímto se omezí výstupní proud výkonového zesilovače.



Obr. 9. Úprava NF zesilovače pro kladnou větev výkonové části

Pro zápornou větev výkonové části: vztahuje se identická úprava jako pro kladnou, jen s obrácenou polaritou.

Přidané součástky do obvodu jsou, tranzistor NPN T101 a Schottkyho rychlá dioda D101. Modul je v obvodu výkonového zesilovače zapojen dle obrázku č. 10.

Hodnota rezistoru R47 je $0,22 \Omega$. Přidaný tranzistor v obvodu zastává funkci, snímá napětí na tomto rezistoru. Při buzení zesilovače do výkonu, prochází emitorovým rezistorem R47 proud, čímž na něm vzniká úbytek napětí. Tranzistor T101 má v bázi připojenou rychlou schottkyho diodu, která posouvá otevření tranzistoru o patřičnou úroveň. Úkolem bylo, omezit výstupní špičkový proud výkonového zesilovače na 5 A. Při tomto jevu nastává omezování přivírání koncových tranzistorů zesilovače.

Na rezistoru vzniká úbytek napětí dle vzorce:

$$u_{R47} = R_{47} \cdot i_{R47} \quad (11)$$

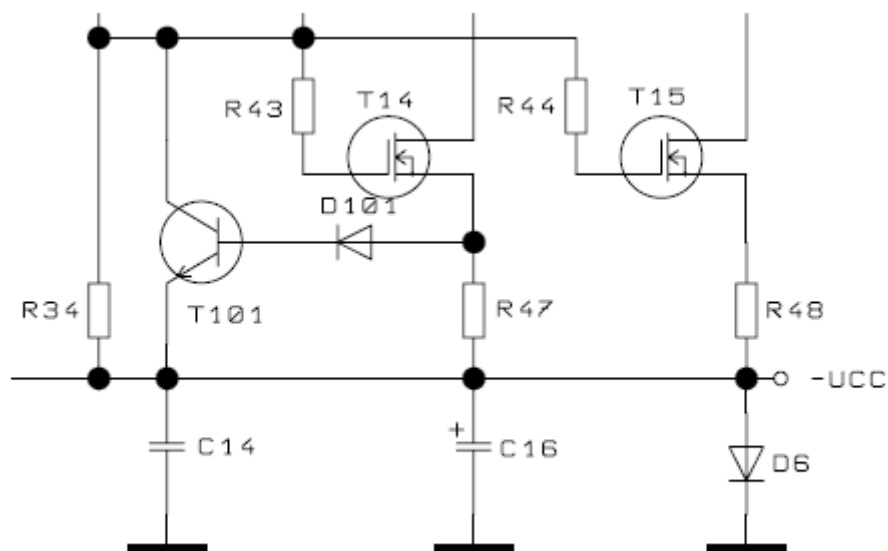
Při výstupním proudu 5 A je na rezistoru úbytek:

$$u_{R47} = 0,22 \cdot 5$$

$$u_{R47} = 1,1 \text{ V}$$

Tranzistor T101 se otevírá dle katalogových listů od napětí $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$. Je nutno aby ochrana, kterou tranzistor T101 zastává, limitovala až při špičkovém proudu cca 5 A. Napětí na rezistoru se pohybuje v tomto případě kolem hodnoty $u_{R47} = 1,1 \text{ V}$. Bylo potřeba posunout otevření tranzistoru. K tomu je použita dioda D101 - rychlá schottkyho dioda s malým saturačním napětím. Na diodě vzniká úbytek cca 0,4 V. Ve výsledku se tranzistor T100 bude otevírat až při výstupním špičkovém proudu 5 A.

Při otevření tranzistor T100, dojde k přivření výkonových tranzistorů T14 a T15. Tímto se omezí výstupní proud výkonového zesilovače.

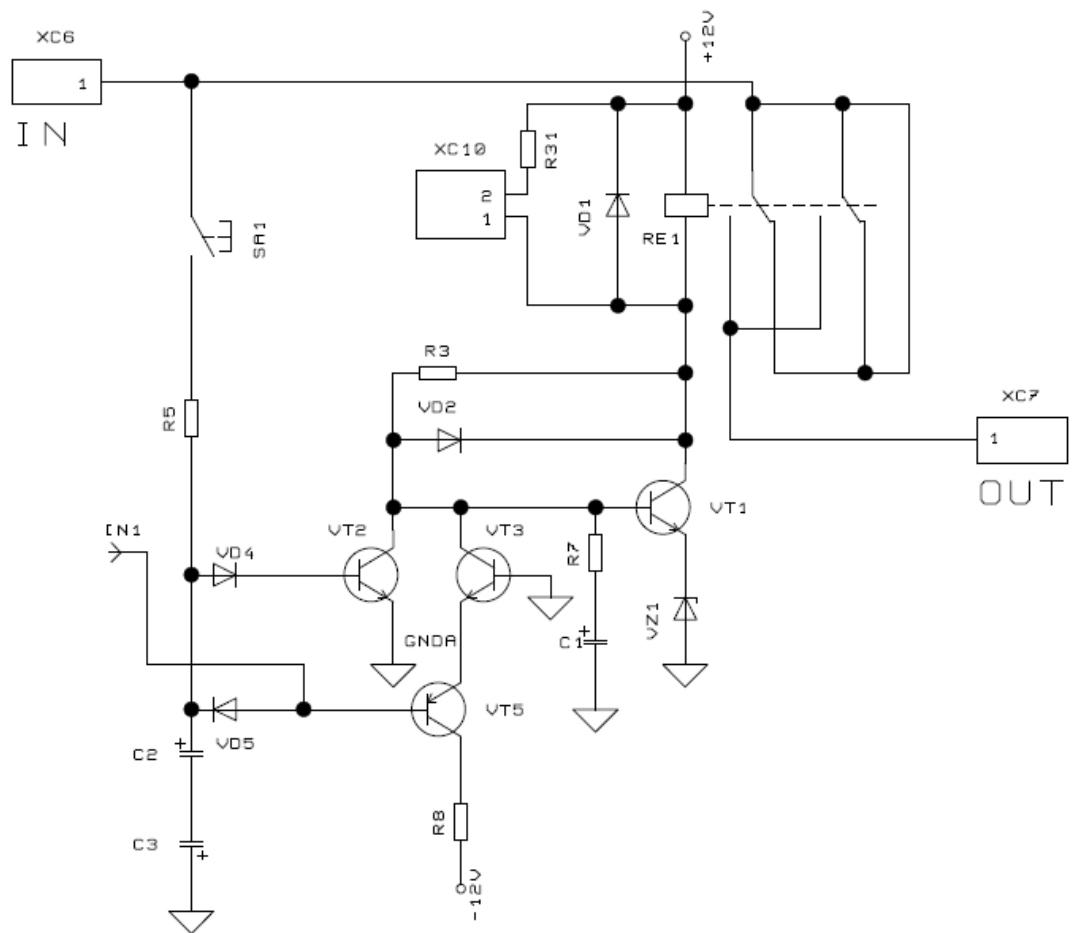


Obr. 10. Úprava NF zesilovače pro zápornou větev výkonové části

2.3 Ochrana před nežádoucím stejnosměrným napětím na výstupu

Funkcí této ochrany je monitorování výstupu výkonového zesilovače na výstupních svorkách přístroje. V případě jakékoliv poruchy na zesilovači, při výskytu stejnosměrné složky napětí na výstupu přístroje, tato ochrana odpojuje připojený vibrátor od výstupu. Působí již od stejnosměrných 0,8V na výstupních svorkách přístroje. Při buzení vibrátoru velmi nízkou frekvencí například okolo 5 Hz, by mohla ochrana zapůsobit a při měření, vibrátor neočekávaně odpojit. Ochranu lze vyřadit.

