

Практическа електроника

Част осма

**Практическо използване на транзисторите.
Схемотехника.**

инж. Б. Чакъров – гр. Лом – 21.3.2018 г.

Също като процесите в транзистора, анализът на електронните схеми, в които той участва е много сложен. Няма една 100% обясняваща всички процеси теория. Има много модели, които в една или друга степен се доближават до истинските процеси и позволяват с по-голямо или по-малко приближение да се моделират едни или други параметри на транзисторите. Към това се добавя и сложността на технологията на производство, която никога не гарантира дори два поредни транзистора с абсолютно еднакви параметри. Има няколко модела на транзистора, които обясняват и моделират работата му с аналогови сигнали, които се делят на нискочестотни и високочестотни. Моделът е различен също така в зависимост от това дали транзисторът ще работи със силни или слаби сигнали. При работа в импулсен режим моделът вече е друг – при него вече става важна бързината на преходните процеси при преминаване от нула към единица и обратно. По тази причина ще разгледаме по-подробно само една схема за определяне на работната точка на транзистор, който ще усилва променливотокови сигнали, примерно с ниска честота, при това твърде опростено, само за да разберем основните принципи на работа на едно усилвателно стъпало с транзистор.

Вижте схемата. Това е най-простата схема на транзисторен усилвател – схема с общ емитер (ОЕ).

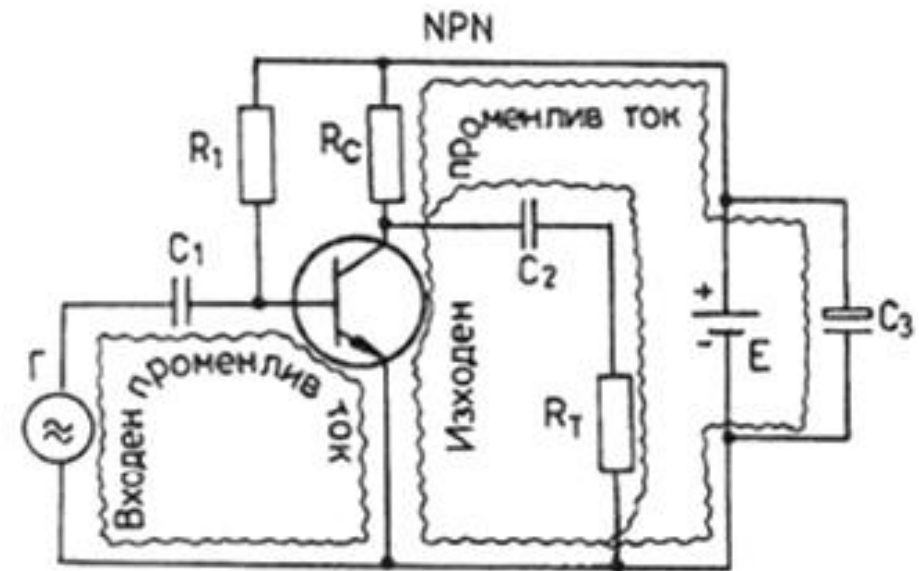
Γ - източник на сигнал, който искаме да усилим;

NPN - Усилвателен елемент (транзистора);

R_C - товарно съпротивление в колекторната верига, необходимо за осигуряване на работния режим на транзистора;

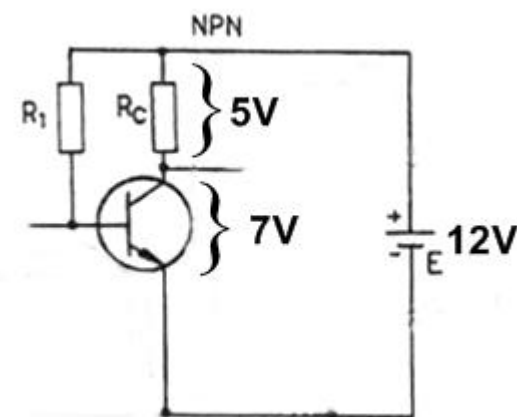
R_T - товар за усиления променливотоков сигнал;

R_1 резистор който определя базовия ток и режима на работа на транзистора; E – Захранващ източник.

