ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

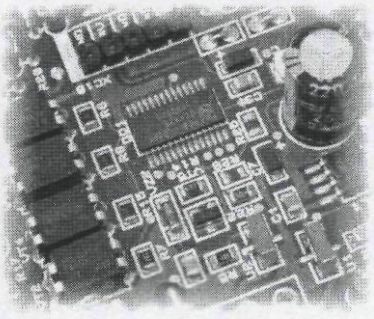
Дисциплина: Конструкция и технология на електронна апаратура

Студент: Тодор Николов Сабрутев
Факултет: ФЕТТ
Специалност: Електроника
Група: 66
Фак.№: 06033904

ДОМАШНА РАБОТА

Тема:

ЗВУКОВ ГЕНЕРАТОР - АЛАРМА



Дата: __.__.2008 г.

Проверил: _____

СЪДЪРЖАНИЕ

I. Обяснителна записка

1. Блокова схема на устройството
2. Описание на схемата, предназначение и функции

II. Графична част

1. Пълна принципна схема
2. Печатна платка

III. Използвана литература

IV. Приложения

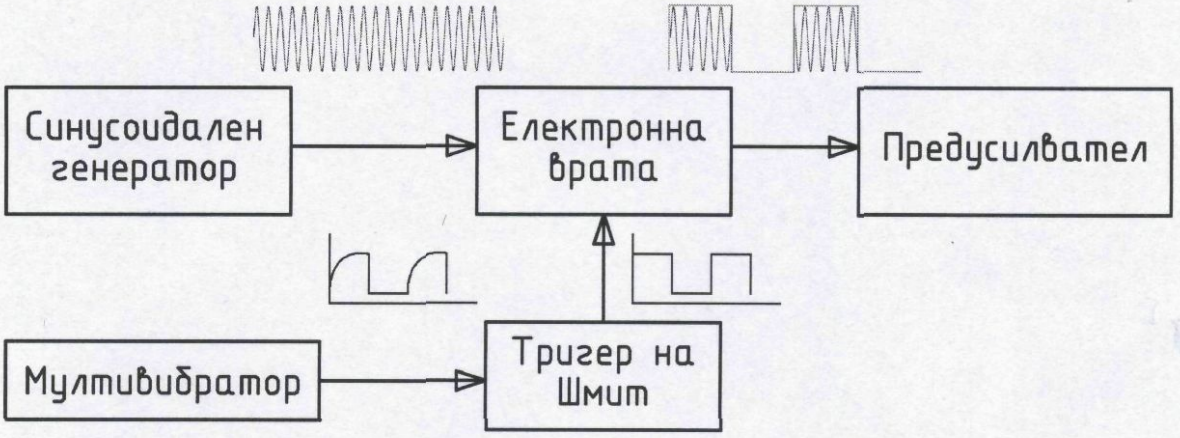
1. *Приложение 1* – Спецификация на елементите
2. *Приложение 2* – Каталожни данни на транзистор 2N4392
3. *Приложение 3* – Каталожни данни на ИС KA7809
4. *Приложение 4* – Каталожни данни на транзистор 2N2222A

V. Реализация на схемата чрез методите на дебелослойната техника

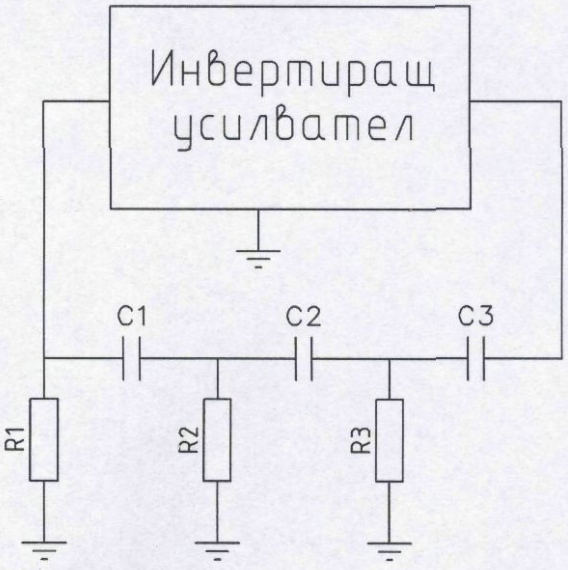
I. Обяснителна записка

Настоящата работа представлява звуков генератор – аларма, предназначен за монтиране в лек автомобил. Основната му функция е да предупреждава близкостоящите пешеходци, когато автомобилът тръгва или се движи на заден ход, по аналогия с камиони, трактори, багери и т.н.

Блокова схема



По същество представлява нискочестотен RC- синусоидален генератор с апериодично звено, изпълнен с едностъпален инвертиращ транзисторен усилвател в схема OE и фазовъртяща група, включена между изхода и входа, играеща роля на честотно зависима обратна връзка.



Тази RC група обръща фазата на изходния сигнал, така че да се изпълни фазовото условие за възбуждане на генерации, а именно $\varphi_\beta = -\pi . k$

Амплитудното условие се осигурява от инвертиращия усилвател: $A_U \geq 29$

Изходният сигнал е с честота 1kHz, избрана по две съображения. Първото е за по-лесно пресмятане, а второто е фактът, че човешкото ухо е най-чувствително за честоти от 800Hz до 1kHz.

Стойностите на елементите във фазовъртящата група се изчисляват по формулата $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$. Друг

възможен вариант за генераторната схема беше неинвертиращ усилвател с мост на Вин, който отпадна поради необходимостта да се проектира двустъпален транзисторен усилвател в схема ОЕ, което усложнява излишно схемата.

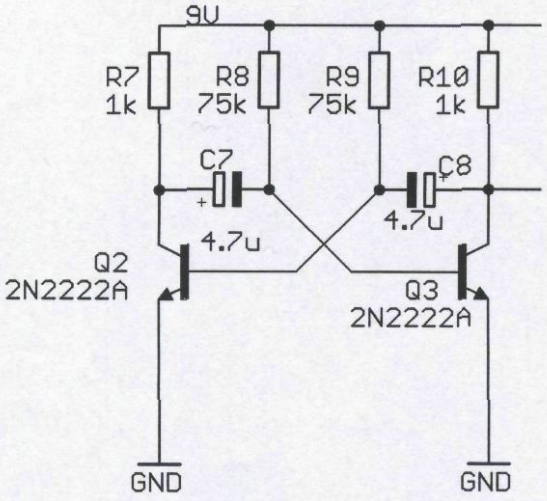
Сигналът излизащ от RC генератора (по-нататък „звуков сигнал/ честота“) трябва да се модулира от друг нискочестотен сигнал за да се получи нужното накъсване на звука. Той трябва да има честота 1 до 2Hz.

Модулиращият сигнал се осигурява от симетричен транзисторен мултивибратор, реализиран с транзисторите Q_2 и Q_3 и прилежащите им елементи. Честотата, съответно периодът му зависи от стойностите на резисторите и кондензаторите в схемата по следните формули:

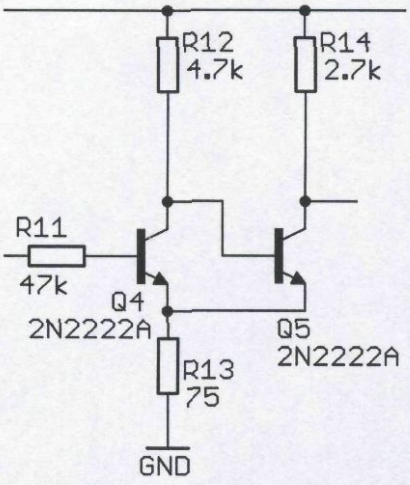
$$T = \ln 2(C_8 R_9 + C_7 R_8)$$

и

$$f_{MB} = \frac{1}{\ln 2(C_8 R_9 + C_7 R_8)}$$

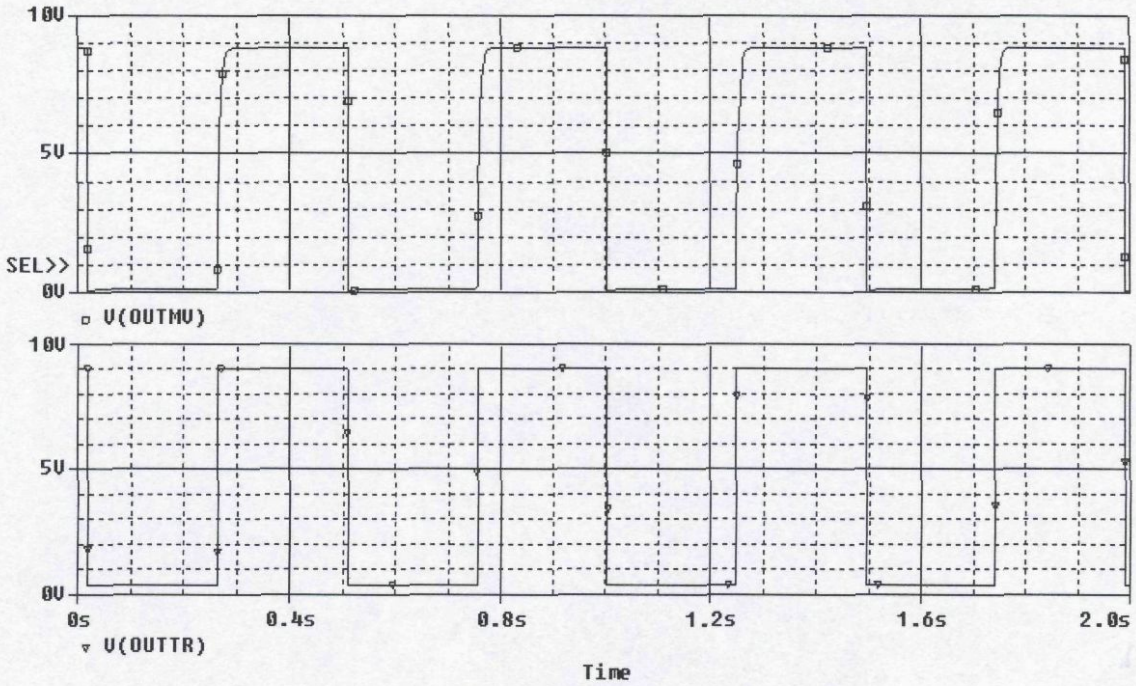


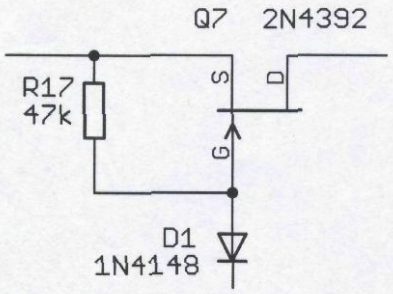
Следователно за реализиране на ниски честоти е необходимо използването на сравнително големи кондензатори, което води до известна нестабилност на честотата. Поради това първоначалната ми идея беше мултивибраторът да генерира на по-висока честота, например 32Hz, а след него да се постави делител на честота, реализиран с транзисторни Т-тригери. Лошите резултати от компютърните симулации обаче, ме отказаха от тази идея, въпреки че имах успех с RS- и JK-тригерите, от които е съставен Т- тригерът.



Модулиращият сигнал има за цел да управлява електронна врата, реализирана с транзисторен ключ. Затова е необходимо формата му да бъде близка до правоъгълната. Известно е, че сигналът от такъв тип мултивибратори (МВ) има полегат преден фронт, поради което между електронната врата и МВ се включва транзисторен тригер на Шмит, изпълнен с транзистори Q_4 и Q_5, и резистори от R_{11} до R_{14}. Тази схема осигурява стръмни фронтове на изходните импулси, но недостатъкът й е, че има сравнително високо ниво на логическата нула ($U^0 \approx 400$mV за конкретната реализация). Това ниво не е достатъчно да запуши добре електронната врата (ЕВ), което води до неработоспособност на схемата.