2.3.1 Schéma



Obr. 11. Schéma ochrany před nežádoucím ss napětím na výstupu

2.3.2 Popis zapojení

Po zapnutí přístroje, se přes hodnotu odporu cívky RE1 a rezistory R3 a R7 začne nabíjet kondenzátor C1. Napětí na kondenzátoru C1 roste a při určité hodnotě otevře tranzistor VT1. K otevření tranzistoru VT1 dojde až při dosažení hodnoty napětí na UC1 velikosti součtu napětí UBE VT1 a velikosti napětí UVZ1 v našem případě 3,6 V. Tranzistor VT1 se otevře a relé RE1 sepne. Zpoždovací konstantou obvodu je hodnota RC. Hodnotu R tvoří sériový řetězec součástí - hodnota odporu cívky RE1, hodnota rezistoru R3 a R7. Hodnotu C tvoří kapacita kondenzátoru C1.

2.3.3 Výpočty

Pro výpočet zpozdující časová konstantu obvodu:

$$\tau = RC \quad (12)$$

Dosazení do vzorce:

$$\tau = (R_{E1} + R3 + R7) \cdot C1$$

$$\tau = (300 + 82 \cdot 10^3 + 82 \cdot 10^3) \cdot 47 \cdot 10^{-6}$$

$$\tau = 7,7221 \text{ s}$$

Při čase $t = 7,72 \text{ s}$ je kondenzátor C1 nabit na cca 63 % napájecího napětí 12 V. Což odpovídá:

$$U_{C1} = 0,63 \cdot 12$$

$$U_{C1} = 7,56 \text{ V}$$

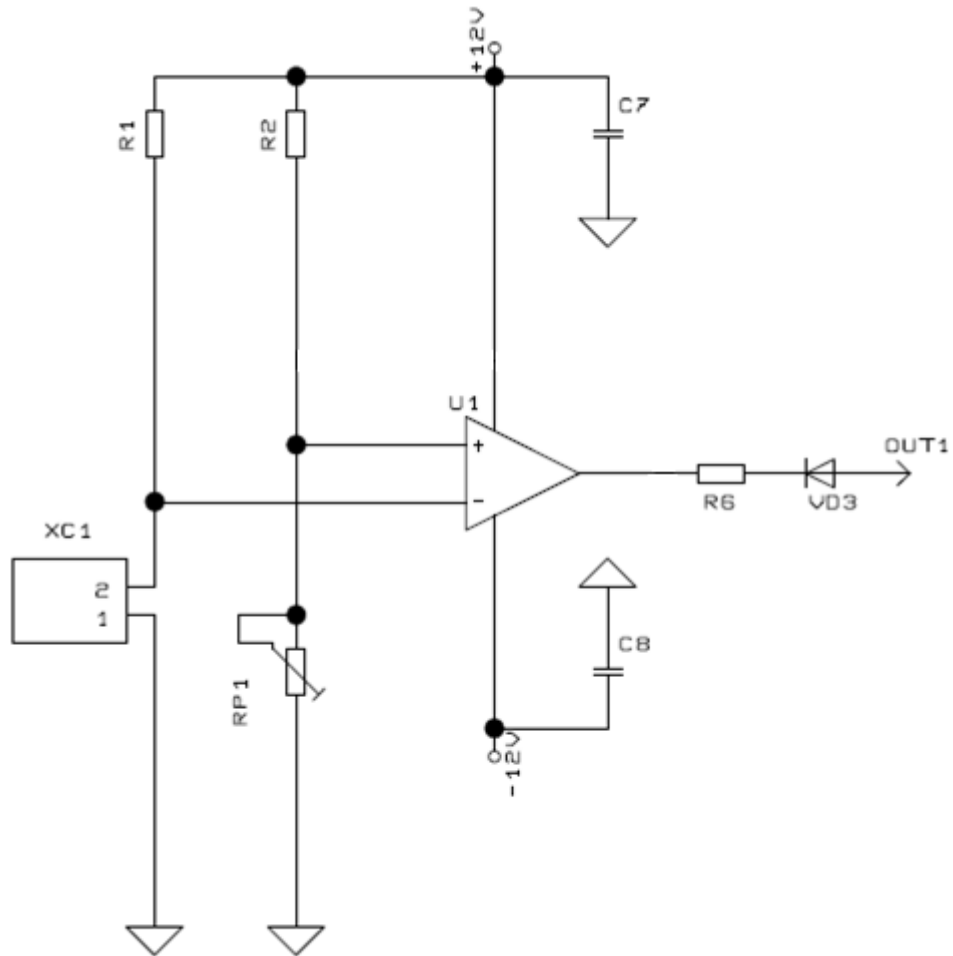
Z uvedeného plyne, že dosazené hodnoty rezistorů R3 a R7 jsou dány pro zpožděný spínací čas relé RE1 cca 3 sekundy. Tímto se zamezí nežádoucí napěťové špičce proniknout na výstup. Pokud je na vstupu střídavé napětí - tedy běžný nízkofrekvenční signál a je ochrana aktivní, tlačítko SA1 je spojeno, nenastane nic. V případě, že se na výstupu NF zesilovače objeví stejnosměrné kladné napětí větší než cca 0,8 V, začne se nabíjet přes R5 kapacita C2/C3 a s malým zpožděním se přes diodu VD4 nebo VD5 otevře i tranzistor VT2. Což vede k následnému uzemnění báze VT1, dojde k jeho uzavření a tím odpadnutí relé. Dioda VD1 – rekuperační chrání

tranzistor VT1 před napěťovými špičkami, které vznikají na indukčnosti vinutí relé při spínání a rozpínání. S uzemněním báze se současně vybije C1. Pokud zmizí kladné stejnosměrné napětí na výstupu zesilovače, probíhá stejný proces jako při zapnutí přístroje, tedy C1 se nabíjí přes RE1, R3 a R7 až do otevření VT1. Jestliže se na výstupu objeví záporné napětí, z důvodu nějaké poruchy na přístroji, nabíjí se opět C2/C3. Záporné napětí otevře přes diodu VD5 PNP tranzistor VT5. Při jeho otevření se dostane na emitor VT3 záporné napětí, čímž se uzemněná báze stává kladnější a VT3 se otvírá. Výsledek je stejný jako při otevření VT2.

2.4 Tepelná ochrana

Tepelná ochrana je zajištěna pomocí teplotního čidla. Čidlo je připevněno na chladiči společně s koncovými tranzistory pro dokonalé snímání teploty chladiče výkonového zesilovače. Tato ochrana chrání zesilovač před přílišným přehřátím.