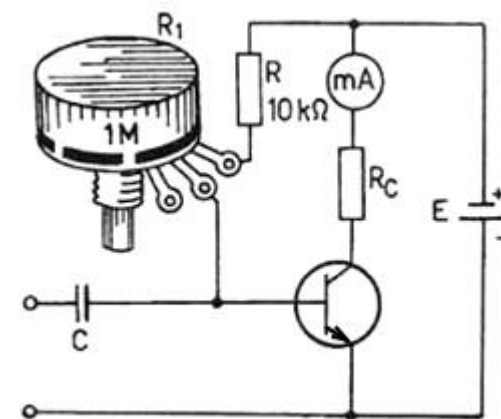


Най-важното, когато гледаме транзисторна схема е да умеем ясно да разграничаваме променливотоковите от постояннотоковите вериги. Това е лесно, тъй като те са определени чрез използването на разделителни кондензатори. В примера това са C_1 и C_2 . Те отделят променливотоковите от постояннотоковите вериги на транзистора. Постояннотоковата верига на транзистора е необходима за да определи режима на работа или така наречената „работна точка“ на транзистора. В нашия случай искаме да построим линеен усилвател, т.е. усилвател, който да не изкривява променливия входен сигнал. За целта трябва да осигурим определен начален ток в базовата верига. Това се постига с R_1 , което поляризира емитерния преход в права посока и определя началния базов ток. Този начален базов ток ще предизвика протичането в колекторната верига на съответен колекторен ток и пад на напрежението в товарното съпротивление R_c . Т.е. захранващото напрежение ще се раздели на две – едната част върху товарното съпротивление и другата върху транзистора (Е-К). За слаби сигнали обикновено се ползват маломощни транзистори и работната им точка се настройва на около 1 милиампер колекторен ток.

Нека дадем конкретни стойности: захранване $E=12\text{ V}$, $R_c=5\text{ k}$. При колекторен ток 1 mA постоянното напрежение, което ще падне върху товарния резистор е $5000 \times 0,001 = 5\text{ V}$. Съответно върху транзистора падат останалите 7 V.



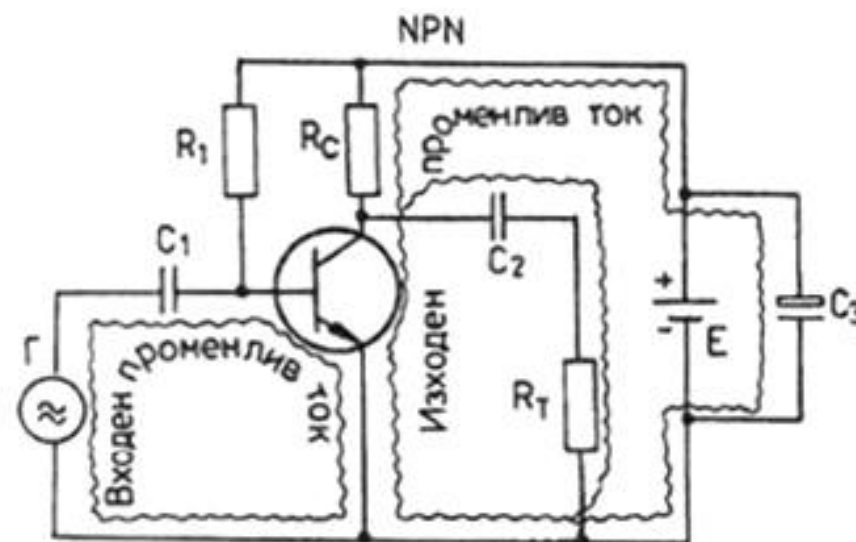
Какво трябва да бъде базовото съпротивление, за да получим тази работна точка? Може да бъде изчислено приблизително, но както казах, различните екземпляри дори на един и същи вид и код транзистори имат различни характеристики и съответно реалното съпротивление ще бъде различно от изчисленото. За тази схема на практика се ползва методът на директно определяне. Вижте следващата схема:



Вместо базово съпротивление се включва потенциометър, а колекторната верига се прекъсва и се включва милиамперметър. Въртим потенциометъра, той променя базовия ток, който от своя страна предизвиква β пъти по-голям колекторен ток, който измерваме с милиамперметъра. Като получим необходимата стойност (например 1 mA) на колекторния ток, сваляме потенциометъра, измерваме стойността му и заедно с предпазното съпротивление 10 k (него сме сложили, за да не дадем на късо плюса и базата, което ще доведе до моментална повреда на транзистора) заменяме с постоянно съпротивление със същата стойност. Ако знаем β на транзистора можем да определим приблизително базовия ток: $1 \text{ mA} / \beta$. Ако Бета = 300, базовият ток ще е 3,3 микроампера.