Затова на изхода на ТШ е включен допълнителен транзистор (Q_6 на общата схема), работещ в ключов режим и осигуряващ $U^0 \approx 80$mV.

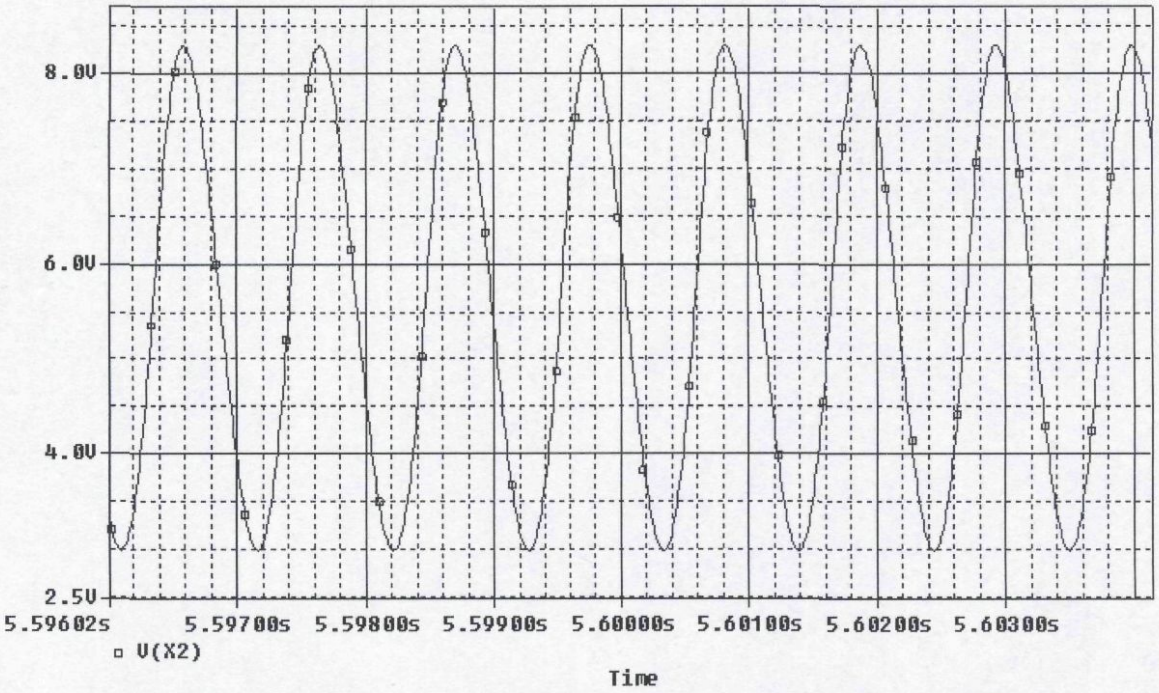




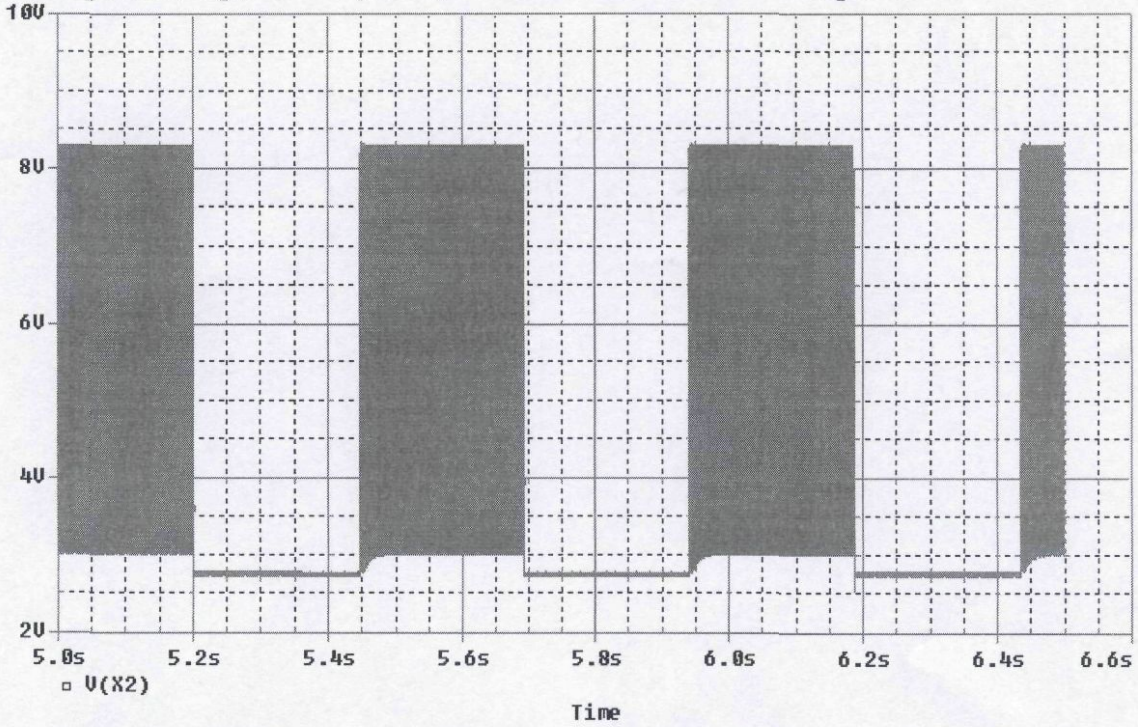
Електронната врата се състои от N- канален полеви транзистор с управляващ преход – 2N4392. Управляващото правоъгълно напрежение се подава на гейта посредством диода D_1. На сорса се подава сигналът идващ от звуковия генератор, който не е двуполярен, а има няколко волта постоянна съставка. Дрейнът се свързва към входа на нискочестотно предусилвателно стъпало.

Когато управляващият сигнал U_{clk} е нула, диодът D_1 е отпушен и през него и R_{17} протича ток, в следствие на което върху гейта се получава отрицателно напрежение, което запушва Q_7. Съпротивлението D-S е голямо и изходният ток е пренебрежимо малък.

Когато U_{clk} е лог.1 (приблизително 9V, колкото е Vcc на МВ) потенциалът на катода на D_1 е по-голям от този на анода и диодът е запушен. Ток през R_{17} не тече и U_{GS} е приблизително нула. Тогава R_{DS} е малко, Q_7 е отпушен и изходното напрежение повтаря входното.

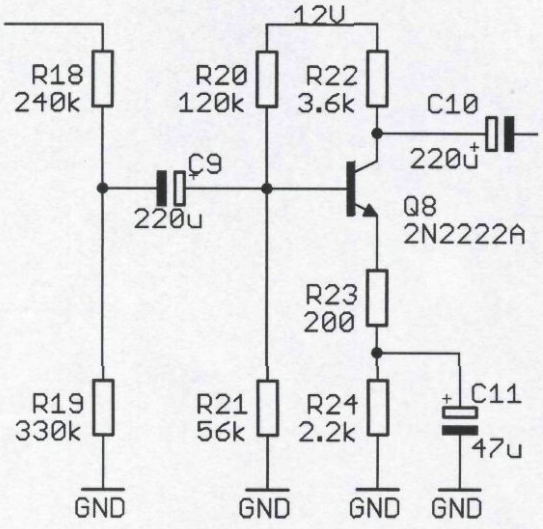


На фигурата се вижда напрежението на дрейна U_D на аналоговия ключ, когато транзисторът е отпушен, т.е. когато ключът е затворен.



Тази времедиаграма показва U_D на аналоговия ключ за три периода на модулиращия сигнал.

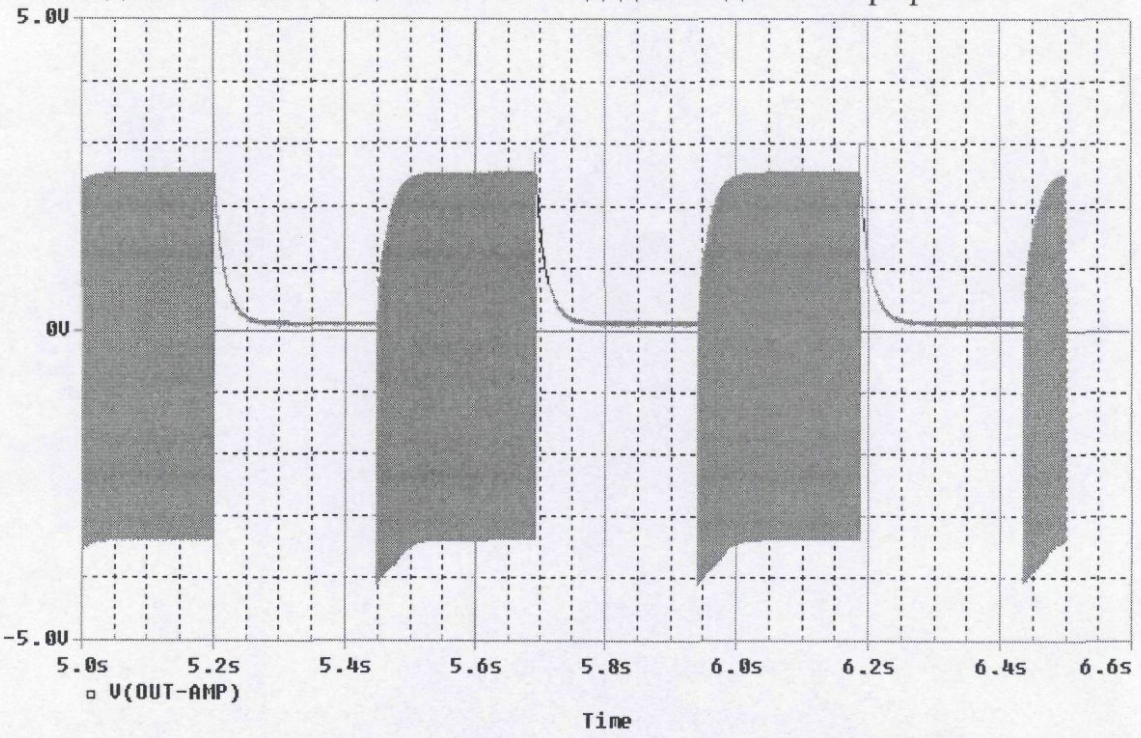
На входа на предусилвателя е свързан високоомен делител R_{18}-R_{19}, чиято цел е да не позволява на входното му съпротивление да влияе на режима на работа на RC- генератора, както и изходното съпротивление на генератора да не влияе върху параметрите на предусилвателя.