2.4.1 Schéma



Obr. 12. Schéma tepelné ochrany

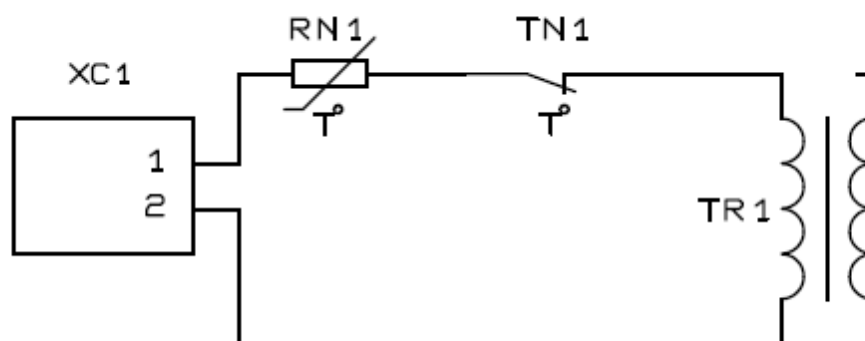
2.4.2 Popis zapojení

Ze schématu plyne, že se jedná o operační zesilovač v zapojení jako komparátor. Dělič R_2 s trimrem RP1 slouží k nastavení referenčního napětí na neinvertujícím vstupu, odpovídající teplotě při které bude přístroj ve výsledku celkové činnosti vypínán. Napětí na invertujícím vstupu je porovnáváno s referenčním napětím. K invertujícímu vstupu je připojen další dělič, který je složen z rezistoru R1 a

teplotního čidla. Jako teplotní čidlo je použit PTC pozistor. Se zahříváním pozistoru jeho odpor roste a s ním i napětí na něm. Pokud dojde ke zvýšení teploty nad povolenou úroveň, na invertujícím vstupu bude napětí rovno nebo vyšší než napětí nastavené na neinvertujícím vstupu, komparátor překlopí do záporné saturace. Přes diodu VD3 se záporné napětí dostane do báze tranzistoru VT5 viz obrázek č. 11 a tím se na emitoru VT3 objeví záporné napětí, čímž se uzemněná báze stává kladnější a VT3 se otvírá. Následuje uzemnění báze VT1, dojde k jeho uzavření a tím i k odpadnutí relé RE1.

Kondenzátory C7 a C8 jsou blokovací. Na desce se nacházejí přímo u operačního zesilovače.

Připojení termostatu v primárním obvodu transformátoru: V přístroji se nalézá přímo na chladiči mechanické teplotní čidlo TN1 takzvaný termostat, který slouží jako tepelná ochrana pro případ selhání elektronické ochrany. Termostat je vřazen do obvodu přívodu síťového napětí k primárnímu vinutí dle obrázku č. 13. Při překročení dovolené teploty odpojuje celý přístroj od sítě.



Obr. 13. Síťové zapojení transformátoru

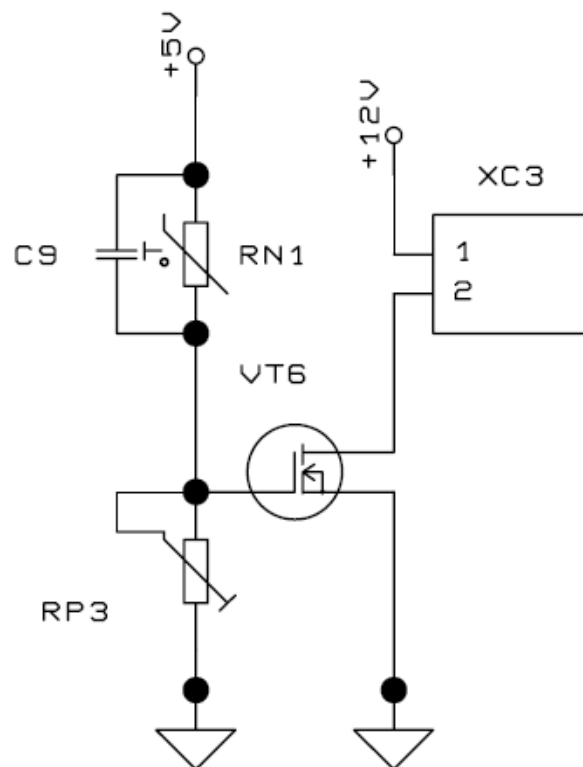
Svorka XC1 je zapojena na přívodní síťový konektor, který má integrovaný síťový vypínač a ochrannou pojistku, které nejsou na obrázku č. 13 zobrazeny. Transformátor TR1 je pouze pro orientaci zapojení jeho primárního obvodu, nevystihuje výstupními vinutími použitý transformátor.

2.5 Řízení ventilátoru

Řízení ventilátoru pracuje následovně: ventilátory se při uvedení přístroje do provozu roztočí na minimální otáčky. Nebyl kladen velký požadavek na toto řízení. Navrhl jsem jednoduchý obvod s N-MOSfet tranzistorem.

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor je polem řízený tranzistor, kde je vodivost kanálu mezi elektrodami Source a Drain ovládána elektrickým polem vytvářeným ve struktuře kov(M)-oxid(O)-polovodič(S) napětím přiloženým mezi hradlo (Gate) a Source. Podle [8]

2.5.1 Schéma



Obr. 14. Schéma řízení ventilátoru

2.5.2 Popis funkce

Teplota je snímána termistorem RN1, který je umístěn na chladiči, kde jsou společně uchyceny výkonové tranzistory výkonového zesilovače. Obvod je nastaven tak, že při pokojové teplotě (cca 23 °C) se ventilátor vždy roztočí. Ventilátory jsou připojeny k obvodu přes svorkovnici XC3. Nabíjecím proudem kondenzátoru C9 vznikne na řídicí elektrodě tranzistoru VT6 krátký napěťový impuls. Impuls způsobí

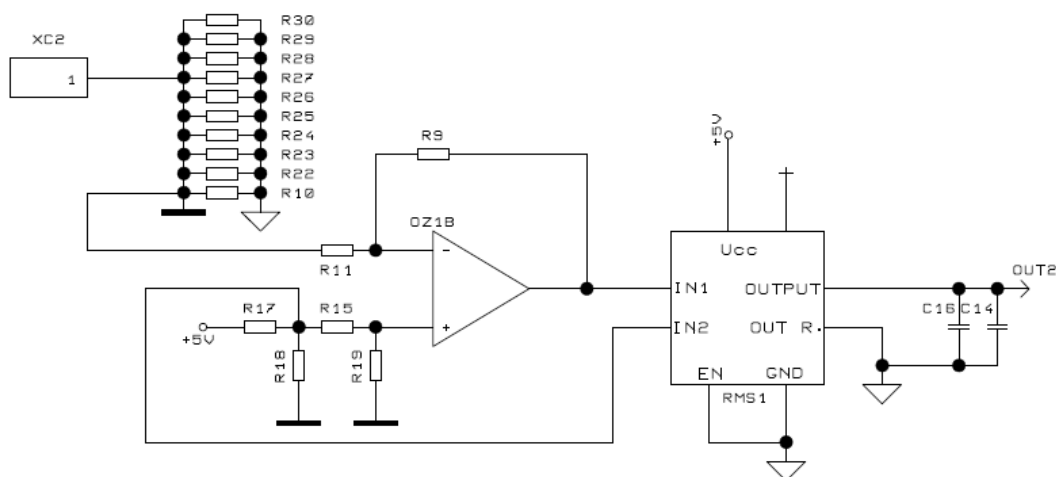
krátkodobé otevření tranzistoru VT6. Výkonový impuls v kolektorové části tranzistoru VT6 způsobí roztočení obou ventilátorů. Tímto se odstranil problém zalehání ložisek, při minimálních otáčkách. Po roztočení ventilátorů se tranzistor opět přivře a na ventilátorech je takové napětí, jaké je nastaveno děličem RN1 a RP3 - ventilátor se točí minimálními otáčkami.