След като сме определили работната точка по постоянен ток на транзистора вече можем да му подадем и променливотоковия сигнал. Той се подава на базата през разделителния кондензатор C_1 . Веригата на променливотоковия входен сигнал се затваря през отпушения емитерен преход, разделителния кондензатор и източника Г на сигнала. Променливият ток, който протича през базовата верига предизвиква β пъти по-голяма промяна на колекторния ток, а това предизвиква и съответна промяна в пада на напрежение върху транзистора. Т.е. тези 7 волта върху транзистора ще започнат да се колебаят повтаряйки формата на входния сигнал. Променливата съставна преминава през втория разделителен кондензатор C_2 и отива върху товара R_T .

На схемата виждаме и още една променливотокова верига, която се затваря през колекторното съпротивление, захранващия източник и емитера на транзистора. Тя се получава от манипулацията на колекторния от базовия ток и по принцип е вредна, тъй като влияе на практика върху постояннотоковия

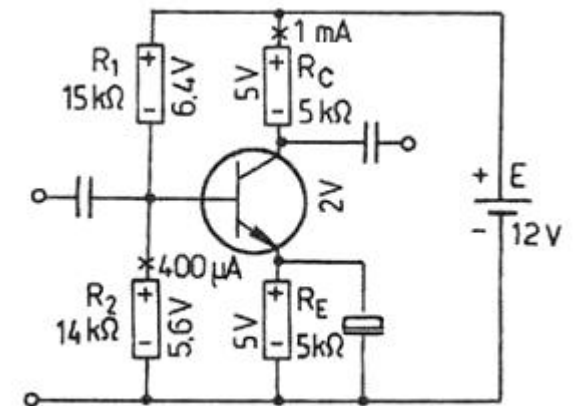


режим на транзистора и може да го наруши. За да се намали влиянието и захранващият източник трябва да бъде шунтиран с капацитет (кондензатор), който да даде тази променливотокова верига накъсо между плюса и минуса на захранването. В противен случай схемата става нестабилна, включително до пълна загуба на работоспособност. В практическата схемотехника с кондензатори се шунтират не само захранващите източници, но и отделни стъпала на апаратурата. Отнася се и за цифровата схемотехника, където се поставя кондензатор на захранването максимално близо до изводите дори на всяка интегрална схема на платката.

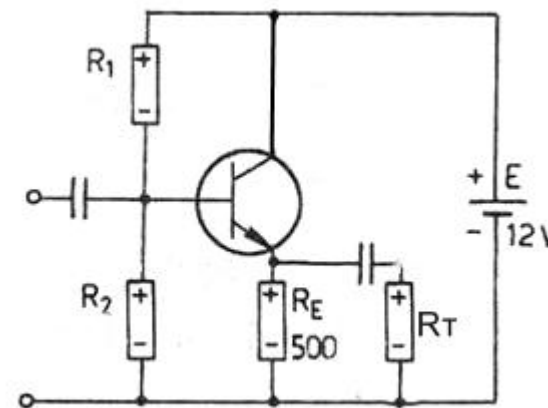
Разгледаната схема на транзисторен усилвател има предимство в простотата си, но има много повече недостатъци: температурно е нестабилна, режимът и се променя от промяна в захранващото напрежение или при подмяна на повреден транзистор.

На практика се ползват други схеми с повече елементи, които да гарантират отрицателна обратна връзка по постоянен и променлив ток, и които, въпреки, че намаляват малко възможния коефициент на усилване на стъпалото, подобряват неговите честотни характеристики и стабилността на работа. Най-често използваната схема е тази:

В базовата верига виждате делител, който стабилизира подаваното напрежение на базата и фиксира твърдо работната точка. През делителя тече ток няколко пъти по-голям от базовия и колкото по-голям е този ток, толкова по-стабилна е схемата температурно. В емитерната верига виждате съпротивление, което създава отрицателна обратна връзка, която допълнително стабилизира режима на транзистора. За да не намалява усилването по променлив ток, емитерният резистор е шунтиран с кондензатор. Липсва шунтирането на захранващия източник, но при практическо изпълнение трябва да го има.



Друга често използвана схема с биполярен транзистор е схемата с общ колектор (ОК), която е много по-популярна като „Емитерен повторител”. Както казахме в предишния урок, тя не усилва по напрежение (дори малко намалява), но усилва по ток и по мощност. Най-ценното и предимство е високото входно съпротивление и ниското изходно. Високото входно съпротивление ни позволява да я ползваме, когато искаме да намалим влиянието на стъпалото на сигналите от предходното стъпало. А ниското изходно съпротивление ни позволява да включваме по-мощни консуматори: слушалки или дори високоговорител, които са с ниско съпротивление.



