

Zadanie projektu:

Navrhните, vypočítajte, odsimulujte, optimalizujte a zmerajte optický prijímač a vysielateľ pre OKS s prenosovou rýchlosťou $B=15\text{Mbit/s}$ na báze dostupných prvkov.

Návrh spočíva vo voľbe zapojenia, výpočte a optimalizácii jednotlivých prvkov predzosilňovača (zisk 20dB) a výpočte prvkov modulátora ak bude použitá LED dióda WK16403 s fotodiódou SP102.

Technická dokumentácia musí obsahovať:

pre prijímač:

- zadanie
- návrh obvodu (schému) s označením súčiastok
- výpočet a optimalizáciu jednotlivých prvkov a parametrov obvodu
- vypočítanú maximálnu možnú citlivosť s vybraným tranzistorom
- vypočítanú optimálnu citlivosť (R_{Lopt})
- skutočnú citlivosť
- zosilnenie, šírku pásma (A-F charakteristika)
- konštrukciu a návrh plošného spoja s rozložením súčiastok
- namerané js parametre a frekvenčnú charakteristiku a ich porovnanie s navrhnutými hodnotami
- zhodnotenie

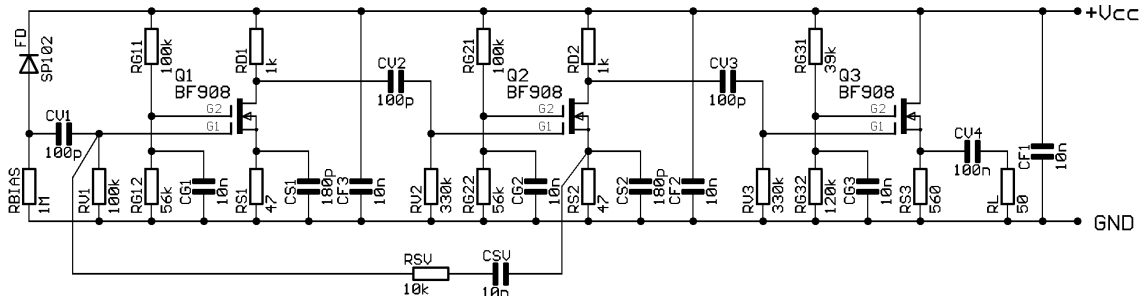
pre vysielateľ

- zadanie
- návrh obvodu s označením súčiastok
- výpočet a optimalizáciu jednotlivých prvkov a parametrov obvodu
- dosku plošného spoja
- namerané js parametre a frekvenčnú charakteristiku a ich porovnanie s navrhnutými hodnotami
- zhodnotenie
- záver

1. Zosilňovač pre prijímač

1.1. Návrh obvodu

Pre prvú variantu zosilňovača pre optický prijímač som použil dvojhradlové FET tranzistory. Zapojenie pozostáva z dvoch jednoduchých zosilňovacích stupňov a emitorového sledovača na zaistenie nízkej výstupnej impedancie. Zapojenie je na nasledujúcom obrázku:



Fotodióda je na vstup pripojená cez kapacitnú väzbu aby sa dal nastaviť jej kľudový prúd a pracovný bod pomocou rezistora RBIAS. Pracovný bod tranzistorov je nastavený rezistormi RGx1 a RGx2, podľa výpočtu. Potenciál druhého hradla je vysokofrekvenčne uzemnený cez kondenzátory CGx. V kolektoroch sú použité len rezistory, v emitoroch sú použité rezistory s vysokofrekvenčnou kompenzáciou kapacitami CSx, na zvýšenie zosilnenia pri vysokých frekvenciách, kde jednak klesá kôli uplatňovaniu sa spätných väzieb parazitnými kapacitami a aj z požiadavky na maximálne vyrovnanú amplitúdovo frekvenčnú charakteristiku celého zosilňovača po pripojení fotodódy. Dôvod je jednoduchý - fotodióda sa správa ako zdroj prúdu a na výstupe zosiňovača požadujeme napäťový výstup, ale vstupná impedancia zosilňovača s rastom frekvencie klesá a tým klesá aj vstupné napätie. Vhodnou voľbou emitorových kapacít sa pri optimalizácii v simulačnom prostredí MicroCap 6 dala dosiahnuť pomerne vyrovnaná a-f charakteristika.

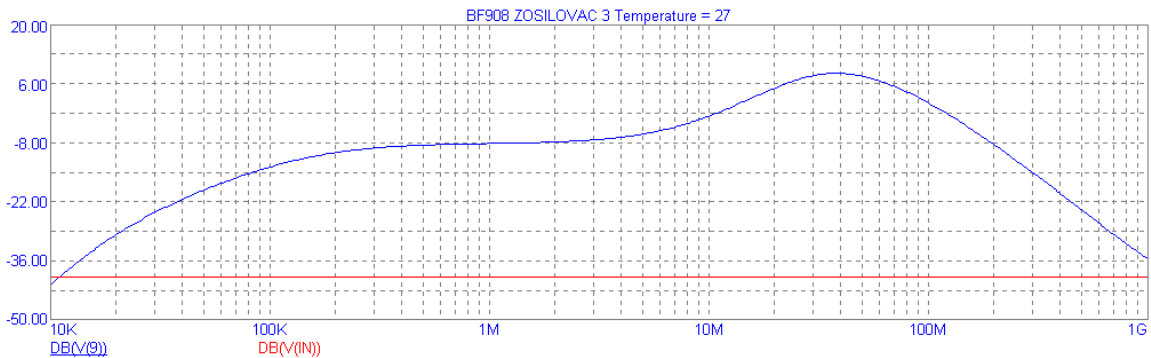
Jednotlivé zosilňovacie stupne sú viazané kapacitnou väzbou, hodnota väzobných kapacít a hodnota ich zaťažovacích odporov RVx určuje spodnú prenášanú frekvenciu. Na zvýšenie stability a vstupnej impedancie je použitá záporná spätná väzba Rsv a Csv.