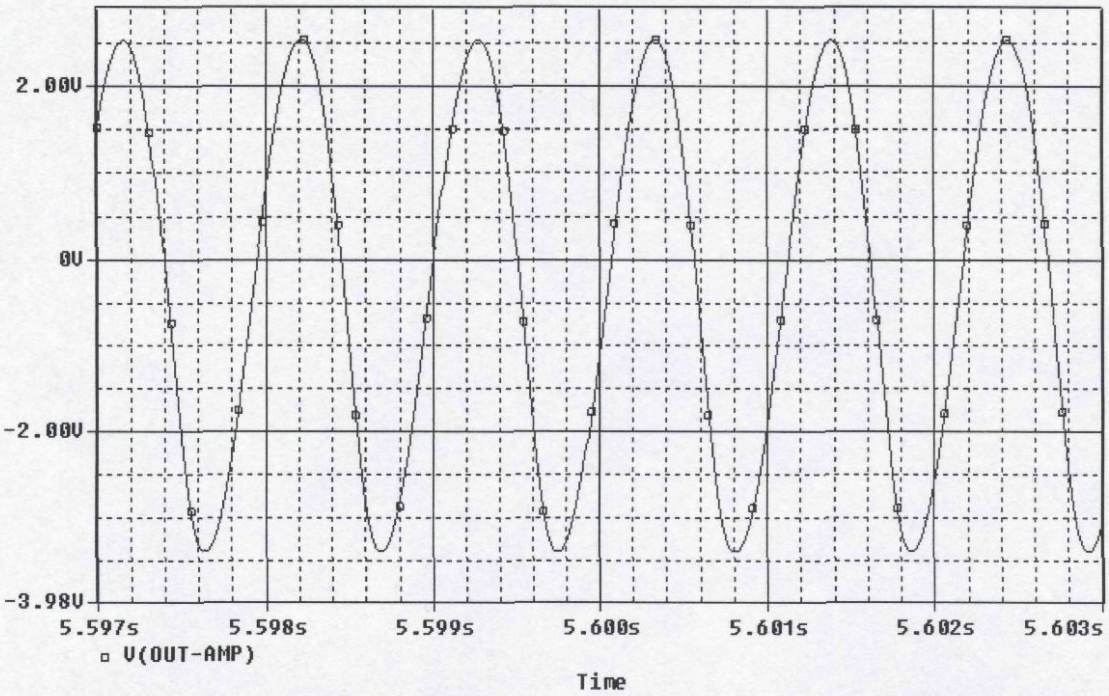
Самият предусилвател представлява едно стъпало в схема ОЕ с частична последователна ООВ по променлив ток, реализирана с R_{23} в емитерната верига на Q_8. Тази ООВ намалява коефициента на усилване и стабилизира режима на работа на стъпалото. Входният и изходният кондензатори на стъпалото – C_9 и C_{10} са електролитни с голям капацитет за да могат да пропуснат ниската честота на модулиращия сигнал.

Първоначалната ми идея беше да реализирам усилвател на мощност с диференциален усилвател на входа и двутактно крайно стъпало, но срещнах трудности при пресмятането им за еднополярно захранващо напрежение (12V от автомобилния акумулатор), поради което този вариант отпадна.

Изходният сигнал на цялата схема е даден на долната графика:



На следващата графика е дадена времедиаграмата на изходния сигнал около 5,6 секунда:



От графиката се вижда, че въпреки постоянната съставка, която се получава, сигналът е чист и без нелинейни изкривявания.

Предусилвателят работи с V_{CC} = 12V. Генераторните схеми обаче, работят със захранване V_{CC} = 9V осигурено от интегрален стабилизатор KA7809. Това се прави с цел да се защитят от временна нестабилност в захранването, каквато се получава например при запалване на автомобила.

Няколко думи за печатната платка

Тя е направена с помощта на EAGLE – „Easily Applicable Layout Editor" (www.cadsoft.de – официален сайт), въпреки че компютърните симулации са правени с OrCAD PSpice.

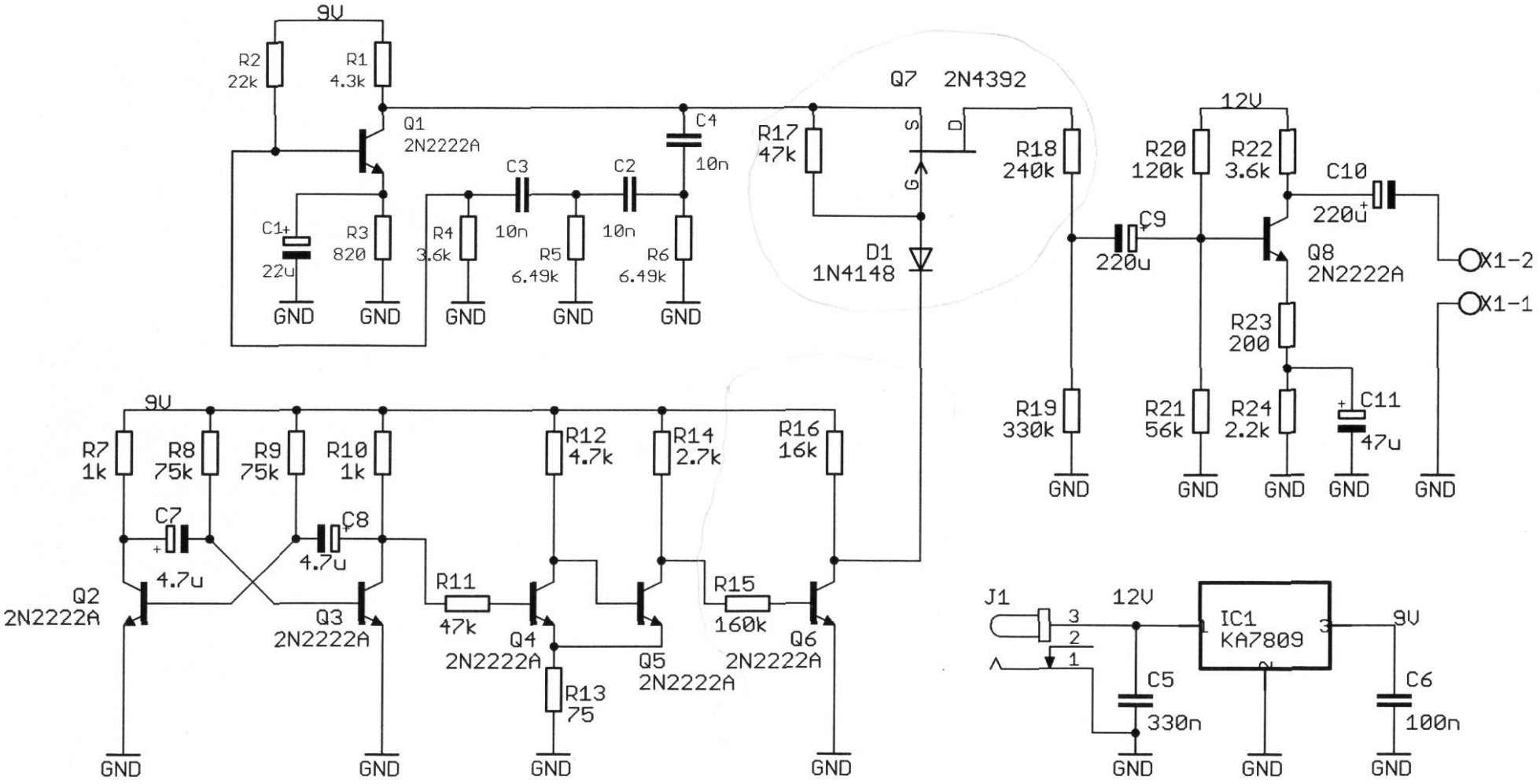
Както си личи от името, това е програма за проектиране на печатни платки с големи възможности. Има удобен интерфейс, макар първоначално да се свиква трудно с нея и свободно достъпна документация в електронен вид. Други много важни предимства са нейната мултиплатформеност (съществуват версии за Linux, Windos, Apple) и наличието на безплатна версия за некомерсиални цели.

Ограниченията на безплатната версия са 8x10cm размер на платката и до два сигнални слоя.

В моя случай платката е с размери 9,9 x 5,5 cm, има два сигнални слоя – горен и долен, пет отвора за закрепване – по четири във всеки ъгъл и един в средата. Опроводил съм я ръчно, без помощта на Autorouter. Направил съм захранващите проводници два пъти по-широки от сигналните, като съм спазвал основните принципи за проектиране на печатни платки.