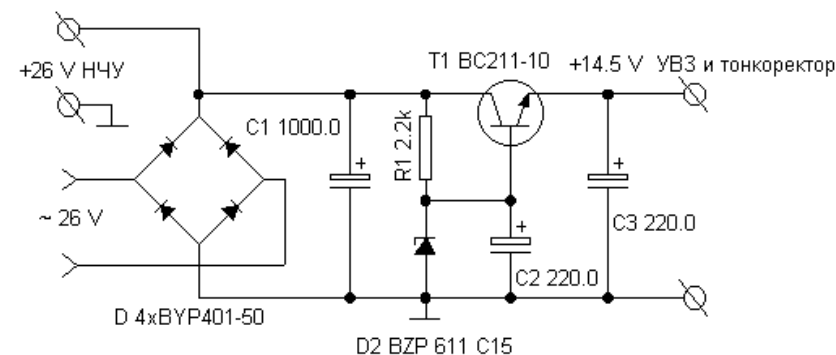
По-наблюдателните веднага ще ме обвинят, че ги поднасям нещо: „Какъв общ колектор е тази схема, като колекторът си виси горе сам, сигналът пак се подава между базата и емитера, а товарът е включен между емитера и общия проводник?”. Признавам, че на пръв поглед наистина изглежда така. Но нека ви напомня, че захранващият източник е шунтиран по променлив ток (шунтиран означава даден накъсо). Дори да го няма шунтиращият кондензатор нарисован на схемата, се счита, че захранващият източник представлява късо съединение по променлив ток. И в светлината на това уточнение се оказва, че по променлив ток плюсьт и минусът на захранването са свързани накъсо. И тогава сигналът се подава директно между базата и колектора (в емитерната верига има съпротивление, докато колекторният преход е директно включен към сигнала), а изходният сигнал по променлив ток всъщност е включен между емитера и колектора – можете да прекъснете веригата на R_T към общия проводник и да го включите към плюса на захранването – резултатът ще е един и същи.

А сега да видим една вариация на схемата емитерен повторител, която се ползва често – всъщност това е основната схема на стабилизираният захранващ източник (особено преди появата на импулсните захранващи устройства).

Тук се вижда поредица от стандартни схемотехнически решения:

- Двуполупериоден токоизправител по схема „Грец“ – четири диода свързани в мост, които осигуряват изправянето на променливия ток – двете полувълни стават положителни импулси.
- Филтър – C1, който филтрира пулсациите на изправеното променливо напрежение – от полусинусоидални импулси се получава почти право постоянно напрежение.
- Стабилизатор на напрежение с ценеров диод. Ценеровият стабилизатор винаги се включва в обратна посока на напрежението. При достигане на специфичното му пробивно напрежение той се отпушва, а токът през него се ограничава от баластния резистор R1. Товарът на такъв стабилизатор може да се включи паралелно на ценера, но не може да черпи повече от тока, ограничен от баластното съпротивление – не повече от няколко милиампера.
- За да увеличим товарния ток включваме транзистор като емитерен повторител. Т.е. той ще „повтори“ входното напрежение от ценера, но с многократно по-големи мощност и товарен ток. C2 филтрира допълнително останалите пулсации от изправеното напрежение, а C3 е въпросното шунтиране на захранващия източник по променлив ток.

ТОКОЗАХРАНВАНЕ 3А М 531 S - "UNITRA"



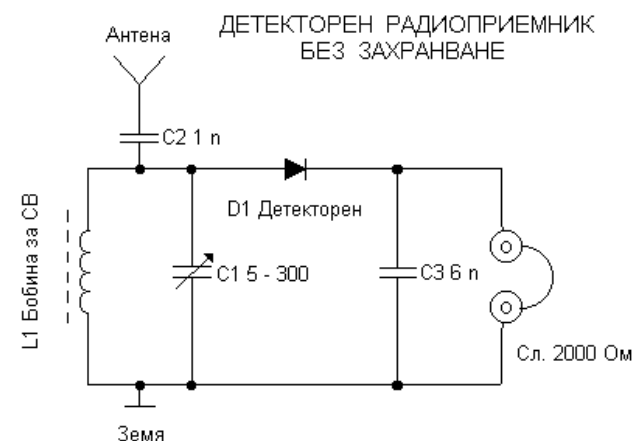
В края на този урок ще добавя няколко електронни схеми с транзистори и диоди и кратко обяснение на функциите им. Това е крайно недостатъчно за да се научим да четем всички възможни схеми, но е добро начало.

1. Детекторен радиоприемник без захранване.

Това е нещо като „Hello world” за радиолюбителите. Този радиоприемник работи без захранващ източник. Трябва, обаче, да има добра антена, колкото може по-висока и по-дълга, защото се захранва от високочестотния сигнал от близката радиостанция. Най-добре работи на средни вълни 0,5 – 1,5 MHz. Жалко, че вече няма много такива радиопредаватели.