Použitý Mosfet tranzistor IRF530 má dosti strmou charakteristiku otevření. Koleno charakteristiky otevření tranzistoru se pohybuje od 3,63 V – 3,8 V. Při zvyšování napětí U_g již tranzistor nereaguje, jelikož je plně otevřen. Obvod je plně funkční a spolehlivý.

2.6 Ochrana překročení limitních parametrů přístroje

Tato ochrana monitoruje výstup z přístroje a po překročení limitních parametrů, odpojí výstup přístroje od vibrátoru. Pro další činnost s přístrojem je potřeba aktivovat deaktivovaný výstup tlačítkem připojeným ke svorce XC5 na obrázku č. 19.

2.6.1 Schéma



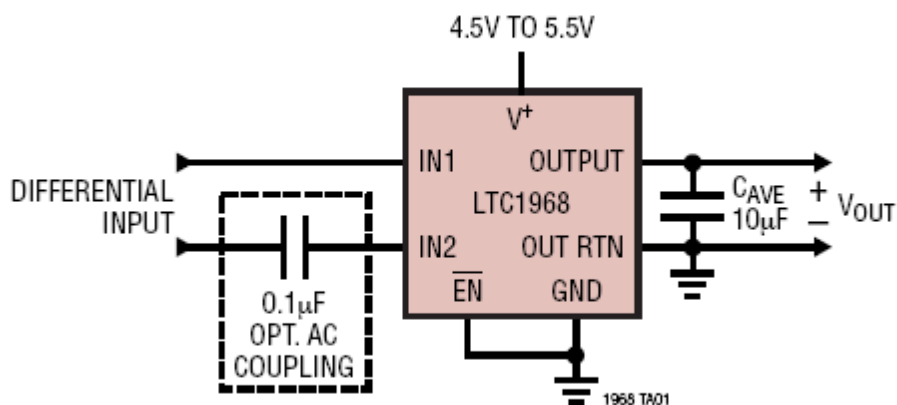
Obr. 15. Schéma vstupní části ochrany

Proud na výstupu výkonového zesilovače je snímán přes řadu deseti paralelně řazených rezistorů, o hodnotě jeden ohm, jejichž výsledný odpor je roven $0,1 \Omega$. Úbytek napětí úměrný výstupnímu proudu má hodnotu $-R \cdot I$. Převodník RMS-DC ovšem očekává diferenciální vstup v mezích napájecího napětí. Proto úbytek napětí odpovídající proudu je nejprve invertován a napěťově posunut na referenční úroveň $2,5 \text{ V}$ pomocí rozdílového zesilovače OZ10, R9, R11, R15, R19. Do RMS-DC převodníku je pak zavedena referenční úroveň a výstup rozdílového zesilovače, čímž se dosáhne dodržení požadovaných mezí signálu.

Jako RMS-DC převodník je použitý LTC1968, který ve srovnání s ostatními kmenovými převodníky například AD636, AD736 a AD737, má lepší vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří vyšší linearita, přesnost, šířka pásma a menší teplotní závislost.

LTC1968 operuje s jednoduchým či diferenciálními vstupy. Rozsah diferenciálních vstupů je 1V špička-špička.

Single Supply RMS-to-DC Converter

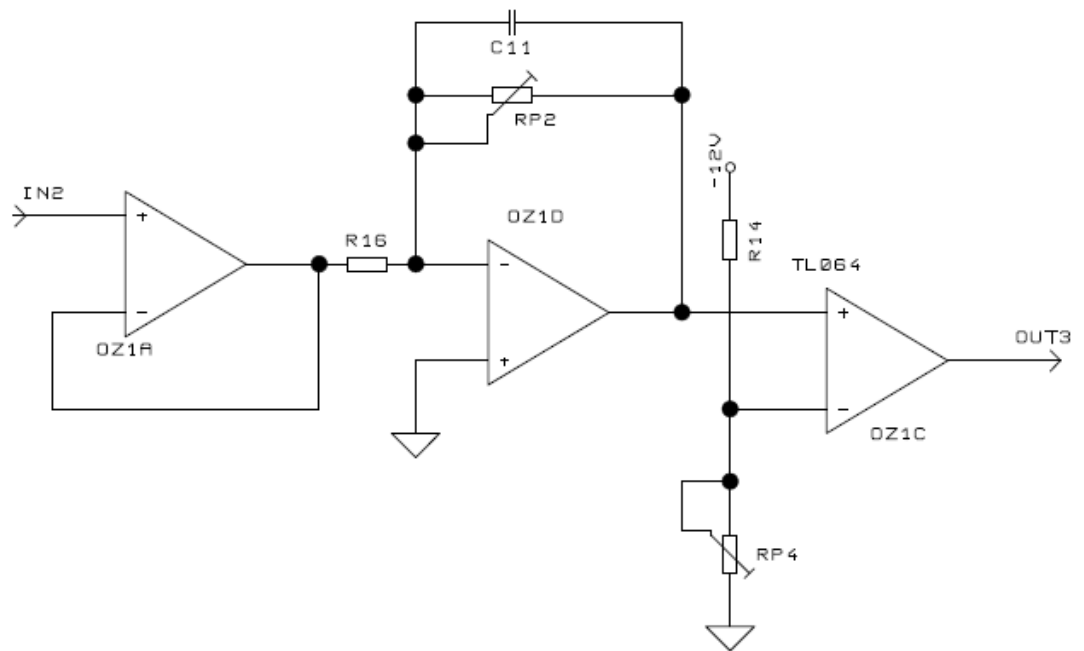


Obr. 16. Katalogové zapojení výrobcem

Parametry převodníku RMS-DC LTC1968:

Napájecí napětí	4,5 – 5,5 V
Maximální výstupní diferenciální napětí	1 – 1,05 V
Výstupní napěťové vyvážení (offset)	0,2 – 0,75 mV
Výstupní napěťové posunutí	2 – 10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Provozní teplota	-40 – 85 $^\circ\text{C}$
Výstupní impedance	10 – 16 k Ω
Chyba zesílení do 1 % při šířce pásma 500 kHz	
Chyba zesílení do 0,1 % při šířce pásma 150 kHz	

Použitý RMS – DC převodník LTC1968 má výstupní impedanci 10 k Ω , proto musí být na jeho výstup zapojen tak zvaný napěťový sledovač, pro impedanční přizpůsobení v obvodu. Napěťový sledovač je tvořen operačním zesilovačem OZ1A. Výstup operačního zesilovače OZ1A je zapojen s plnou zpětnou vazbou výstup – vstup. Zesílení OZ1A dosahuje hodnoty 1.