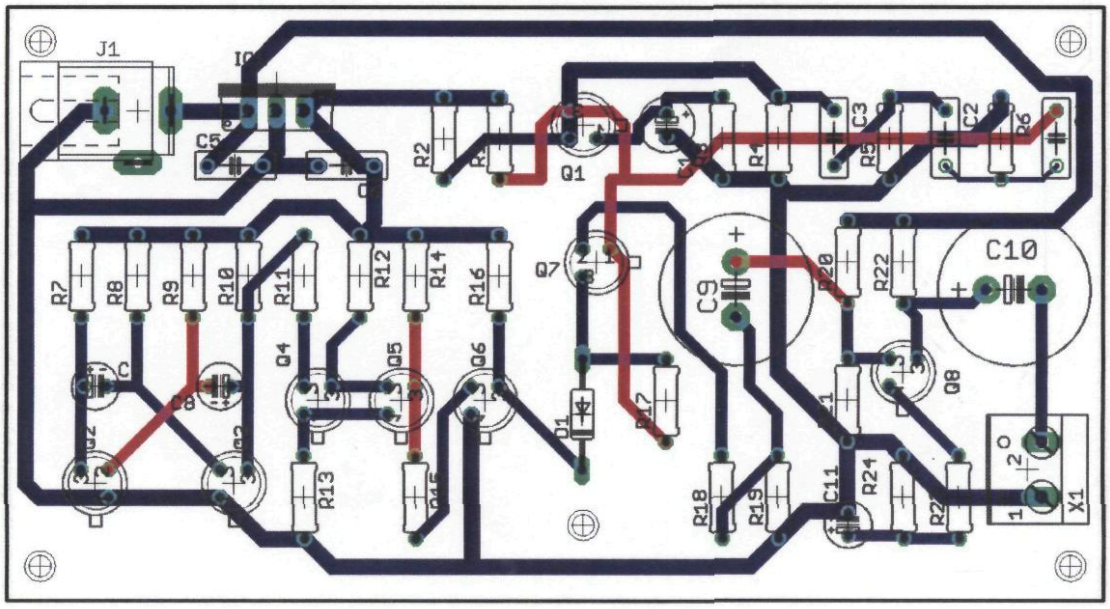
II. Графична част

Пълна принципна схема

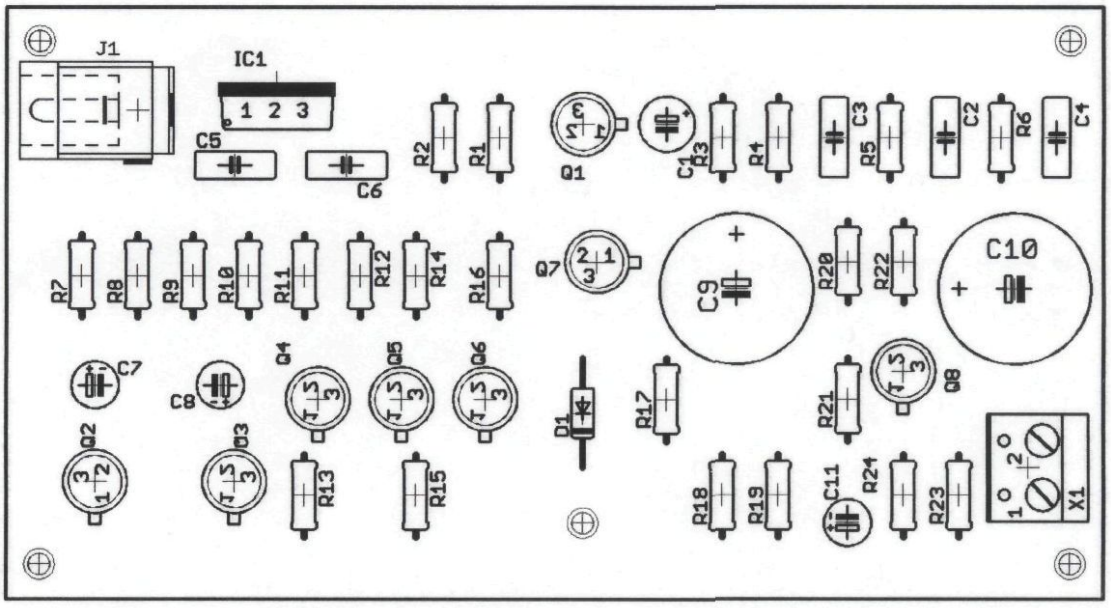


Печатна платка

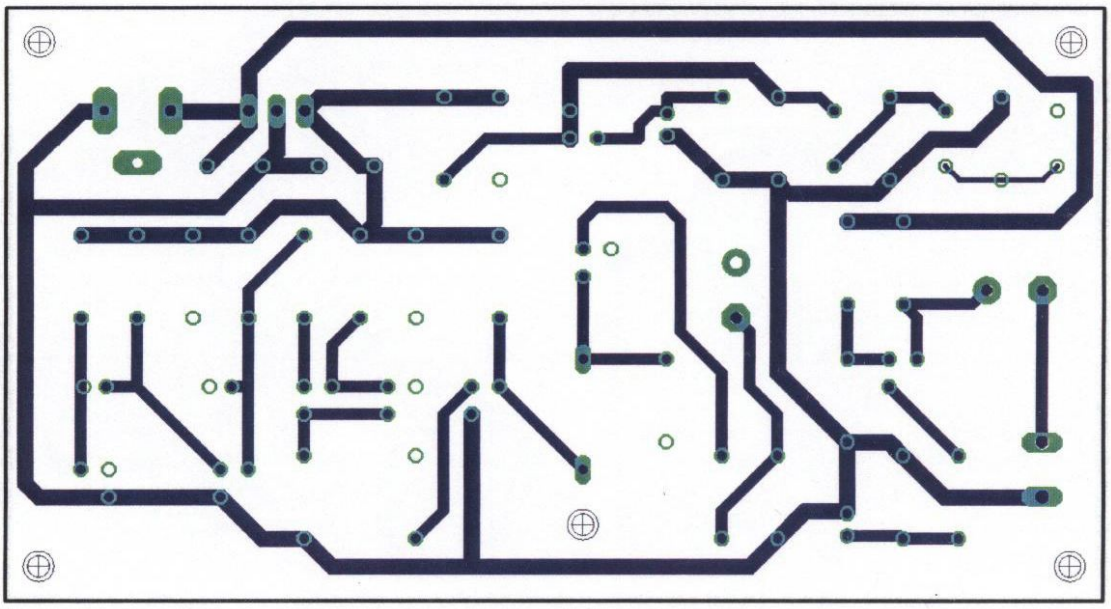
Пълен изглед – елементи, долен и горен слой



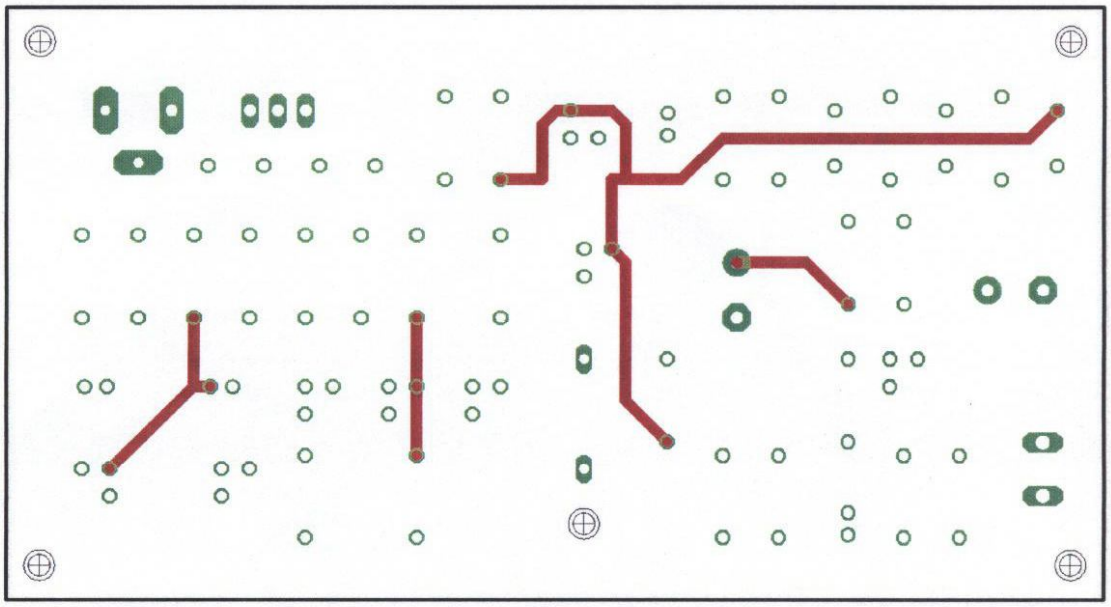
Печатна платка – елементи



Печатна платка – долен слой (страна писти)



Печатна платка – горен слой (страна елементи)



Размери на платката – 99 x 54mm (3,9 x 2,15 inches).
Ширина на захранващите жици – 1,5 mm (0,056 inches).
Ширина на сигналните жици – 1 mm (0,04 inches).
Мащаб 150%.

III. Използвана литература

При проектирането на схемата съм правил справки в следната литература:

1. „Електронни схеми. Диодни и транзисторни схеми.“ - Стефан Куцаров
2. „Електронни и полупроводникови елементи и интегрални схеми.“ - Ст. Вълков, И. Якимов, Р. Дойчинова, М. Христов, Т. Василева
3. „Аналогова схемотехника. Ръководство за курсово проектиране. Усилватели.“ - Илия Атанасов
4. „Електронни аналогови схеми и устройства“ - В. Златаров, Л. Довенска
5. „Усилватели“ - Георги Ненов
6. „Ръководство за курсово проектиране по електронни аналогови схеми и устройства“ - В. Златаров, Л. Доневска, колектив
7. „Ръководство за семинарни упражнения по аналогова схемотехника“ - Л. Доневска, колектив

Приложение №1 – Спецификация на елементите

Означение	Наименование	Кол.	Забележка
R1	Резистор постоянен 4,3kΩ ±5%, 0,125W	1	
R2	Резистор постоянен 22kΩ ±5%, 0,125W	1	
R3	Резистор постоянен 820Ω ±5%, 0,125W	1	
R4, R22	Резистор постоянен 3,6kΩ ±5%, 0,125W	2	
R5, R6	Резистор постоянен 6,49kΩ ±1%, 0,125W	2	
R7, R10	Резистор постоянен 1kΩ ±5%, 0,125W	2	
R8, R9	Резистор постоянен 75kΩ ±5%, 0,125W	2	
R11, R17	Резистор постоянен 47kΩ ±5%, 0,125W	2	
R12	Резистор постоянен 4,7kΩ ±5%, 0,125W	1	
R13	Резистор постоянен 75kΩ ±5%, 0,125W	1	
R14	Резистор постоянен 2,7kΩ ±5%, 0,125W	1	
R15	Резистор постоянен 160kΩ ±5%, 0,125W	1	
R16	Резистор постоянен 16kΩ ±5%, 0,125W	1	
R18	Резистор постоянен 240kΩ ±5%, 0,125W	1	
R19	Резистор постоянен 330kΩ ±5%, 0,125W	1	
R20	Резистор постоянен 120kΩ ±5%, 0,125W	1	
R21	Резистор постоянен 56kΩ ±5%, 0,125W	1	
R23	Резистор постоянен 200Ω ±5%, 0,125W	1	
R24	Резистор постоянен 2,2kΩ ±5%, 0,125W	1	
C1	Кондензатор електролитен 22μF ±5%, 16V	1	
C2, C3, C4	Кондензатор керамичен 10nF ±5%, 63V	3	
C5	Кондензатор керамичен 330nF ±5%, 63V	1	
C6	Кондензатор керамичен 100nF ±5%, 63V	1	
C7, C8	Кондензатор електролитен 4,7μF ±5%, 16V	2	
C9, C10	Кондензатор електролитен 220μF ±5%, 16V	2	
C11	Кондензатор електролитен 47μF ±5%, 16V	1	
D1	Диод изправителен 1N4148, каталог Fairchild	1	
Q1, Q2, Q3, Q4 Q5, Q6, Q8	Транзистор маломощен биполярен NPN – 2N2222, каталог PHILIPS	7	
Q7	Транзистор маломощен полеви N-канален – 2N4392, каталог Calogic	1	
IC1	Стабилизатор на напр. 7805, каталог Fairchild	1	

V. Реализация на схемата чрез методите на дебелослойната техника

В най-общи линии при слойната техника върху материал от диелектрик, наречен подложка се реализират пасивни елементи чрез нанасянето на различни слоеве от пасти с определени физични и електрически свойства. Активните елементи се добавят допълнително чрез спояване.

Пастите, които се нанасят чрез пресоване върху подложката, се изграждат от няколко компонента – пластификатори, разтворители, функционални съставки, определящи поведението на пастата и стъклената маса (основната съставка). За провеждащи шини, електроди, контактни площадки, индуктивности се прибавят функционални съставки, осигуряващи добра проводимост. При **съпротивителните пасти** тази съставка се състои от метали и метални окиси, главно от платиновата група, понякога с прибавка на сребро. **Диелектричните пасти** са изградени главно на базата на различни титанови стъкла, които се характеризират с голяма диелектрична константа и осигуряват добра разсейвана мощност.

За гарантиране на точно зададените стойности на съпротивленията и кондензаторите (за съпротивленията от 1 до 10%, а за кондензаторите от 10 до 30%) се използват различни технологични варианти, като отнемане от материала с помощта на струйна механична обработка (шлайфане), обработка с помощта на лазерен лъч и др. Трябва да се има пред вид, че при това стойността на кондензатора става по-малка, а на съпротивлението – по-голяма.

Резисторите и кондензаторите се оразмеряват като за база се избира листовото съпротивление (съответно капацитетът на квадрат), като понататък се изчислява необходимата стойност. Чрез подходящ избор на специфичното съпротивление в дебелослойната технология може да се гарантира необходимата стойност на листовото съпротивление, така че след хомогенизиране и синтероване на пастата да бъде реализирана необходимата стойност.

<u>Изчисляване на резисторите по дебелослойна технология:</u>

1. Резисторите се проектират с 70% от номиналната им стойност за да се позволи донастройката им (при отнемане на материал съпротивлението нараства) - $R_i = 0{,}7\,R$

Резистор	Стойност	R_i	0,3 R_i	3 R_i
R1	4,3k	3,01k	903	9030
R2	22k	15,4k	4620	46200

Резистор	Стойност	R_i	0,3 R_i	3 R_i
R3	820	574	172,2	1722
R4, R22	3,6k	2,52k	756	7560
R5, R6	6,49k	4,543k	1363	13630
R7, R10	1k	700	210	2100
R8, R9	75k	52,5k	15750	157500
R11, R17	47k	32,9k	9870	98700
R12	4,7k	3,29k	987	9870
R13	75	52,5	15,75	157,5
R14	2,7k	1,89k	567	5670
R15	160k	112k	33600	336000
R16	16k	11,2k	3360	33600
R18	240k	168k	50400	504000
R19	330k	231k	69300	693000
R20	120k	84k	25200	252000
R21	56k	39,2k	11760	117600
R23	200	140	42	420
R24	2,2k	1,54k	462	4620

2. Разпределяне на резисторите по групи в зависимост от листовото съпротивление R_S на пастата, като се спазва условието $0{,}3\,R_i < R_S < 3\,R_i$.