Napájanie zosilňovača som zvolil 15V, vzhľadom na dostupné napájacie zdroje BK124.

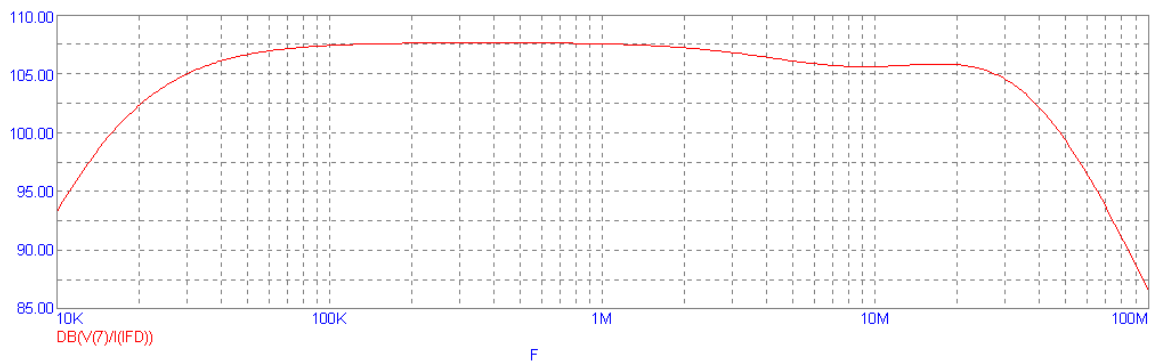
Výpočet jednotlivých prvkov zosilňovača:

1.2. Simulácie optimalizovaného obvodu

amplitúdovo frekvenčná charakteristika pri budení prúdovým zdrojom, červená krivka je vstupné napätie, modrá výstupné napätie

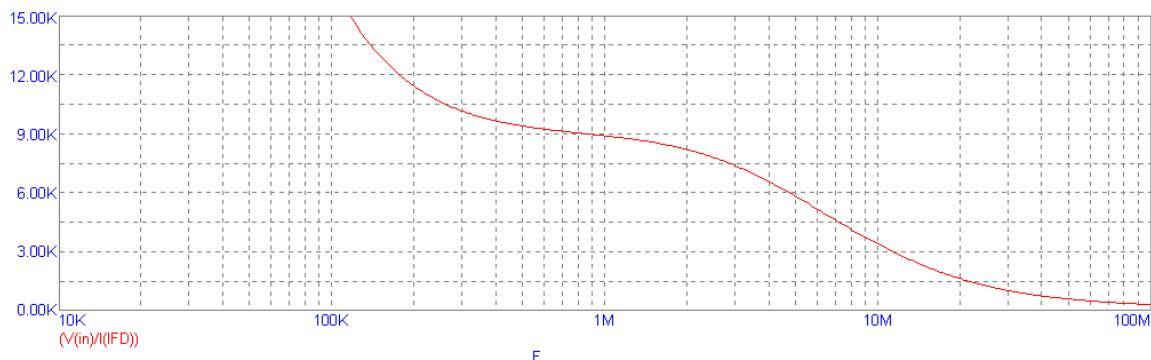


závislosť prenosu U_{out}/I_{FD} od frekvencie



Priebeh napätového zosilnenia je na prvý pohľad pomerne "divoký", ale z hľadiska využitia zosilňovača pre fotodiódu je zaujímavejší priebeh pomeru výstupného napätia ku vstupnému prúdu, lebo on určuje využiteľnú šírku pásma (okrem toho ide o transimpedančný zosilňovač, takže hovoriť o napätovom zosilnení nemá veľký zmysel). Dosaiahnutá šírka podľa simulácie je 27kHz-29MHz.

závislosť vstupnej impedancie od frekvencie



Vstupná impedancia je na nízkych frekvenciách daná vonkajšími rezistormi, ale so zvyšovaním frekvencie ju prudko znižuje parazitná kapacita hradlo-emitor. Pre dostatočne vysoké frekvencie by vstupná impedancia klesla až na hodnotu emitorového rezistora. Čiastočne proti tomuto javu pracuje spätná väzba, ale na dosiahnutie požadovaného zosilnenia nemôže byť príliš silná. Pri návrhu treba zvoliť kompromis medzi zosilnením a vstupnou impedanciou, prípadne pridať ďalší zosilňovací stupeň.