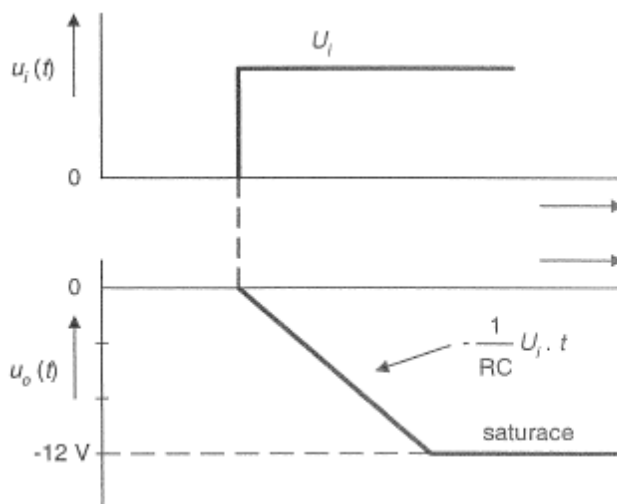
Obr. 17. Schéma vyhodnocovací části ochrany

Na výstupu napěťového sledovače OZ1A, je zapojen další operační zesilovač OZ1D v zapojení jako integrátor. Do obvodu zpětné vazby operačního zesilovače OZ1D je zapojen kondenzátor C11 a překlenutý odporovým trimrem RP2. Odporový trimr slouží ke změně integrační charakteristiky integrátoru. Pro vstupní proud platí vťah:

$$i = u_i(t)/R \quad (13)$$

Veškeré proudy tečou do kondenzátoru C. Pro výstupní napětí platí $u_{in} = -u_{out}$. Pro napětí kondenzátoru C11 pokud si odmyslíme odporový trimr RP2 platí:

$$u_c = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i(t) dt = \frac{1}{C} \int \frac{u_i(t)}{R} dt \quad (14)$$



Obr. 18. Průběhy výstupního napětí integrátoru pro $u_i > 0$ [2]

Pro výstupní napětí platí běžně uváděný vztah:

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_i(t) dt - u_o ; (t = 0) \quad (15)$$

Symbol $u_o(t = 0)$ je napětí na výstupu při „spouštění“ integrátoru, RC je časová konstanta integrátoru. Praktický význam vztahu (16) je takový, že změna napětí na kondenzátoru je vždy taková, aby právě protékal proud $i(t)$. Pro konstantní napětí na vstupu $u_i(t) = U_i$ a $u_o(t = 0) = 0$ dostaneme ze vztahu (17).

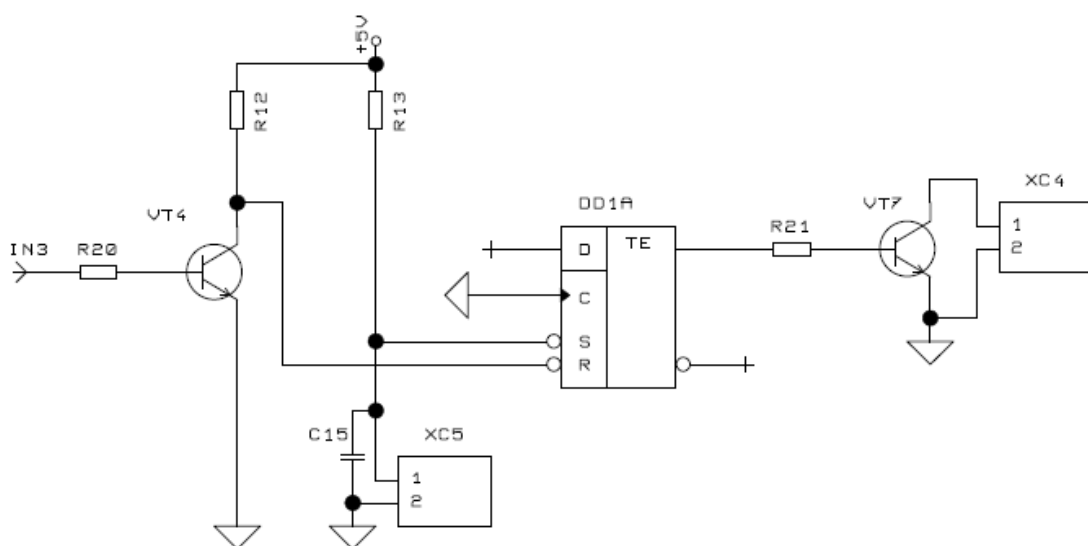
$$u_o(t) = -\frac{1}{RC} \cdot U_i \cdot t \quad (16)$$

Omezující faktory jsou: konečná velikost odporu R, svody kondenzátorů (používají se polystyrénové nebo lepší), konečná velikost zesílení OZ a také proudové a napěťové nesymetrie. Musí se brát ohled na to, že v oblasti kritických vysokých kmitočtů je zpětná vazba 100 % (díky kondenzátoru). Z toho plyne, že se musí používat v zapojení pro zisk 1. Podle [2]

Integrační charakteristika integrátoru, určuje čas od začátku proudové změny do konečného odpojení vibrátoru od výstupních svorek přístroje.

Pokud výstupní proud zesilovače bude větší než RMS hodnota 2 A, obvod komparátoru s operačním zesilovačem OZ1C překlopí do kladné saturace o hodnotě kladného napájecího napětí cca 11 V viz obrázek č. 17. Referenční napětí komparátoru na invertujícím vstupu je nastaveno děličem, který je tvořen rezistorem R14 a odporovým trimrem RP4. Trimr RP4 slouží pro nastavení požadované komparační úrovně komparátoru. Výstup z integrátoru bude dle obrázku č. 18 v oblasti záporných hodnot napětí. Dělič napětí R14 a RP4 je zapojen mezi zem a -12 V.

Výstup z komparátoru je zaveden přes rezistor R20 do báze NPN tranzistoru VT4 viz obrázek č. 19.



Obr. 19. Schéma řízené části ochrany

Tranzistor VT4 je zapojen jako spínač. Po překlopení komparátoru s operačním zesilovačem z obrázku č. 17 OZ1C do kladné saturace, se tranzistor VT4 viz obrázek č. 19 otevře. Pokud je tranzistor otevřený, na negovaném vstupu RESET integrovaného obvodu 7474 s referencí DD1A je napětí rovno logické nule. Logická nula na vstupech logických obvodů je v rozmezí 0 – 0,8 V. Integrovaný obvod D je zapojen jako RS klopný obvod, využívá se pouze jeho dvou vstupů tj. SET a RESET. Při zapnutí přístroje se krátkým napěťovým impulsem z kondenzátoru C15 aktivuje vstup logického obvodu DD1A do stavu SET. Výstup bude ve stavu logické 1, napětí 2,4 – 5 V. Tento logický obvod je použit proto, aby při otevření tranzistoru VT4 tj. stavu přesáhnutí na výstupu 2 A RMS jednoznačně změnil stav svého nenegovaného

výstupu na nulu. Bez ohledu na další přivedené hodnoty napětí na vstup, svůj stav nemění. Funkce tranzistoru VT7 spočívá v tom, že v případě výstupu logického obvodu DD1A ve stavu logické 1 je tranzistor otevřený. V opačném případě je tranzistor VT7 zavřený. Tranzistor ovládá odpojování napájecího napětí zesilovače prostřednictvím relé. K těmto relé RE1 a RE2 je na modul zdroje připojen prostřednictvím svorky XC3 viz obrázek č. 7 a svorky XC4 z modulu ochran viz obrázek č. 19. V případě deaktivace zařízení z důvodu přesáhnutí limitních parametrů je nutno zasáhnout manuálně prostřednictvím tlačítka umístěného na panelu vedle LED indikující tento stav. Jinak se přístroj neuvede znovu do chodu. Tlačítko je zapojeno na svorku XC5 viz obrázek č. 19.