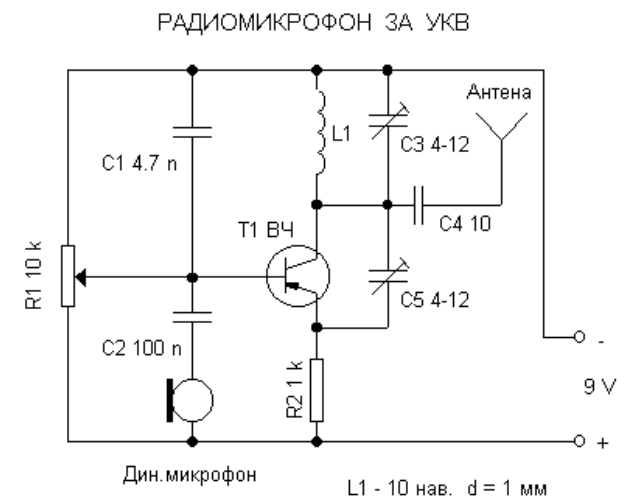
От антената високочестотните сигнали постъпват на трептящия кръг с бобина и променлив кондензатор, който настройваме на желаната резонансна честота. Усиленият от трептящия кръг сигнал постъпва на амплитудния детектор, където се отделя нискочестотният сигнал, който се прослушва с високоомна слушалка.

Подобни приемници са крили в подметките на обувките си затворниците или хората, попаднали в концентрационни лагери през втората световна.



2. Радиомикрофон.

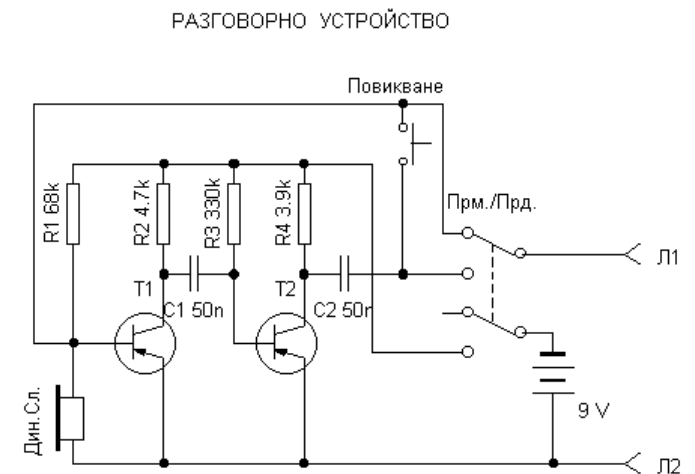
Възможно най-простата схема. Работи на честота от 60 до 108 MHz в зависимост от параметрите на трептящия кръг L1 C3. C5 осигурява обратната връзка, която превръща транзистора в генератор на ВЧ колебания. Честотата на генератора зависи също така от капацитета на емитерния преход, която се модулира от микрофона. Оригиналният транзистор на тази схема е високочестотен германиев. Но може да опитате и с други...



3. Разговорно устройство

Построявате две такива схеми и включвате едната с другата спазвайки Л1 и Л2 да се свържат със съответните Л1 и Л2 на другото устройство. Натискате бутона Прм/Прд и говорейки пред микрофона сигнала се усилва от 2-стъпалния транзисторен усилвател, предава се по линията и задейства говорителчето на другия край.

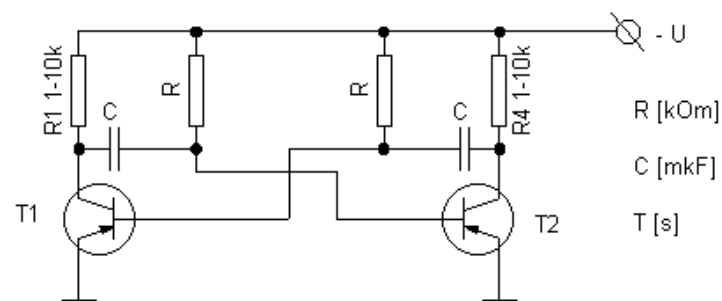
Интересното на тази схема е повикването. Това е друг начин да получите генератор – схема, която преобразува постоянен ток в променлив или импулсен. Подавайки сигнал (през бутона „Повикване“) от изхода на входа на усилвателя получаваме така нареченото „самовъзбуждане“ или генериране на променливотоков сигнал. Честотата му зависи от кондензаторите и резисторите в схемата и на другия край на линията ще се чува като пищене.