Zápis obvodu pre simuláciu:

```
*zosilnovac pre opticky prijimac
v1 1 0 15
*ifd in 0 sin 0 100u 1meg ; pre tran analyzu
*iFD in 1 ac 100u ;pre ac analyzu
vFD in 1 ac 10m ;pre ac analyzu
cfd in 1 3p
rbias in 0 100k
;prvy stupeň
rg11 1 4 100k
rg12 4 0 56k
cg1 4 0 100n
rd11 1 2 1k
rs11 3 0 100
cs1 3 0 180p
cv1 in 5 100p
rv1 5 0 10k
x1 3 2 4 5 bf908
;druhy stupeň
rg31 1 14 100k
rg32 14 0 56k
cg3 14 0 100n
rd31 1 12 1k
rs31 13 0 100
cs3 13 0 180p
cv3 2 15 1n
rv3 15 0 10k
x3 13 12 14 15 bf908
rsv 7 33 1k
csv 3 33 1n
;sledovac
cv2 12 9 1n
rv2 9 0 10k
rs21 7 0 560
rg21 1 8 40k
rg22 8 0 110k
cg2 8 0 100n
x2 7 1 8 9 bf908
;zataz
cv4 7 out 100n
rl 7 0 50
* BF908 SPICE
* 1.: SOURCE 2.: DRAIN 3.: GATE 2 4.: GATE 1
.SUBCKT BF908 1 2 3 4
L10 1 10 0.12N
L20 2 20 0.12N
L30 3 30 0.12N
L40 4 40 0.12N
L11 10 11 1.20N
L21 20 21 1.20N
L31 30 31 1.20N
L41 40 41 1.20N
C13 10 30 0.085P
C14 10 40 0.085P
C21 10 20 0.017P
C23 20 30 0.085P
C24 20 40 0.005P
D11 42 11 ZENER
D12 42 41 ZENER
D21 32 11 ZENER
D22 32 31 ZENER
RS 10 12 100
MOS1 61 41 11 12 GATE1 L=1.1E-6 W=1750E-6
MOS2 21 31 61 12 GATE2 L=2.0E-6 W=1750E-6
.MODEL ZENER
+D BV=10 CJO=1.2E-12 RS=10
.MODEL GATE1
+NMOS LEVEL=3 UO=600 VTO=-0.250 NFS=300E9
TOX=33E-9
+NSUB=3E15 VMAX=140E3 RS=2.0 RD=2.0
XJ=200E-9 THETA=0.11
+ETA=0.06 KAPPA=2 LD=0.1E-6
+CGSO=0.3E-9 CGDO=0.3E-9 CBD=0.5E-12
CBS=0.5E-12
.MODEL GATE2
+NMOS LEVEL=3 UO=600 VTO=-0.250 NFS=300E9
TOX=33E-9
+NSUB=3E15 VMAX=100E3 RS=2.0 RD=2.0
XJ=200E-9 THETA=0.11
+ETA=0.06 KAPPA=2 LD=0.1E-6
+CGSO=0.3E-9 CGDO=0.3E-9 CBD=0.7E-12
CBS=0.5E-12
.ENDS BF908
```

Obvodové veličiny v pracovnom bode

Micro-Cap Evaluation 6.0

DC Operating Point Values

DC Operating Point Voltages

Node	Voltage	Node	Voltage	Node	Voltage
1	15.00	IN	0.00	4	5.38
2	11.33	3	366.97m	5	2.95n
14	5.38	12	11.33	13	366.97m
15	2.95n	9	4.70n	7	554.16m
8	11.00	X1.L10	366.97m	X1.L20	11.33
X1.L30	5.38	X1.L40	2.95n	X1.L11	366.97m
X1.L21	11.33	X1.L31	5.38	X1.L41	2.95n
X1.L42	82.71m	X1.L32	526.21m	X1.L12	366.97m
X1.L61	5.06	X3.L10	366.97m	X3.L20	11.33
X3.L30	5.38	X3.L40	2.95n	X3.L11	366.97m
X3.L21	11.33	X3.L31	5.38	X3.L41	2.95n
X3.L42	82.71m	X3.L32	526.21m	X3.L12	366.97m
X3.L61	5.06	X2.L10	554.16m	X2.L20	15.00
X2.L30	11.00	X2.L40	4.70n	X2.L11	554.16m
X2.L21	15.00	X2.L31	11.00	X2.L41	4.70n
X2.L42	94.57m	X2.L32	894.81m	X2.L12	554.16m
X2.L61	10.18				

DC Operating Point Inductor Current

Inductor	Current	Inductor	Current	Inductor	Current
X1.L10	-3.65m	X1.L20	3.67m	X1.L30	4.87p
X1.L40	-294.60f	X1.L11	-3.65m	X1.L21	3.67m
X1.L31	4.87p	X1.L41	-294.60f	X3.L10	-3.65m
X3.L20	3.67m	X3.L30	4.87p	X3.L40	-294.60f
X3.L11	-3.65m	X3.L21	3.67m	X3.L31	4.87p
X3.L41	-294.60f	X2.L10	-12.07m	X2.L20	12.07m
X2.L30	5.25n	X2.L40	-469.65f	X2.L11	-12.07m
X2.L21	12.07m	X2.L31	5.25n	X2.L41	-469.65f