2.7 Signalizační část

Na obrázku č. 20 je znázorněno pouze rozmístění LED diod na předním panelu, svorky a vypínače jsou vynechány. LED č. 1 a č. 6 signalizují, zda je přístroj aktivní či ne. LED č. 2 – 5 jsou LED, které signalizují chybu na přístroji.



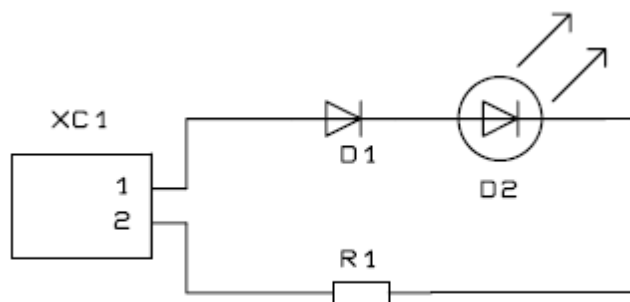
Obr. 20. Nákres čelního panelu přístroje

- Led č. 1 je zelená a dává na vědomí, zda je přístroj zapnut. Pokud LED svítí, je možné přístroj používat. Přístroj je vybaven síťovým vypínačem umístěným na zadním panelu.
- Led č. 2 signalizuje odpojení výkonového zesilovače od napájení, z důvodu jeho přetěžování a následnému přehřátí.
- Led č. 3 signalizuje stejnosměrnou složku na výstupu.
- Led č. 4 signalizuje možné přehřátí buzeného vibrátoru z důvodu přesáhnutí limitních parametrů na výstupu přístroje.
- Led č. 5 je nevyžitá, pro případné doplnění potřebné ochrany.
- Led č. 6 signalizuje aktivní výstupní svorky. Pokud LED svítí, je vše v pořádku a s přístrojem lze pracovat.

2.7.1 Popis zapojení signalizačních LED diod

LED č. 1

Pomocí svorky XC1 na obrázku č. 21 je připojen signalizační obvod paralelně k primárnímu vinutí transformátoru. V zapojení je použita LED dioda s nízkou spotřebou 2 mA, proto ztrátový výkon na předřadném rezistoru je malý, cca 0,5 W. R1 omezuje proud LED, pro 230 V~ je jeho velikost 68 k. D1 je libovolná dioda, na napětí alespoň 500 V. Chrání LED před poškození napětím v závěrném směru.

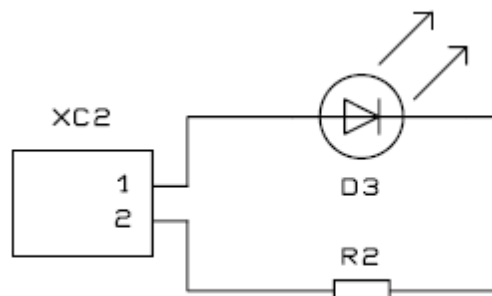


Obr. 21. Schéma zapojení LED na ~ 230 V

LED č. 2

Signalizační LED č. 2 je zapojena dle obrázku č. 21 do obvodu na obrázku č. 12. Druhý pin svorky XC2 je zapojen na výstup operačního zesilovače U1. První pin je zapojen na zemní vodič zdroje. Rezistor R2 je předřadný, jeho hodnota je 1K5.

Pokud dojde k přehřátí přístroje, výstup operačního zesilovače U1 se překloupí do záporné saturace, čímž se LED D3 rozsvítí.



Obr. 22. Schéma zapojení LED diody do obvodu stejnosměrného napětí

LED č. 3

Led č. 3 je zapojena dle obrázku č. 22. Je připojena do obvodu na obrázku č. 11. Do obvodu je připojena přes svorku XC2 a to tak že první pin je zapojen na napájecí napětí +12 V. Druhý pin je zapojen do báze tranzistoru VT1. Rezistor R2 je předřadný.

Při výskytu nežádoucí stejnosměrné složky na výstupu přístroje se báze tranzistoru VT1 uzemní, čímž se rozsvítí LED č. 3.

LED č. 4

Signalizační LED č. 4 je opět zapojena dle obrázku č. 22. Je připojena do obvodu na obrázku č. 19, přes svorkovnici XC2. První pin je zapojen na negovaný výstup hradla DD1A. Druhý pin na zemní vodič zdroje. Rezistor R2 je předřadný.

Při překročení limitních parametrů se na negovaném výstupu logického hradla DD1A objeví napětí o úrovni logické 1, čímž se LED č. 4 rozsvítí.

LED č. 6

Signalizační LED č. 6 je připojena na svorku XC10 z obr. 11. Pokud je relé RE1 sepnuté, je na něm napětí, LED č. 6 svítí. Předřadný rezistor v tomto případě je umístěn na desce.

3 Závěr

Úkolem bakalářské práce, byla realizace přístroje dle požadavku TUL pro řízení elektrodynamického vibrátoru ES020.

Konstrukcí přístroje i psaním bakalářské práce jsem získal nové zkušenosti. Ve spolupráci s vedoucím práce Ing. Janem Václavíkem byl vytvořen přístroj, vhodný pro použití v laboratoři pro měření účinků vibrací. Zařízení je po všech stránkách vyhovující a dostatečně dimenzované. Splňuje zhruba všechny očekávané zadané požadavky. Lepším řešením pro případnou opakovanou výrobu takového zařízení by byla samostatná konstrukce výkonového zesilovače. Zesilovače, který by měl integrovanou proudovou ochranu a ochranu proti zkratu výstupu. Toto řešení by bylo jistě elegantnější než doplňování dodatečných obvodů do stávající konstrukce, pro splnění požadované funkce. Vždy je lepší řešení jednodeskových zařízení, kdy všechny funkční prvky jsou umístěny na jedné desce spojů. Odpadá tímto zbytečné propojování vodiči a nežádoucí přechodové odpory mezi svorkovnicemi a vodiči. Rovněž možnost vzniku poruchy nedokonalým spojem, uvolněným šroubkem svorkovnice atp. je v tomto případě větší. Kladem pro toto řešení by bylo i lepší využití místa v přístrojové skříni.

Jádrem konstrukce přístroje je výkonový zesilovač, dodaný jako hotový modul. K této situaci musela být přizpůsobena celá řada obvodů v přístroji použitých a vymyšleny obvody nové. Dalším problémem bylo použití daného síťového toroidního transformátoru, který svými parametry plně nevyhovoval a musel být pro daný účel poměrně pracně přizpůsoben.

Zjistil jsem, že je potřeba k úkolu bakalářské práce přistupovat komplexně. Nezaměřovat se pouze na oblíbené použité stati, ale je nutno se vypořádat se souvisejícími úkoly pro konstruktéra poněkud nepopulárními.