R_S на пастата	Резистори
100	R13, R23
1000	R1, R3, R4, R22, R7, R10, R12, R14, R24
10000	R2, R5, R6, R11, R17, R16
100000	R8, R9, R15, R18, R19, R20, R21

3. Изчислява се коефициента на формата $K_\Phi = \dfrac{R_i}{R_S}$:
4. Изчислява се широчината $b = \sqrt{\dfrac{R_S . P_i}{R_i . P_0}}$, където P_0 е допустимата разсейвана мощност [W/cm^2], а P_i – мощността върху резистора.
5. Изчислява се дължината $l = K_\Phi . b$
6. Изчислява се площта заемана от резистора $S = l.b$

Резистор	R_i	R_S	K_Φ	b [cm]	l [cm]	S [cm^2]
R1	3,01k	1000	3,01	0,0644	0,194	0,013
R2	15,4k	10000	1,54	0,0901	0,139	0,013
R3	574	1000	0,574	0,1476	0,085	0,013
R4, R22	2,52k	1000	2,52	0,0704	0,177	0,013
R5, R6	4,543k	10000	0,454	0,1659	0,075	0,012
R7, R10	700	1000	0,7	0,1336	0,094	0,013
R8, R9	52,5k	100000	0,525	0,1543	0,081	0,013
R11, R17	32,9k	10000	3,29	0,0616	0,203	0,013
R12	3,29k	1000	3,29	0,0565	0,186	0,010
R13	52,5	100	0,525	0,1543	0,081	0,013
R14	1,89k	1000	1,89	0,0813	0,154	0,013
R15	112k	100000	1,12	0,1056	0,118	0,013
R16	11,2k	10000	1,12	0,1056	0,118	0,013
R18	168k	100000	1,68	0,0863	0,145	0,013
R19	231k	100000	2,31	0,0736	0,170	0,013
R20	84k	100000	0,84	0,1220	0,102	0,013
R21	39,2k	100000	0,392	0,1786	0,070	0,013
R23	140	100	1,4	0,0945	0,132	0,013
R24	1,54k	1000	1,54	0,0901	0,139	0,013

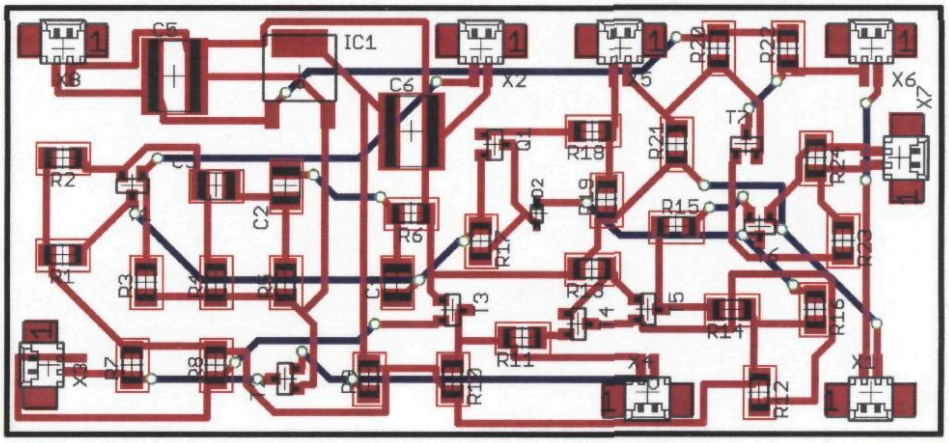
7. Определя се формата на резисторите – тъй като $K_\Phi < 10$, всички резистори са с форма на правоъгълник.

На печатния модул резисторите и кондензаторите са реализирани в SMD корпуси (корпуси за повърхностен монтаж). Поради ограниченията на дебелослойната технология големите електролитни кондензатори се изнасят извън модула посредством SMD конектори. Използваният биполярен транзистор 2N2222A не се произвежда в SMD корпус (според каталожните данни), но други транзистори с неговите параметри се произвеждат в корпус SOT23, който е използван в случая. Интегралният стабилизатор на напрежение се произвежда в корпус D-PAK.

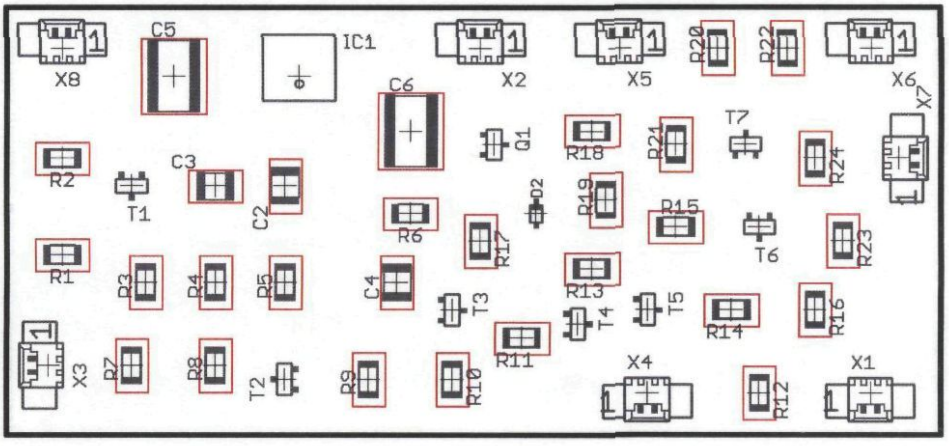
Принципната схема се променя, както следва:

- кондензатор C_1 се заменя с конектор X_2;
- кондензатор C_7 се заменя с конектор X_3;
- кондензатор C_8 се заменя с конектор X_4;
- кондензатор C_9 се заменя с конектор X_5;
- кондензатор C_{10} се заменя с конектор X_6;
- кондензатор C_{11} се заменя с конектор X_7;
- захранващият жак J_1 се заменя с конектор X_8;
- изходният конектор X_1 се заменя с такъв за повърхностен монтаж.

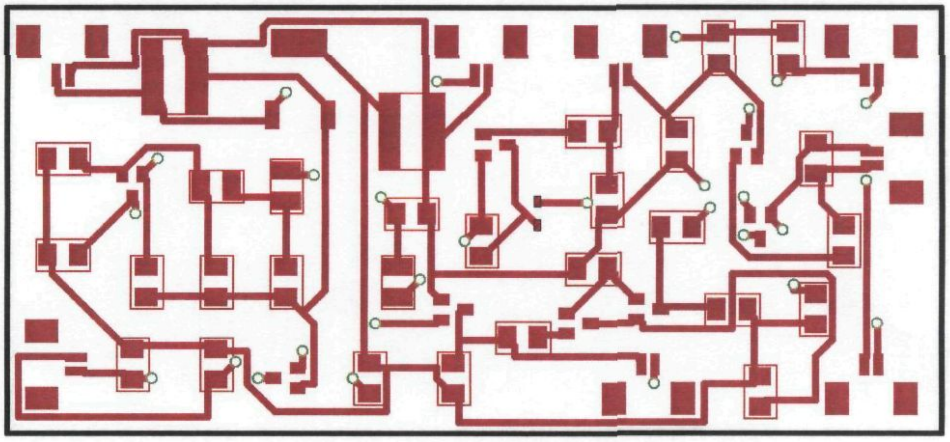
Полученият печатен модул има вида



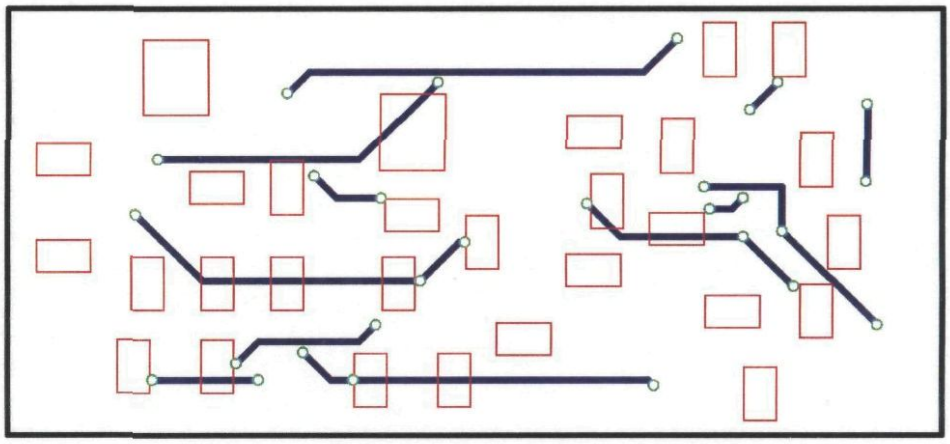
Печатен модул – елементи



Печатен модул – горен слой



Печатен модул – долен слой



Опроводяването е направено с помощта на Autorouter.

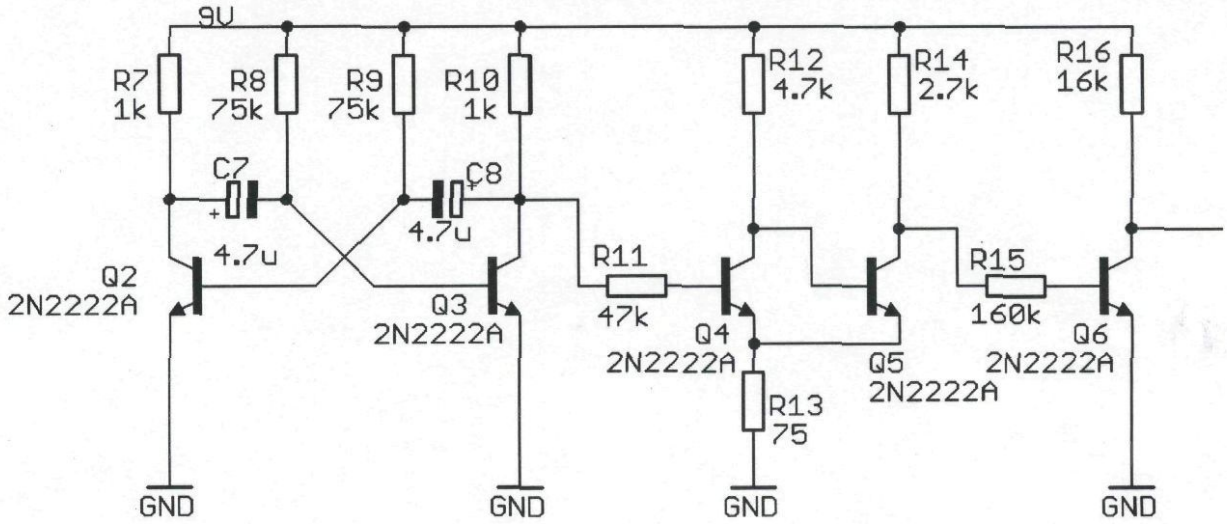
Размерите са 85 x 39mm (3,35 x 1,55 inches), мащабът е 150%. Ширината на жицата е 0,61mm (0,024 inches).

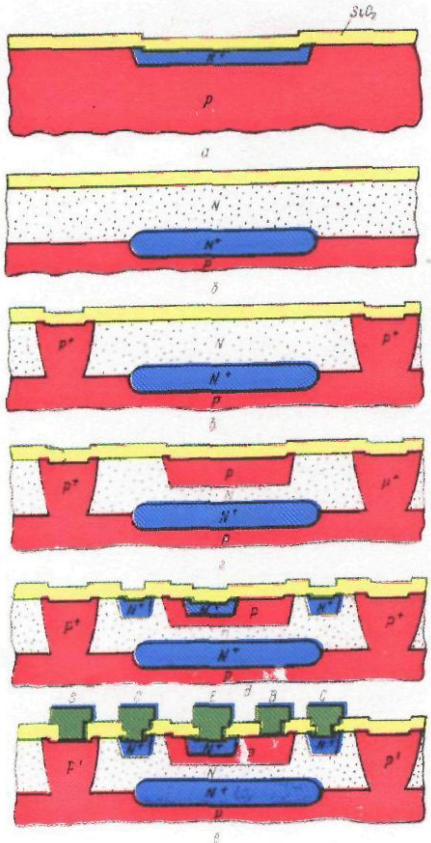
Вариант В – реализация върху силициева пластина

При Вариант В част от принципната електрическа схема на проекта се реализира върху силициев кристал. При реализацията се проектират както връзката между елементите, така и самите елементи.