Diodes

	X1.D11	X1.D12	X1.D21	X1.D22	X3.D11
ID	-294.24f	317.56f	4.88p	-4.85p	-294.24f
VD	-284.24m	82.71m	159.24m	-4.84	-284.24m
REQ	966.02G	95.54G	5.44G	997.95G	966.02G
CAP	1.06p	1.25p	1.31p	495.86f	1.06p

Power Terms:

PD	83.64f	26.27f	777.22f	23.64p	83.64f
PS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Pin Currents:

Id	-294.24f	317.56f	4.88p	-4.85p	-294.24f
----	----------	---------	-------	--------	----------

Condition:

State	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
-------	-----	-----	-----	-----	-----

	X3.D12	X3.D21	X3.D22	X2.D11	X2.D12
ID	317.56f	4.88p	-4.85p	-469.59f	471.74f
VD	82.71m	159.24m	-4.84	-459.59m	94.57m
REQ	95.54G	5.44G	997.95G	978.71G	62.62G
CAP	1.25p	1.31p	495.86f	993.27f	1.26p

Power Terms:

PD	26.27f	777.22f	23.64p	215.82f	44.61f
PS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Pin Currents:

Id	317.56f	4.88p	-4.85p	-469.59f	471.74f
----	---------	-------	--------	----------	---------

Condition:

State	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
-------	-----	-----	-----	-----	-----

	X2.D21	X2.D22
ID	5.25n	-5.23n
VD	340.65m	-10.09
REQ	4.93M	4.94M
CAP	1.48p	360.10f

Power Terms:

PD	1.79n	53.03n
PS	0.00	0.00

Pin Currents:

Id	5.25n	-5.23n
----	-------	--------

Condition:

State	OFF	ZENER
-------	-----	-------

MOSFET Devices

	X1.MOS1	X1.MOS2	X3.MOS1	X3.MOS2	X2.MOS1
ID	3.67m	3.67m	3.67m	3.67m	12.07m
VGS	-366.97m	326.56m	-366.97m	326.56m	-554.16m
VDS	4.69	6.27	4.69	6.27	9.63
VBS	2.82n	-4.69	2.82n	-4.69	4.67n

Zosilňovač pre optický prijímač a vysielač

VTH	-576.17m	16.46m	-576.17m	16.46m	-888.71m
VDSAT	215.78m	315.83m	215.78m	315.83m	304.97m
GM	31.06m	21.72m	31.06m	21.72m	86.38m
GDS	2.18m	300.43u	2.18m	300.43u	6.81m
GMB	2.89m	873.39u	2.89m	873.39u	7.40m
CBD	190.98f	182.61f	190.98f	182.61f	138.67f
CBS	497.72f	190.72f	497.72f	190.72f	492.62f
CGSOVL	525.00f	525.00f	525.00f	525.00f	525.00f
CGDOVL	525.00f	525.00f	525.00f	525.00f	525.00f
CGBOVL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CGS	1.10p	2.20p	1.10p	2.20p	1.10p
CGD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CGB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Power Terms:					
PD	17.21m	23.02m	17.21m	23.02m	116.21m
PS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pin Currents:					
Ig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Id	3.67m	3.67m	3.67m	3.67m	12.07m
Is	-3.65m	-3.65m	-3.65m	-3.65m	-12.07m
Ib	-6.50p	-21.69p	-6.50p	-21.69p	-13.33p
Condition:					
State	SAT	SAT	SAT	SAT	HOT
X2.MOS2					
ID	12.07m				
VGS	820.29m				
VDS	4.82				
VBS	-9.61				
VTH	191.14m				
VDSAT	571.33m				
GM	35.72m				
GDS	943.35u				
GMB	974.68u				
CBD	160.48f				
CBS	138.35f				
CGSOVL	525.00f				
CGDOVL	525.00f				
CGBOVL	0.00				
CGS	2.20p				
CGD	0.00				
CGB	0.00				
Power Terms:					
PD	58.20m				
PS	0.00				
Pin Currents:					
Ig	0.00				
Id	12.07m				
Is	-12.07m				
Ib	-33.36p				
Condition:					
State	SAT				

1.3. Výpočet citlivosti

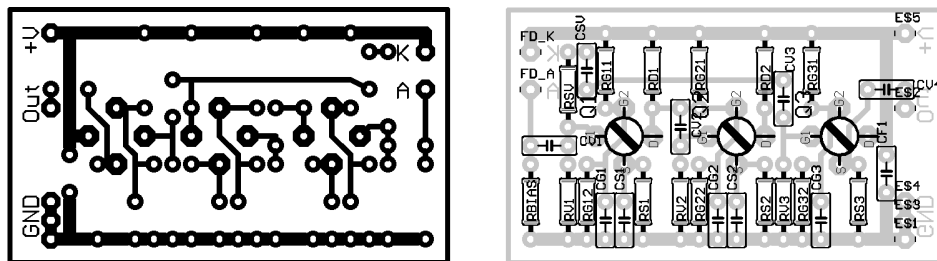
Vzhľadom na značne sa meniacu zaťažovaciu impedanciu fotodiódy je ťažké exaktne určiť šumové parametre, preto uvediem výpočty pre diskkrétne pracovné frekvencie