Схемата, нарисувана по друг начин е характерна и се нарича мултивибратор:

Може да се каже, че това е едно от първите цифрови устройства, тъй като то генерира незатихваща поредица от правоъгълни импулси – нули и единици. Както виждате честотата на генерираните импулси зависи от базовите резистори на транзисторите и кондензаторите.

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА СИМЕТРИЧЕН МУЛТИВИБРАТОР



$$T = \frac{1.4 R C}{1000} \quad [s]$$

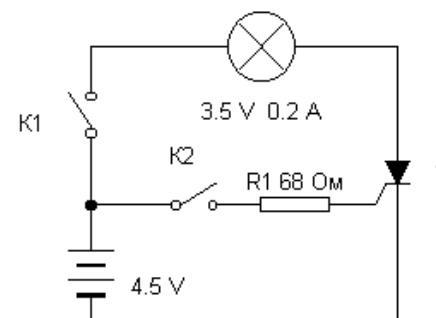
$$C = \frac{1000 T}{1.4 R} \quad [mkF]$$

$$R = \frac{1000 T}{1.4 C} \quad [K\Omega]$$

4. Схема за проверка на тиристори

Тиристорът има четири полупроводникови слоя, 3 PN прехода и три електрода. Представлява управляем диод. В началното състояние се затваря K1, но лампата не свети защото тиристорът е запушен. Затваряме K2, при което се подава напрежение на управляващия електрод. Това води до отпушване на тиристора и лампата светва. Особеност на тиристорите, както и на симисторите е, че управляващият електрод не може да ги запушва ако веднъж са отпушени. За да се запуши тиристорът трябва да отпадне напрежението на управляваната верига. Т.е. след като изключим K2 лампата ще продължи да свети, докато изключим и K1. Симисторът е тиристор, който пропуска ток и в двете посоки. Тиристорите и симисторите обикновено се ползват за управление на променливотокови вериги – променливият ток им осигурява изключването при изключване на управляващото напрежение.