Избраната част включва:

- автогенериращия мултивибратор, съставен от транзисторите Q2 и Q3, съпротивленията R7, R8, R9 и R10. Кондензаторите C7 и C8 са прекалено големи и ще бъдат свързани като външни елементи. Такова свързване ще осигури и възможност за настройка на честотата;
- тригера на Шмит, съставен от транзисторите Q4 и Q5, резисторите R11, R12, R13 и R14;
- крайният ключов транзистор Q6 с прилежащите му R15 и R16.





Стандартна планарно-епит. схема

Фиг. 11.1

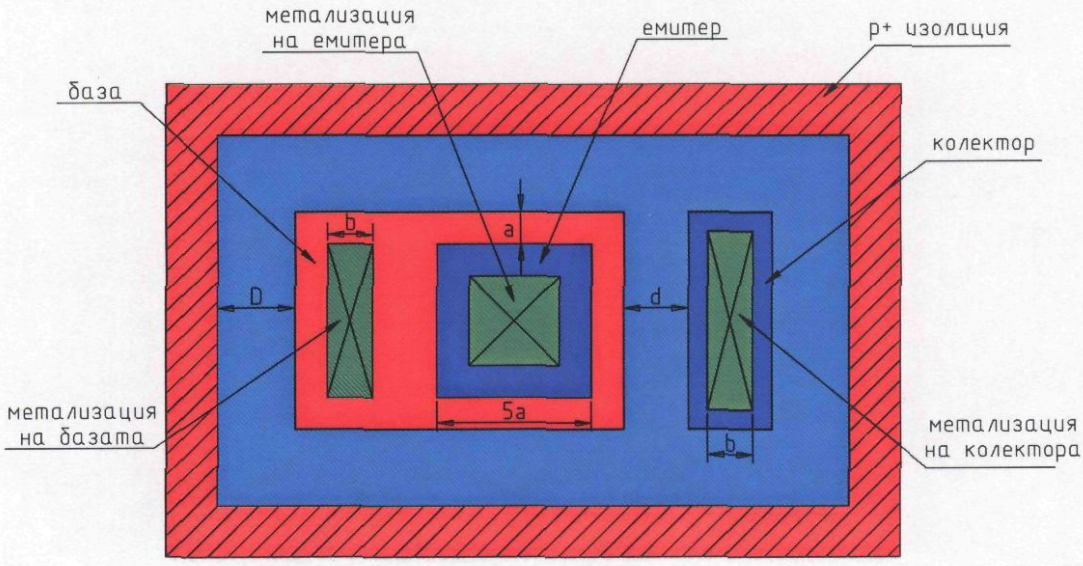
Планарно-епитаксиалната технология

Реализацията се осъществява посредством *планарно-епитаксиална* технология. Под *епитаксия* в полупроводниковата технология се разбира отлагане на монокристален слой от полупроводник с високи кристалографски качества и дефинирани геометрични и физични параметри върху подложка, чиято кристална решетка има еднакви или близки параметри до тези на отлагания материал (примерно сапфир и силиций). Епитаксията е един от основните методи за създаване на PN преходи или на преход в концентрацията и е единствен метод за създаване на хетеропреход.

Стандартната планарно-епитаксиална схема е илюстрирана на фигурата вляво.

Електрически и технологични характеристики на схемата

Избира се топология за транзисторите, показана на долната фигура.



Тя е най-проста. Транзисторът има по един извод на емитера, базата и колектора. Характеризира се с минимални размери на базовата и колекторната област, съответно с минимални капацитети на колекторния преход и прехода колектор-подложка. Това не е от значение, тъй като схемата е нискочестотна (МВ генерира само на 2Hz), решаващо значение при избора на топологията имат минималните размери. Недостатък са повишените стойности на съпротивлението на базата и на колектора.

За изолация между елементите се използва обратно поляризиран PN преход (диодна изолация).

Данни за транзисторите:

Транзистор	U_{CB0}	U_{BR}	I_{Emax}
Q2	9	20	4,5mA
Q3	9	20	4,5mA
Q4	9	20	1,9mA
Q5	9	20	3,3mA
Q6	9	20	0,6mA

Данни за резисторите:

Резистор	Съпротивление	I_{Rmax}	Забележка
R7	1k	4,5mA	базов
R8	75k	0,12mA	пинч
R9	75k	0,12mA	пинч
R10	1k	4,5mA	базов

Резистор	Съпротивление	I_{Rmax}	Забележка
R11	47k	0,2mA	пинч
R12	4,7k	2mA	базов
R13	75	4mA	емитерен
R14	2,7k	4mA	базов
R15	160k	60μA	пинч *
R16	16k	0,6mA	базов

R15 е много голям, затова се правят два последователно свързани R151 и R152 „пинч“ резистори по 80kΩ всеки.

- избираме $x_{BC} = 2{,}5\mu m$;
- $x_{EB} = x_{BC} - 1\mu m = 1{,}5\mu m$;
- избирам $\Delta x_{n+} = 2\mu m$;
- минимален геометричен размер, характерен за технологията (например мин. разстояние между дифузионните области) – a = 4μm;
- максимална разсейвана мощност – $P_{max} = 2W/mm^2$;

Проектиране на активните елементи

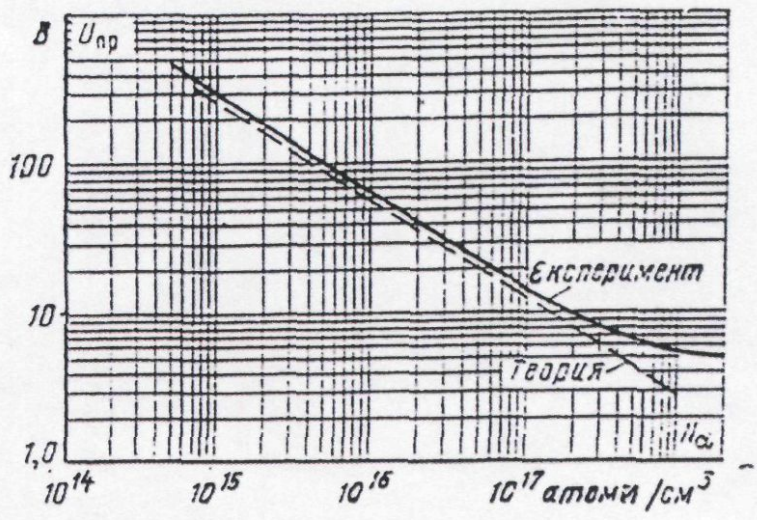
► изчисляване *дебелината на епитаксиалния слой* – $x_{еп.сл.}$

$$x_{еп.сл.} = x_{BC} + L_C + \Delta x_{n+},$$

където $L_C = \sqrt{\dfrac{2\varepsilon_{Si}\varepsilon_0 U_{CB0}}{q N_C}}$ широчина на обеднената област (област на разпространение на пространствения заряд).

$\varepsilon_{Si} = 12$;
$\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-14}$ F/cm;
$q = e = 1{,}6.10^{-19}$ C;

N_C се отчита от графиката:



$N_C = 3.10^{16}$ cm^{-1};

$$L_C = \sqrt{\frac{2\varepsilon_{Si}\varepsilon_0 U_{CB0}}{q N_C}} = \sqrt{\frac{2.12.8{,}85.10^{-14}.20}{1{,}6.10^{-3}.3.10^{16}}} = 9{,}41.10^{-5} cm \approx 1\mu m$$

Получава се

$$x_{еп.сл.} = x_{BC} + L_C + \Delta x_{n+} = 2{,}5\,\mu m + 1\,\mu m + 2\,\mu m \;\Rightarrow\; x_{еп.сл.} = 5{,}5\,\mu m$$

❑ Изчисляване на Q2 и Q3

☑ Оразмеряване на емитера – определяне *дължината на емитера* $\boldsymbol{l_E}$

$$\left| \begin{array}{l} A_E = 5a \,.\, l_E \\ A_E = \dfrac{I_E}{J_E} \qquad \rightarrow \qquad l_E = \dfrac{I_E}{J_E \,.\, 5a} = \dfrac{4{,}5 \,.\, 10^{-3}}{1000 \,.\, 20} = 2{,}25 \,.\, 10^{-7}\, cm = 25\,\mu m, \end{array} \right.$$

където $J_E = 1000 A/cm^2$ – плътност на тока.

☑ Определяне на *минималното топологично разстояние* между две дифузионни области - ***d***

$$d > 0{,}8\, x_{BC} + 0{,}8\, x_{EB} + L_C + \Delta l = 0{,}8 \,.\, 2{,}5 + 0{,}8 \,.\, 1{,}5 + 1 + 1 = 5{,}2\,\mu m$$

Избирам $d = 2a = 8\,\mu m$.

☑ Определяне на разстоянието до изолацията ***D***

$$D > 0{,}8 \,.\, x_{еп.сл.} + 0{,}8\, x_{BC} + L_C + \Delta l = 0{,}8 \,.\, 5{,}5 + 0{,}8 \,.\, 2{,}5 + 1 + 1 = 8{,}4\,\mu m$$

Избирам $D = 3a = 12\,\mu m$.

❑ Изчисляване на Q4

☑ Оразмеряване на емитера – определяне *дължината на емитера* $\boldsymbol{l_E}$

$$l_E = \frac{I_E}{J_E \,.\, 5a} = \frac{1{,}9 \,.\, 10^{-3}}{1000 \,.\, 20} = 9{,}5 \,.\, 10^{-8}\, cm = 9{,}5\,\mu m$$

❑ Изчисляване на Q5

☑ Оразмеряване на емитера – определяне *дължината на емитера* $\boldsymbol{l_E}$

$$l_E = \frac{I_E}{J_E \,.\, 5a} = \frac{3{,}3 \,.\, 10^{-3}}{1000 \,.\, 20} = 1{,}65 \,.\, 10^{-7}\, cm = 16{,}5\,\mu m$$

❑ Изчисляване на Q6

☑ Оразмеряване на емитера – определяне *дължината на емитера* $\boldsymbol{l_E}$

$$l_E = \frac{I_E}{J_E \,.\, 5a} = \frac{0{,}6 \,.\, 10^{-3}}{1000 \,.\, 20} = 3 \,.\, 10^{-8}\, cm = 3\,\mu m$$

Проектиране на пасивните елементи

Типични стойности на листовото съпротивление на отделни видове дифузии:

- $R_S^б = 150 \div 200\,\Omega/\square$ - базова дифузия;
- $R_S^e = 3 \div 5\,\Omega/\square$ - емитерна дифузия;
- $R_S^{'} = 5 \div 8\,k\,\Omega/\square$ - „пинч“ резистори.

☑ **<u>Резистори R7 и R10</u>**

Съпротивление 2kΩ, максимален ток 4,5mA.

Избира се базова дифузия с $R_S^2 = 160\,\Omega/\square$, $x_{BC} = 2{,}5\,\mu m$ и $P_{max} = 2\mathrm{W}/mm^2$

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{160.20{,}25.10^{-6}}{2}} = 40{,}2\,\mu m$$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 40{,}2 - 2.0{,}8.2{,}5 = 36{,}2\,\mu m$$

Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$, където k е коефициент на формата.