parametre:	f=100kHz	f=1MHz
$g_m = 40 \text{ mS}$	$\langle i_s^2 \rangle_{\min} = 1.92E-19 \text{ A}^2$	$\langle i_s^2 \rangle_{\min} = 1.92E-19 \text{ A}^2$
$C_t = 7 \text{ pF}$	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{opt}} = 3.83E-19 \text{ A}^2$	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{opt}} = 3.83E-19 \text{ A}^2$
$B = 22.5 \text{ MHz}$	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{skut}} = 1.46E-16 \text{ A}^2$	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{skut}} = 2.37E-17 \text{ A}^2$
$I_2 = 0.5 -$		
$I_3 = 0.03 -$	$R_{L\text{opt}} = 972.56 \text{ k}\Omega$	$R_{L\text{opt}} = 972.56 \text{ k}\Omega$
$\Gamma = 0.7 -$		$R_{L\text{skut}} = 1300$
$I_h = 50 \text{ nA}$	Citlivost:	
$L_{\text{skut}} = 1300 \text{ }\Omega$	$\eta \cdot P_{\text{str min}} = 0.64 \text{ nW} \sim -62.0 \text{ dBm}$	$\eta \cdot P_{\text{str min}} = 0.64 \text{ nW}$
$\lambda = 850 \text{ nm}$	$\eta \cdot P_{\text{str opt}} = 0.90 \text{ nW} \sim -60.4 \text{ dBm}$	$\eta \cdot P_{\text{str opt}} = 0.90 \text{ nW}$
$Q = 6.0 -$	$\eta \cdot P_{\text{str skut}} = 17.59 \text{ nW} \sim -47.5 \text{ dBm}$	$\eta \cdot P_{\text{str skut}} = 7.10 \text{ nW}$
	f=10MHz	f=25MHz
	$\langle i_s^2 \rangle_{\min} = 1.92E-19 \text{ A}^2$	$\langle i_s^2 \rangle_{\min} = 1.92E-19 \text{ A}^2$
	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{opt}} = 3.83E-19 \text{ A}^2$	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{opt}} = 3.83E-19 \text{ A}^2$
	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{skut}} = 6.08E-17 \text{ A}^2$	$\langle i_s^2 \rangle_{\text{skut}} = 1.46E-16 \text{ A}^2$
	$R_{L\text{opt}} = 972.56 \text{ k}\Omega$	$R_{L\text{opt}} = 972.56 \text{ k}\Omega$
	$R_{L\text{skut}} = 1300$	$R_{L\text{skut}} = 1300$
	Citlivost:	Citlivost:
	$\eta \cdot P_{\text{str min}} = 0.64 \text{ nW} \sim -62.0 \text{ dBm}$	$\eta \cdot P_{\text{str min}} = 0.64 \text{ nW}$
	$\eta \cdot P_{\text{str opt}} = 0.90 \text{ nW} \sim -60.4 \text{ dBm}$	$\eta \cdot P_{\text{str opt}} = 0.90 \text{ nW}$
	$\eta \cdot P_{\text{str skut}} = 11.37 \text{ nW} \sim -49.4 \text{ dBm}$	$\eta \cdot P_{\text{str skut}} = 17.59 \text{ nW}$

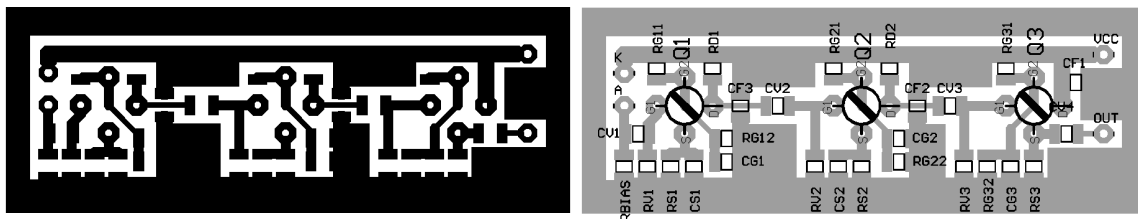
1.4. Realizácia.

Prvý prototyp zosilňovača som osadil bežnými súčiastkami, tranzistory boli použité teslácke dvojhradlové fety typu KF907. Podľa dostupných informácií mali byť špeciálne vyberané vo výrobe na vysokú hodnotu strmosti. Pri výbere však vždy vznikajú dve kopy a strmosť 40mS, na ktorú bol zosilňovač navrhnutý na základe modelov od firmy Phillips ani zďaleka nedosahovali (veľkým úspechom sú hodnoty pod 10mS). Okrem toho zosiňovač javil náznaky nestability, preto som mudel vo vývoji pokračovať.