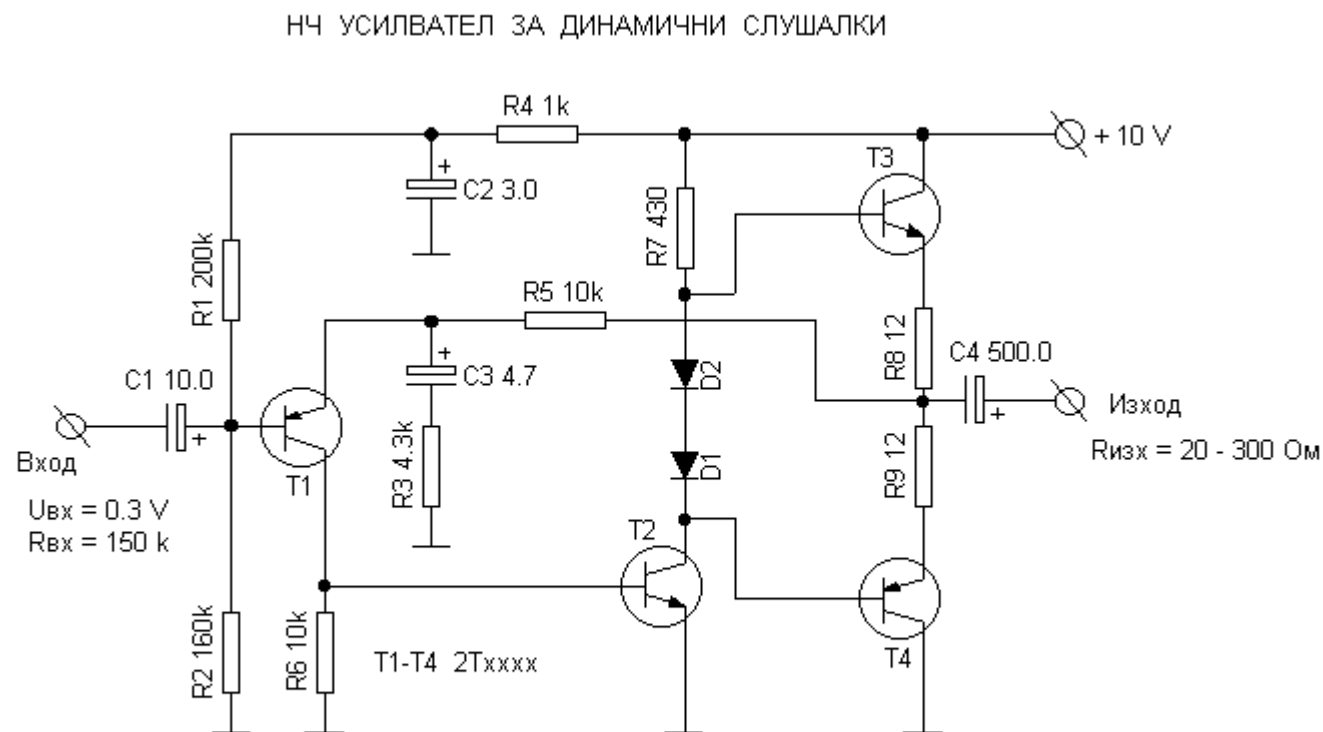
УСТРОЙСТВО ЗА ПРОВЕРКА ИЗПРАВНОСТТА НА ТИРИСТОРИ



5. НЧУ – Нискочестотен усилвател с комплементарна двойка.

Подобряването на полупроводниковите технологии довело до възможността да се произвеждат транзистори от различен тип, но с почти еднакви параметри. Това са така наречените комплементарни транзистори. В справочниците се дават кой с кой е двойка. Това дава възможност да се изгради прост нискочестотен усилвател на мощност, показан на схемата. Двата крайни транзистора вече не работят в линеен режим.

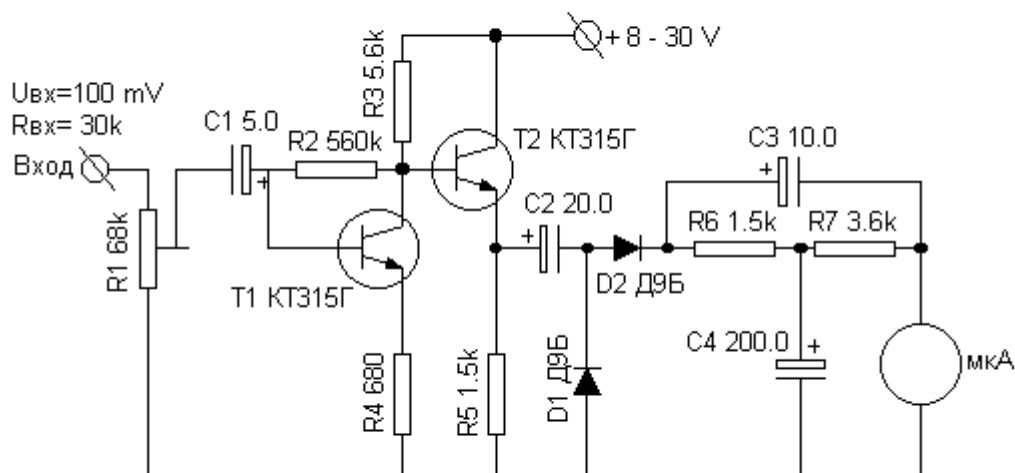
Всеки усилва предимно една от двете полуълни на променливия сигнал. PNP транзисторът усилва положителната полуълна, а NPN транзисторът – отрицателната. Този метод подобрява и КПД на усилвателя.



6. Нивоиндикатор за електрически сигнали.

Сигналът се подава на входа транзистора в схема ОЕ. Вторият транзистор е включен директно към колектора на първия, в схема на емитерен повторител. Променливотоковият сигнал се изправя от двата диода и се подава на измервателната система.

ИЗМЕРИТЕЛ НА НИВО

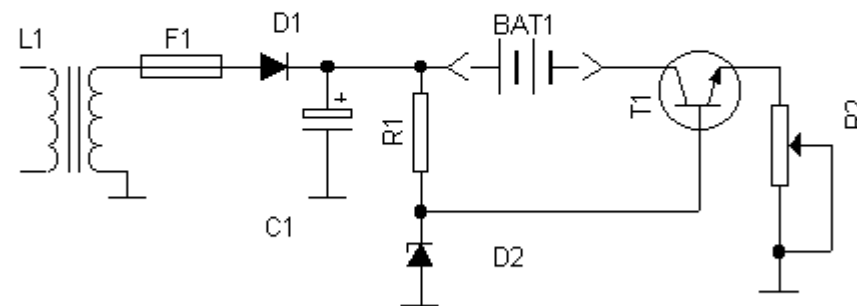


7. Зарядно устройство за акумулатори

Отново вариант на емитерен повторител. На базата се подава стабилизирано напрежение. На изхода ще има също стабилизирано напрежение. С потенциометъра по закона на Ом може да се изчисли и настрои товарният ток. Същият ток, разбира се тече и в колекторната верига, където се включва акумулаторът.

Тази схема се нарича генератор на ток, защото независимо от напрежението на акумулатора в колекторната верига токът ще е константен.