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{2.10^3.40{,}2.10^{-6}}{160} = \frac{80{,}4.10^{-3}}{160} = 503\,\mu m$$

– твърде дълго за ивично съпротивление.

Избирам форма на меандър със следните параметри:

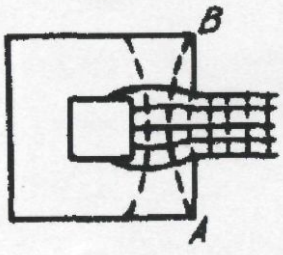
$$\frac{R_{AB}}{R_S} = 4{,}05$$

$n = 4$;

$K_Ф = 2{,}45$;

$$R = R_S\left(\frac{\sum_i l_i}{b_R} + n.0{,}55 + 2.K_Ф\right)$$

2,45



0,65

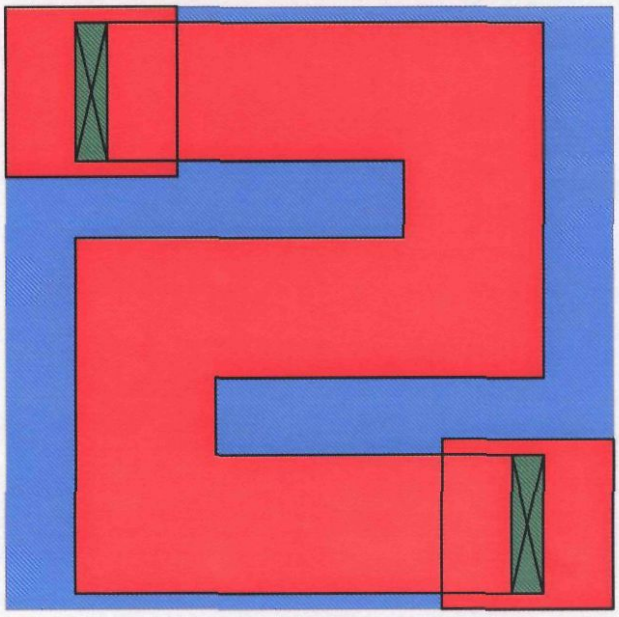
където n – брой прегъвания, $K_Ф$ – коефициент на формата (определя се по фигурата).

Следователно

$$\sum_i l_i = b_R\left(\frac{R}{R_S} - n.0{,}55 - 2.K_Ф\right)$$

$$\sum_i l_i = 40{,}2\left(\frac{2000}{160} - 2.0{,}55 - 2.2{,}45\right) \Rightarrow$$

$$\sum_i l_i = 261{,}3\,\mu m \approx 260\,\mu m$$



Получените резистори имат формата, показана на фигурата.

Избирам l_1 = 60 μm, l_2 = 20 μm.

Общи размери 104 x 156 μm.

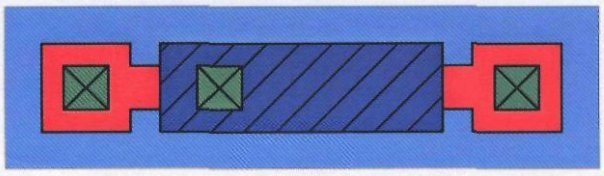
☑ **Резистори R8 и R9**

Съпротивление 75kΩ, максимален ток 0,12mA – пинч резистори с листово съпротивление R_S = 8000 Ω/□

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{8000.0{,}0144.10^{-6}}{2}} = 7{,}6\mu m \approx 8\mu m$$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 8 - 2.0{,}8.2{,}5 = 4\mu m$$



Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$$R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{75.10^3.8.10^{-6}}{8000} = 71{,}2\mu m$$

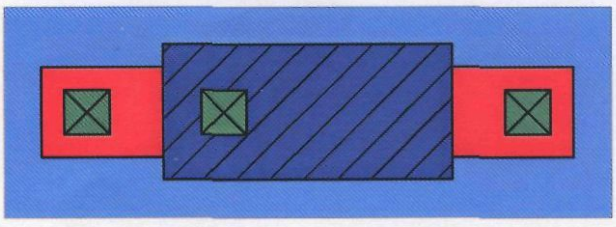
☑ **Резистор R11**

Съпротивление 47kΩ, максимален ток 0,2mA – пинч резистор с листово съпротивление R_S = 8000 Ω/□

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{8000.0{,}02.10^{-6}}{2}} = 12{,}6\mu m \approx 12\mu m$$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 12 - 2.0{,}8.2{,}5 = 8\mu m$$



Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$$R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{47.10^3.12.10^{-6}}{8000} \approx 74\mu m$$

☑ **Резистор R12**

Съпротивление 4,7kΩ, максимален ток 2mA – базов резистор с листово съпротивление $R_S = 160\ \Omega/\square$

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{160.4.10^{-6}}{2}} = 17{,}9\,\mu m \approx 18\,\mu m$$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 12 - 2.0{,}8.2{,}5 = 14\,\mu m$$

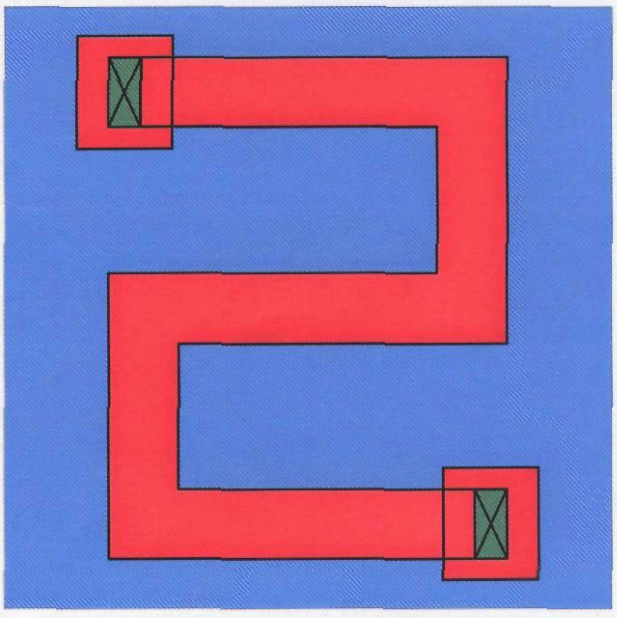
Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$$R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{4{,}7.10^3.18.10^{-6}}{160} \approx 525\,\mu m$$ - твърде дълго за ивична форма.

Избирам форма на меандър със следните параметри:



$n = 4$;
$K_\Phi = 2{,}45$;

$$\sum_i l_i = b_R\left(\frac{R}{R_S} - n.0{,}55 - 2.K_\Phi\right)$$

$$\sum_i l_i = 18\left(\frac{4700}{160} - 4.0{,}55 - 2.2{,}45\right) \Rightarrow$$

$$\sum_i l_i = 400{,}95\,\mu m \approx 400\,\mu m$$

Избирам $l_1 = 100$ μm, $l_2 = 50$ μm.

Общи размери 144 x 162 μm.

☑ **Резистор R13**

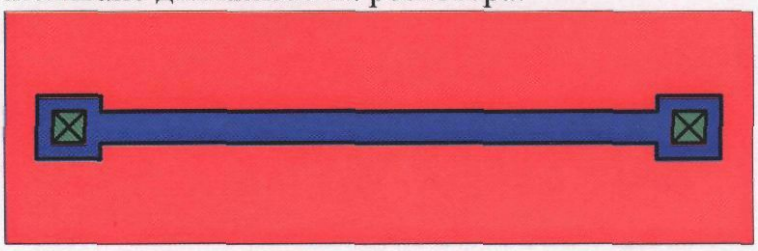
Съпротивление 75Ω, максимален ток 4mA – емитерен резистор с листово съпротивление $R_S = 5\ \Omega/\square$

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{5.16.10^{-6}}{2}} = 6{,}32\,\mu m \approx 6{,}4\,\mu m$$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 6{,}4 - 2.0{,}8.1{,}5 = 6{,}4 - 2{,}4 = 4\,\mu m$$

Изчисляване дължината на резистора:



$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$$R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{75.6{,}4.10^{-6}}{5} \approx 96\,\mu m$$ - избирам ивична форма.
Общи размери 100 x 10 μm.

☑ **<u>Резистор R14</u>**

Съпротивление 2,7kΩ, максимален ток 4mA – базов резистор с листово съпротивление R_S = 160 Ω/□

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{160.16.10^{-6}}{2}} = 35{,}8\,\mu m \approx 36\,\mu m$$

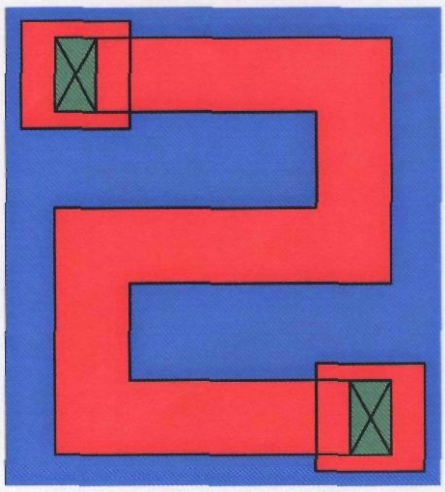
$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 36 - 2.0{,}8.2{,}5 = 32\,\mu m$$

Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{2{,}7.10^3.36.10^{-6}}{160} \approx 604\,\mu m$$ - твърде дълго за ивична форма.

Избирам форма на меандър със следните параметри:



$n = 4$;

$K_\Phi = 2{,}45$;

$$\sum_i l_i = b_R\left(\frac{R}{R_S} - n.0{,}55 - 2.K_\Phi\right)$$

$$\sum_i l_i = 36\left(\frac{2700}{160} - 4.0{,}55 - 2.2{,}45\right) \Rightarrow$$

$$\sum_i l_i = 351{,}9\,\mu m \approx 352\,\mu m$$

Избирам l_1 = 90 μm, l_2 = 41 μm.
Общи размери 94 x 178 μm.

☑ **Резистори R151 и R152**

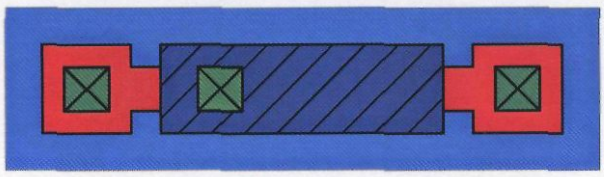
Съпротивление 80kΩ, максимален ток 0,06mA – „пинч“ резистори с листово съпротивление R_S = 8kΩ/□

Изчисляване ширината на резистора:

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{8000.3{,}6.10^{-9}}{2}} = 3{,}8\,\mu m$$

избирам $b_R = 2a = 8\,\mu m$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 8 - 2.0{,}8.2{,}5 = 4\,\mu m$$



Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R$$

$$R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{80.10^3.8.10^{-6}}{8000} = 80\,\mu m$$

☑ **Резистор R16**

Съпротивление 16kΩ, максимален ток 0,6mA – базов резистор с листово съпротивление R_S = 160 Ω/□

$$b_R = \sqrt{\frac{R_S I_R^2}{P_{max}}} = \sqrt{\frac{160.0{,}36.10^{-6}}{2}} = 5{,}37\,\mu m$$

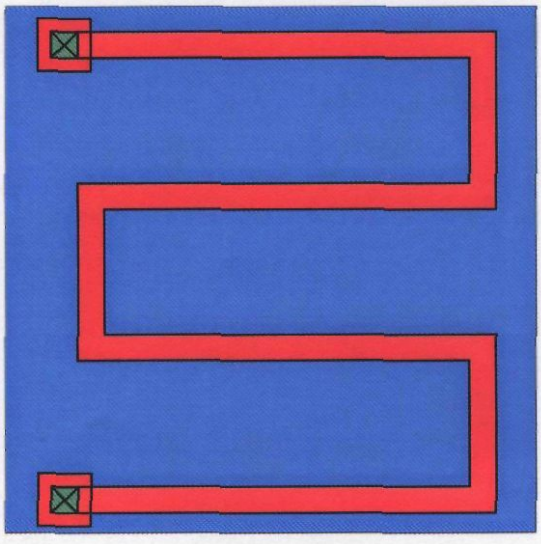
избирам $b_R = 8\,\mu m$

$$b_{mon} = b_R - 2\Delta x = 8 - 2.0{,}8.2{,}5 = 4\,\mu m$$

Изчисляване дължината на резистора:

$$l_{mon} = l_R + 2\Delta x \approx l_R \qquad R = R_s\left(\frac{l_R}{b_R} + 2k\right)$$

$$l_R = \frac{R.b_R}{R_S} = \frac{16.10^3.8.10^{-6}}{160} = 800\,\mu m$$ - твърде дълго за ивична форма.