Doska plošného spoja a osadenie súčiastkami prvého prototypu zosilňovača:



Ako som spomínal prvý prototyp bol z hľadiska funkcie nepoužiteľný, preto som navrhol druhý, realizovaný SMD súčiastkami a s "lepšími" tranzistormi KF910. Okrem súčiastok som vylepšil aj návrh plošného spoja a fyzickú realizáciu z hľadiska elektromagnetickej kompatibility. Návrh vyzerá nasledovne:

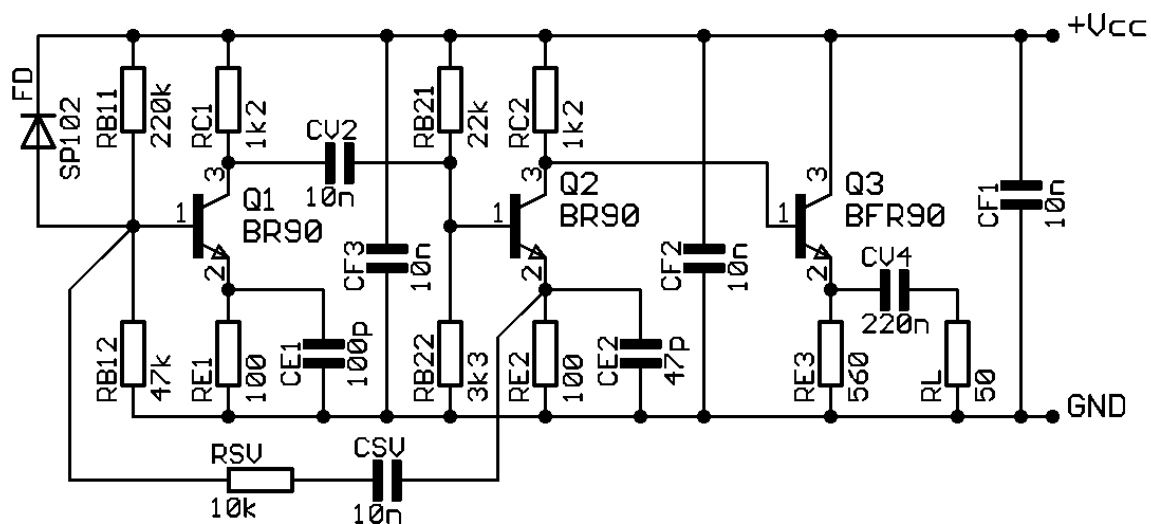


Každý stupeň je oddelený vo svojej tieniacej komôrke a má svoj blokovací kondenzátor, plošný spoj je obojstraný s uzemnenou spodnou plochou a celý zosiňovač je vstavaný do vodivej cuprexitovej krabičky.

Z hľadiska funkcie bol tento prototyp na hranici stability, inak dosahoval zosilnenie asi 30dB v pásme do 10MHz, čo v šírke pásma nespĺňa zadanie.

1.5. Zosilňovač s BJT

Po konzultácii so skúsenejším konštruktérom som zistil, že širokopásmový zosilňovač je s použitými tranzistormi ťažko realizovateľný (bez použitia vyrovnávacích indukčností na parazitné kapacity, čo som sa dozvedel až neskoro), a preto som sa musel vrátiť do bodu 1 - návrh zapojenia. Zvolil som bipolárne tranzistory (aj keď zo šumového hľadiska nie sú pre túto šírku pásma najoptimálnejšie). Zapojenie je z obvodového hľadiska to isté, použité sú tranzistory typu BFR90. Schéma zapojenia je na nasledujúcom obrázku:

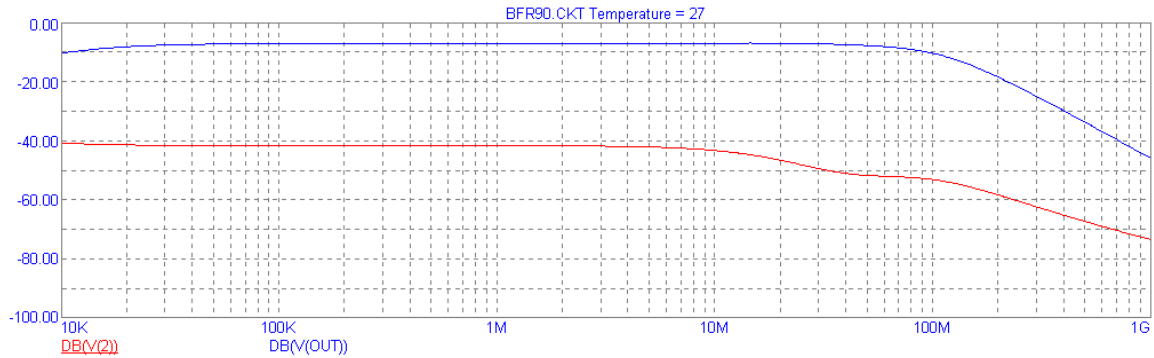


Pracovný bod tranzistorov je stabilizovaný rezistormi RBx1 a RBx2, ostatné súčiastky sú také isté a plnia tú istú funkciu.