ЗАРЯДНО УСТРОЙСТВО



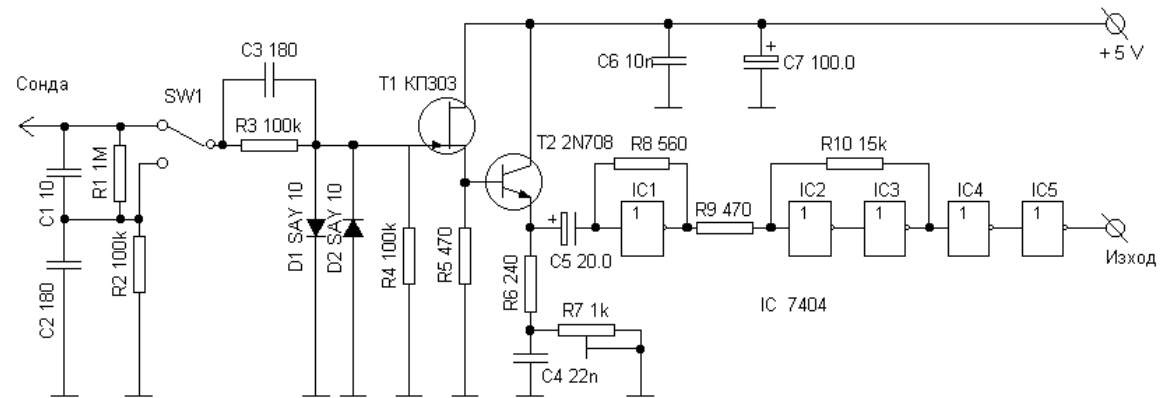
8. Входен усилвател за честотомер с полеви транзистор.

Типично приложение на полеви транзистор включен като сорсов повторител, за да осигури високо входно съпротивление за измервателния уред.

Тук има няколко интересни схемни решения, но ще обърна внимание само на едно – двата противоположно включени диода във входната верига. На пръв поглед ще си кажете „ама те ще окъсят входния сигнал и в двете посоки”. Всъщност няма да стане така. Спомнете си началното

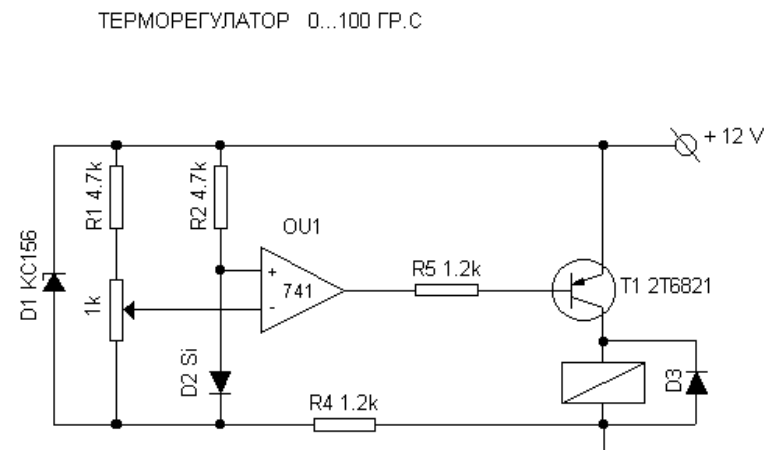
отпушващо напрежение – за силициевите диоди то е около 0,6 V. Тоест за слаби сигнали двата диода ще са запушени. Защо са поставени тогава? Това е измервателен уред и е възможно понякога на входа му да бъде подадено несъразмерно високо напрежение. Ако то превиши 0,6 V диодите ще се отпушат и ще предпазят входа на усилвателя.

ВХОДЕН УСИЛВАТЕЛ-ФОРМИРОВАТЕЛ ЗА ЧЕСТОТОМЕР



9. Терморегулатор с операционен усилвател.

Операционният усилвател е интегрална схема, усилвател с два входа, един изход и много висок коефициент на усилване. На входа му е построен мост с рамене три резистора и един диод. Ценеровият диод стабилизира напрежението върху моста. Мостът се разбалансира от промяната на тока, протичащ през диода, който пък зависи от температурата. Разбалансирането се регистрира от операционния усилвател, който с изхода си пуска и спира релето.



С това смятам да приключа този кратък курс по радиоелектроника. Достатъчен е за да добиете начална представа за начина на работа на електронните устройства. За повече подробности и за по-любопитните има достатъчно литература, вече и безплатно в Интернет. Още схеми може да намерите на моя сайт тук: http://bobi.chanoart.com/el_schemes.html

Успех!

Източник и препоръчвана литература: Шишков А., Първи стъпки в радиоелектрониката.