Избирам форма на меандър със следните параметри:

$n = 6$;

$K_\Phi = 2{,}45$;

$$\sum_i l_i = b_R\left(\frac{R}{R_S} - n.0{,}55 - 2.K_\Phi\right)$$

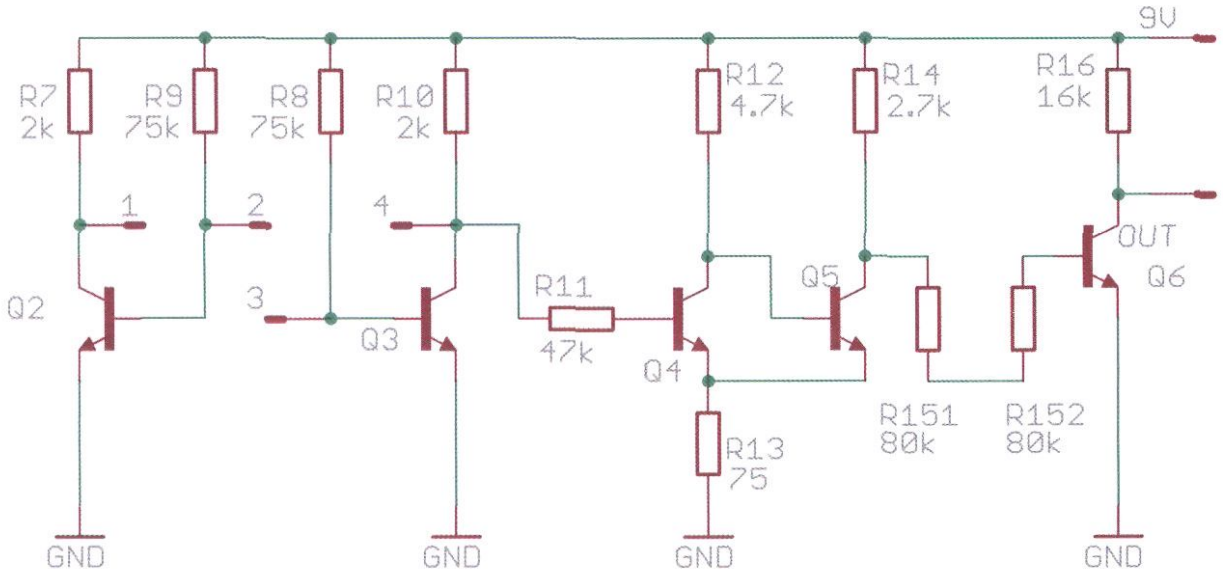
$$\sum_i l_i = 8\left(\frac{16000}{160} - 6.0{,}55 - 2.2{,}45\right) \Rightarrow$$

$$\sum_i l_i \approx 730\,\mu m$$

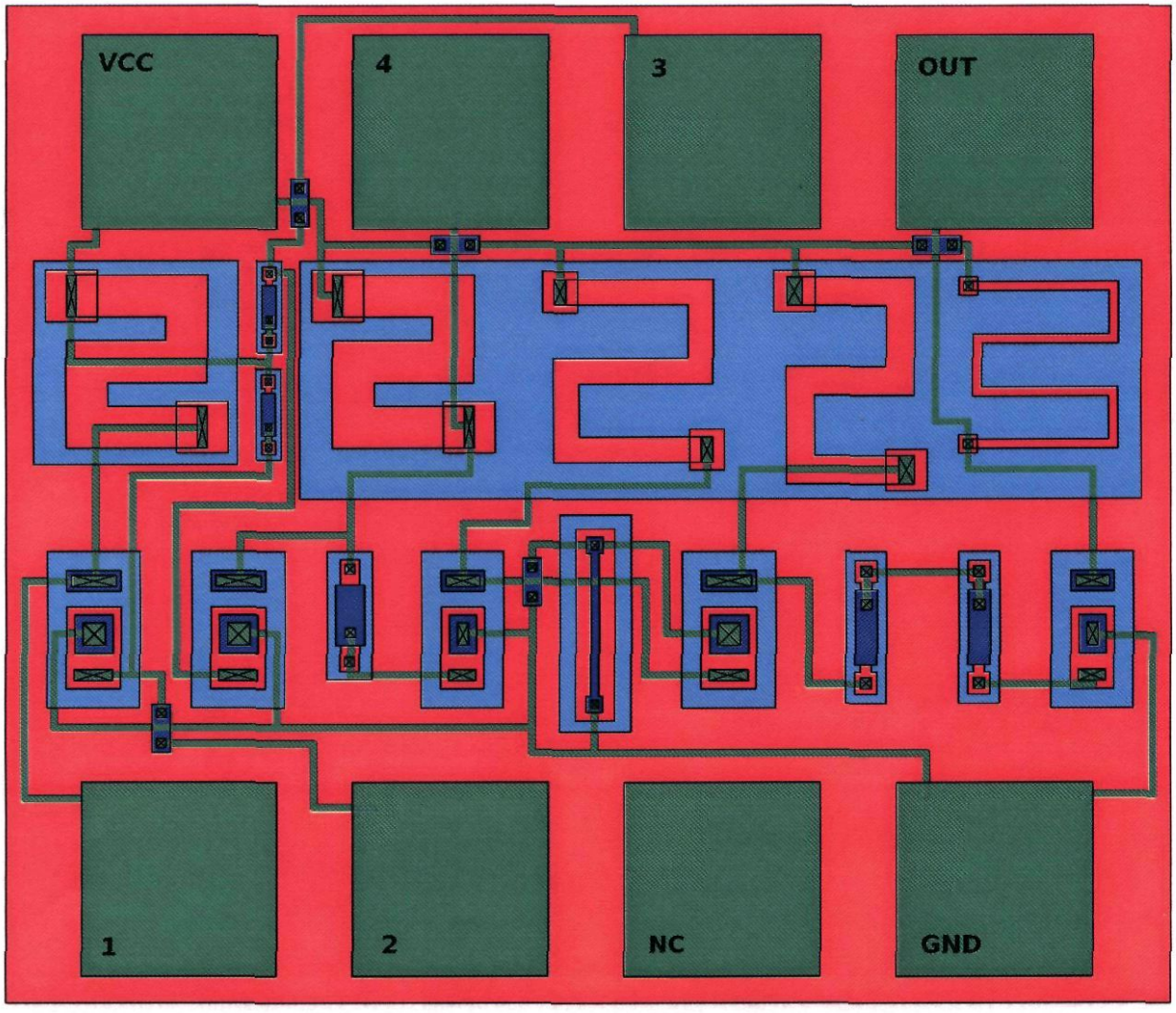
Избирам l_1 = 150 μm, l_2 = 44 μm.

Общи размери 154 x 140 μm.

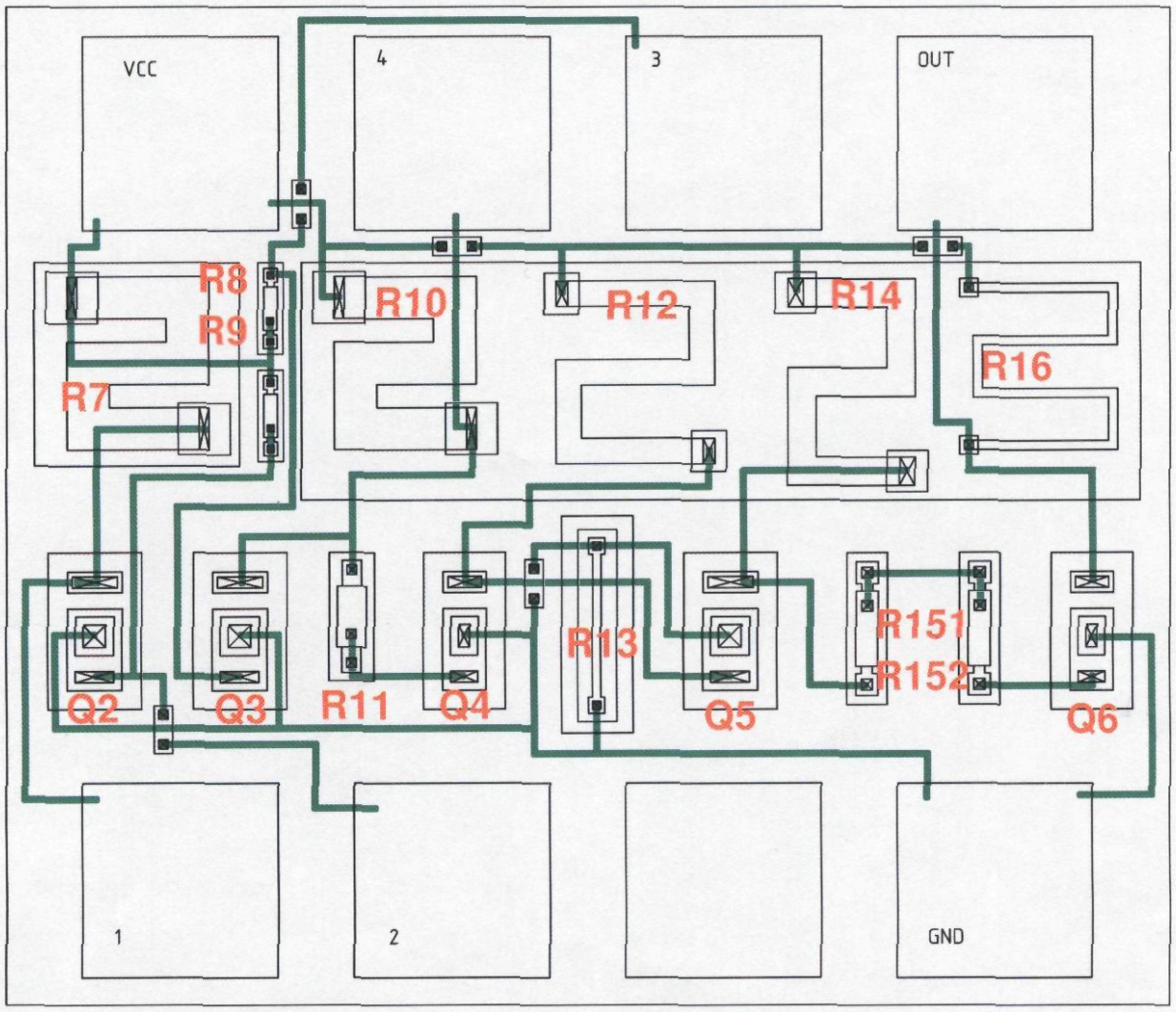
Принципна схема на елементите в чипа



Топология на схемата върху силициев кристал



Разположение на елементите в чипа



Размер:	595 x 514 µm
Размер върху листа:	160 x 138,2 mm
Мащаб:	269:1