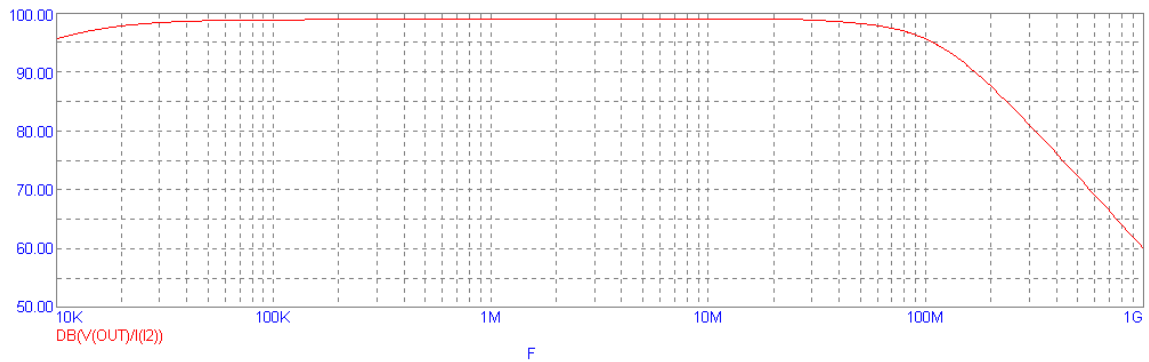
Návrh obvodových prvkov:

1.6. Simulácie optimalizovaného obvodu

napät'ové zosilnenie pri buzení zdrojom prúdu

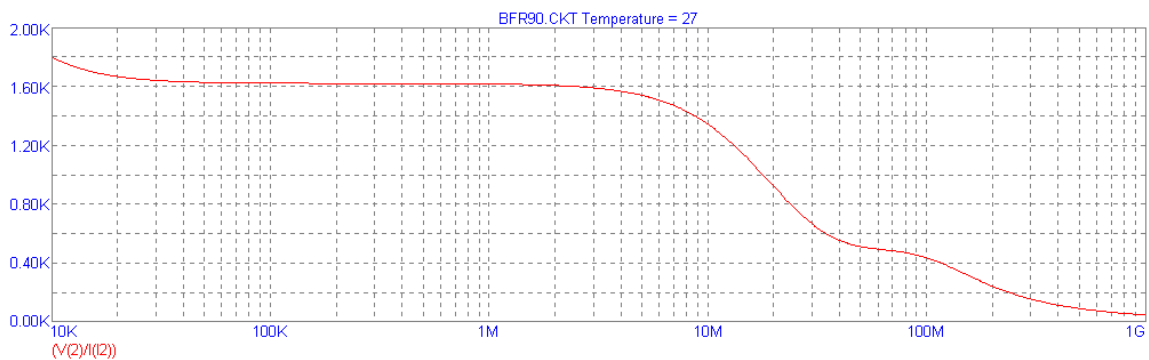


závislosť prenosu U_{out}/I_{FD} od frekvencie



Podľa simulácie je šírka pásma 10kHz-100MHz, čo je potvrdené aj z praktického merania (viď nižšie)

závislosť vstupnej impedancie od frekvencie



Použitý tranzistory majú menšie parazitné kapacity, lebo sú určené na prácu pri vyšších frekvenciách. Preto sa začnú uplatňovať až pri vyšších frekvenciách a celý priebeh závislosti vst. impedancie od frekvencie je vyrovnanejší.

Bipolar Junction Transistors

	X1.Q1	X2.Q1	X3.Q1
IB	28.12u	68.34u	85.04u
IC	2.55m	5.70m	7.53m
VBE	765.72m	792.85m	800.86m
VBC	-7.92	-3.69	-6.92
VCE	8.69	4.49	7.74
BETADC	90.57	83.41	88.51
GM	97.77m	218.36m	288.32m
RPI	923.51	379.32	304.73
RX	10.00	10.00	10.00
RO	22.15K	9.08K	7.29K
CPI	3.01p	5.01p	6.07p
CMU	292.48f	338.08f	300.15f
CBX	0.00	0.00	0.00
CJS	0.00	0.00	0.00
BETAAC	90.30	82.83	87.86
FT	4.71G	6.49G	7.20G

Power Terms:

PD	22.15m	25.63m	58.31m
PS	0.00	0.00	0.00

Pin Currents:

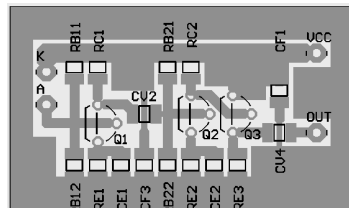
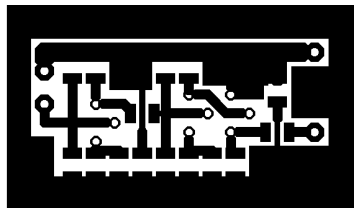
Ib	28.12u	68.34u	85.04u
Ic	2.55m	5.70m	7.53m
Ie	-2.56m	-5.75m	-7.61m
Is	0.00	0.00	0.00

Condition:

State	LIN	LIN	LIN
-------	-----	-----	-----

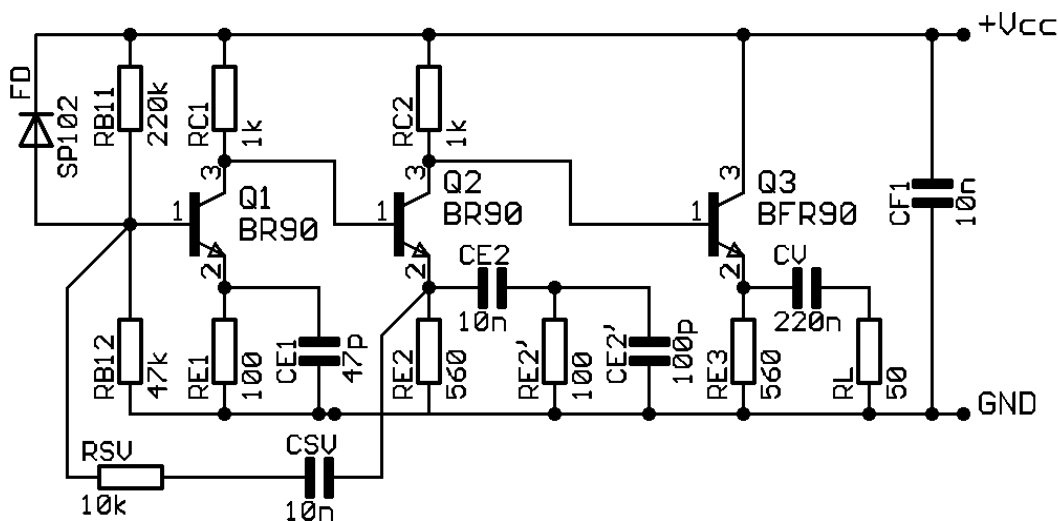
1.7. Realizácia

Návrh plošného spoja a osadenie súčiastok je na nasledujúcich obrázkoch:



Hotový zosilňovač mal zosilnenie zhruba 30dB dokonca do frekvencií nad 100MHz, ale bol na hranici stability. Pri vybudení niektorými frekvenciami sa rozkmital. Na meranie bol použitý generátor Rodhe-Schwartz (100kHz-2GHz) a spektrálny analyzátor Hewlett Packard (HP4291, 9kHz-1,8GHz).

Posledný pokus bolo vylepšenie predošlého zapojenia použitím priamej galvanickej väzby podľa obrázku:



Zosilňovač funguje podobne ako predchádzajúci. Použitím galvanickej väzby sa pracovné body nastavujú samé. Použité hodnoty rezistorov však nevyhovujú pre zosilnenie, preto pribudli členy RE2' a CE2', ktoré určujú zosilnenie pre striedavý signál.

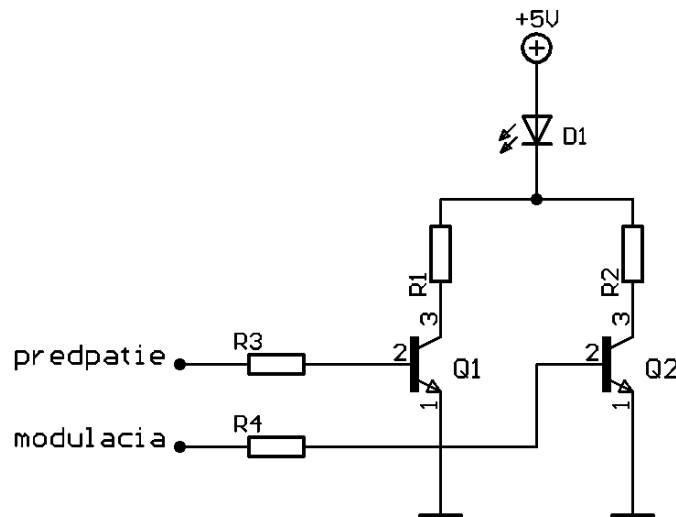
Tento prototyp nebol postavený na zvláštnej doske, ale len upravením predchádzajúcej varianty.

Pri meraní sa však predpokladaný účinok nedostavil a zosilňovač už nebol na hranici stability, ale podľa stability kmitov ďaleko za ňou...

2. Vysielač

2.1. Návrh obvodu

Obvod vysielača je veľmi jednoduchý, lebo by mala byť použitá LED dióda a nemáme žiadne konkrétne požiadavky na zapojenie. Preto som zvolil zapojenie podľa nasledujúceho obrázku:



Funkcia je veľmi jednoduchá - tranzistorom Q1 sa zapína predpätie, veľkosť rezistora R1 sa vypočíta tak, aby po zopnutí tranzistora tiekol diódou prahový prúd a tranzistorom Q2 sa spína už len pracovná zložka prúdu. Na výpočet hodnôt rezistorov stačí ohmov zákon, preto ho nebudem uvádzať.

Pokiaľ by sme chceli budič, ktorý by automaticky reguloval prúd cez diódu v závislosti od emitovaného optického výkonu, použili by sa namiesto Q1 a Q2 riadené prúdové zdroje (napríklad FET tranzistory).

Simulácie a návrh plošného spoja neboli požadované.

3. Záver

Úlohou tohoto projektu bolo navrhnúť, vypočítať, odsimulovať, optimalizovať a zmerať zosilňovač pre optický prijímač. Daný zosilňovač sa podarilo navrhnúť a zoptimalizovať na dané parametre bez problémov, avšak pri realizácii nastali značné problémy s jeho stabilitou napriek dodržaniu pravidiel elektromagnetickej kompatibility (blokovacie kondenzátory, tienenie, dostatočne široké vodivé plochy...).

Verzia s FET tranzistormi nedosahovala požadované parametre, verzia s BJT tranzistormi bohate prekročila požadovanú šírku pásma - potrebná cca 25MHz, podarilo sa dosiahnuť okolo 100MHz. Ak by sa odstránili problémy so stabilitou, zosiňovač by bol použiteľný napríklad na bezdrôtové prenosy nízkorýchlostnej lokálnej siete.