Vzniklé zařízení je svým způsobem konstrukčně ojedinělé. Věřím, že mnou zkonstruované zařízení bude v laboratoři hojně využíváno a pomůže postoupit po cestě vědy v oblasti vibrací ve vývoji dále.

4 Seznam použité literatury

- [1] Zdeněk Kotisa.: NF výkonové zesilovače, 3. Díl: Tranzistorové výkonové zesilovače a jejich amatérská stavba. Vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2003
- [2] Josef Punčochář.: Operační zesilovače v elektronice, 5. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2002, ISBN 80-7300-059-8
- [3] Karel Toman.: Reprodukory a reprosoustavy. 1. Díl, 1. Vydání DEXON
- [4] Žalud, V.: Moderní radioelektronika. 1. vydání. Praha: BEN Technická literatura. 2004, ISBN 80-86056-47-3
- [5] Linear Technology: LTC1968, Precision Wide Bandwidth, RMS-to-DC Converter, Data Sheet, [cit. 2009-05-27] Dostupný z URL: <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/1968f.pdf>
- [6] KCF Technologies: Electromagnetic Shaker, Model ES020, Data Sheet, [cit. 2009-05-27] Dostupný z URL: <http://www.kcftech.com/products/documents/ES020.pdf>
- [7] Wikipedie [cit. 2009-04-12] z URL: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Efektivn%C3%AD_hodnota_\(Root_Mean_Squar\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Efektivn%C3%AD_hodnota_(Root_Mean_Squar))
- [8] Wikipedie [cit. 2009-03-11] z URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/MOSFET>
- [9] Technická dokumentace FMD1200: NF výkonový zesilovač MOSFET 120W se symetrickým napájením

5 Seznam příloh

Příloha A – Parametry vibrátoru ES020

Příloha B – Návrh plošného spoje napájecího zdroje BOT a POK

Příloha C – Návrh plošného spoje modulu ochran TOP, BOT a POK

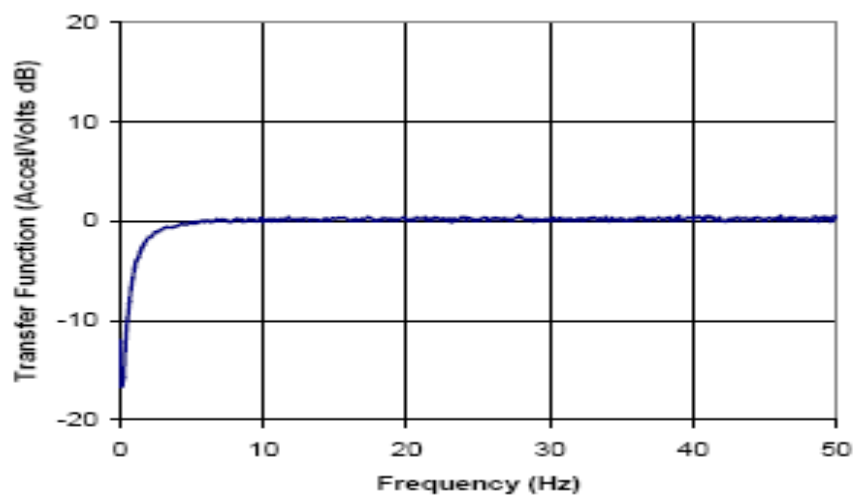
Příloha D – Bezpečnostní pokyny pro bezpečnou práci s přístrojem.

Příloha A: Parametry vibrátoru ES020



Parametry:

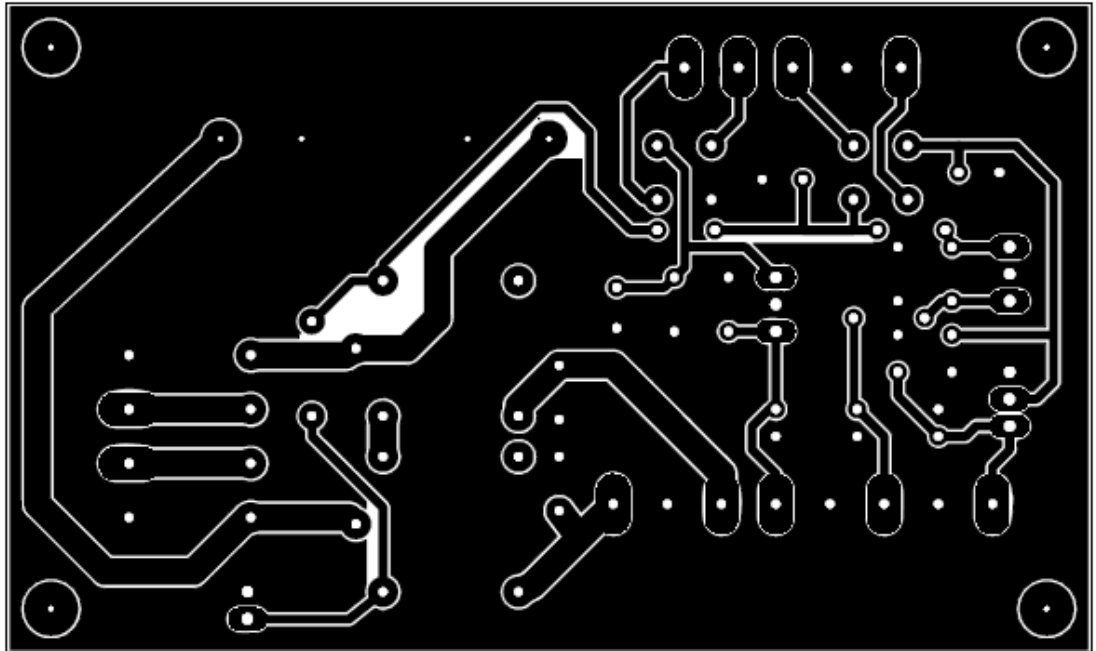
Velikost:	100 x 110 x 110 mm
Max. dynamická síla:	20 N
Max. akcelerace:	160 m/s ²
Max efektivní proud:	2,5 A
Frekvenční rozsah:	3 – 25 000 Hz
Max. zdvih:	+/- 3 mm
Impedance:	3,5 Ω



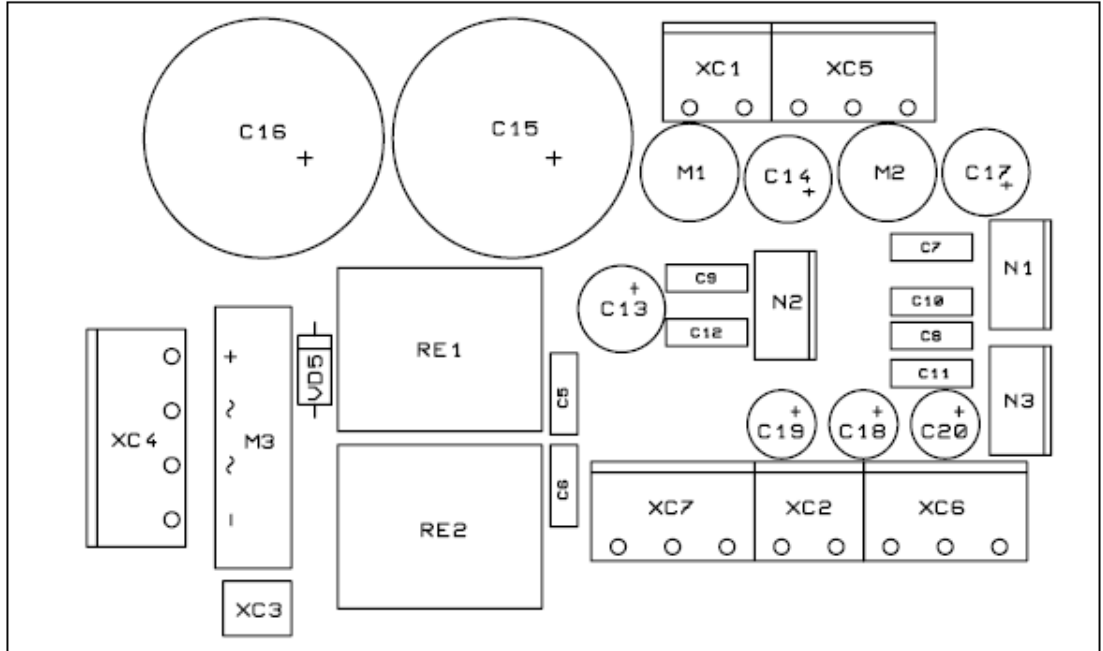
Převzato z [5]

Příloha B: Návrh plošného spoje napájecího zdroje BOT a POK

BOT:

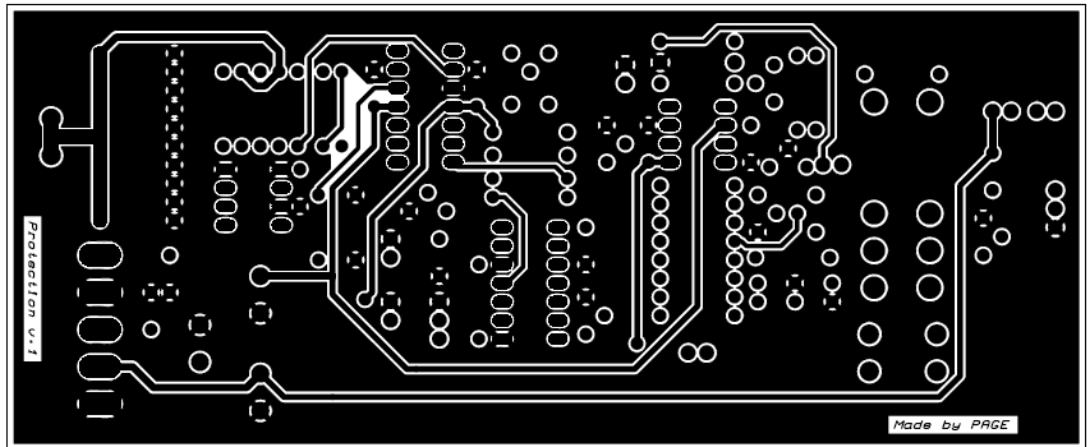


POK:

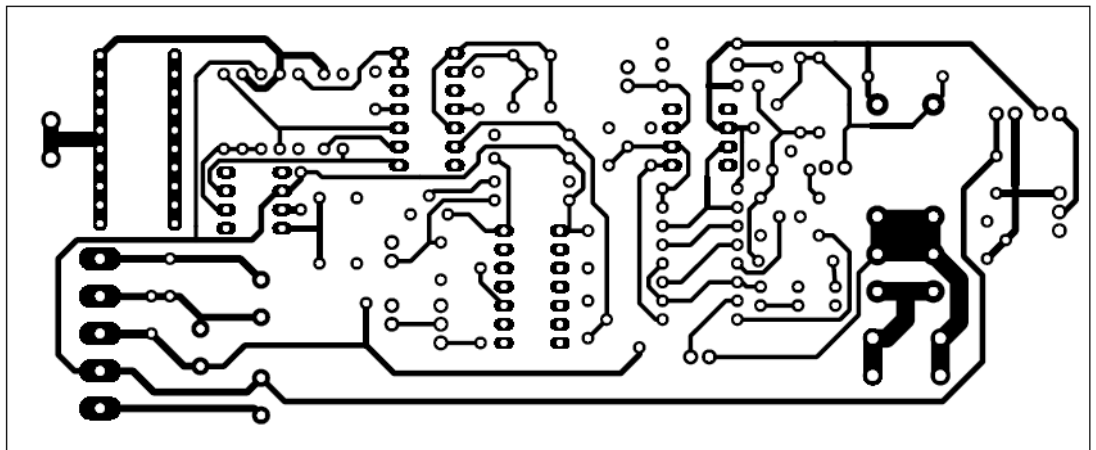


Příloha C: Návrh plošného spoje modulu ochran TOP, BOT a POK

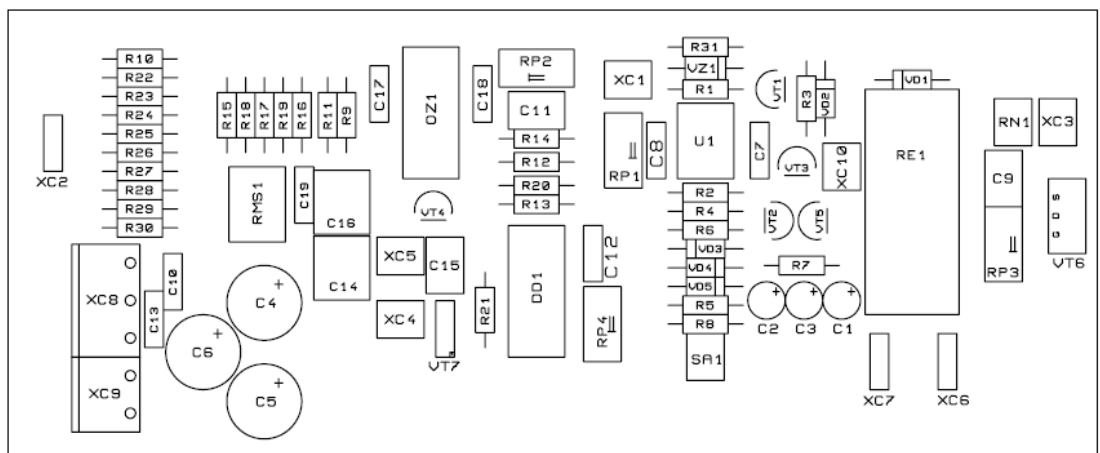
Top:



Bot:



Pok:



Příloha D: Bezpečnostní pokyny pro bezpečnou práci s přístrojem.

Přístroj je určen pro práci v laboratorním prostředí tj. obyčejné prostředí. Krytí přístroje je IP21.

S přístrojem se při práci nesmí nijak hrubě mechanicky manipulovat!

Při provozu přístroje se nesmí v žádném případě dojít k odpojení přívodního kabelu od budícího generátoru a výstupního propojení s vibrátorem!

V případě jakékoliv poruchy přístroj odpojte od síťového napětí. Zkontrolujte výše uvedené propojení. Pokud se funkce přístroje po opětném připojení neobnoví, kontaktujte příslušného technika.