



Ръководство за провеждане на лабораторно
упражнение

Дисциплина:
Цифрова схемотехника

Тема на упражнението:

**Основни параметри на цифрови сигнали.
Изследване на ключови схеми с биполярни
транзистори.**

1. Цел на упражнението.

Наблюдаване и запознаване на студентите с основните характеристики на цифрови сигнали.

Запознаване с основните статични и динамични характеристиките на електронен ключ, реализиран с биполярен n-p-n транзистор в схема с общ емитер.

2. Измервателна постановка.

За наблюдаване и измерване на цифровите сигнали и за построяване и изследване на схемите се използват:

- Универсален лабораторен макет, осъществен според принципната електрическа схема от Приложение 6.3.
- Двуканален осцилоскоп.
- Цифров мултиметър.
- Два биполярни n-p-n транзистори - маломощен и средномощен.

3. Задачи за изпълнение.

3.1. Запознаване с принципната електрическа схема на лабораторния макет.

3.2. Да се свърже и включи лабораторния макет към мрежовото захранващо напрежение.

3.3. Да се наблюдават и измерят с двуканален осцилоскоп цифровите сигнали, изведени на лицевия панел на макета и означени с Φ и $\Phi + \Delta\Phi$. Мащабите по X и Y на осцилоскопа да се изберат такива, че на екрана да се виждат 2 периода на сигналите.

- Да се начертаят времедиаграмите на сигналите, които се виждат на екрана на осцилоскопа.
- Да се измерят основните параметри на сигналите – амплитуда U_m , период T , продължителност на импулса T_H , (нарича се още продължителност на високото ниво T_H), продължителност на паузата T_L , (нарича се още продължителност на ниското ниво T_L), коефициент на запълване γ (бележи се още с $K_{зап}$) и дефазирането на сигнала $\Phi + \Delta\Phi$ спрямо сигнала Φ .
- Да се измерят предния и задния фронт на импулсите, като се избере подходящ мащаб по X и фронт за синхронизация на осцилоскопа.
- Да се пресметне честотата на сигналите f , като се използва формулата:

$$f = \frac{1}{T}$$

3.4. Да се наблюдава и измери с осцилоскопа сигнала от генератора, изведен на лицевия панел на макета и означен с $U_{имп}$. Мащабите по X и Y на осцилоскопа да се изберат такива, че на екрана да се виждат 2 периода на сигнала.

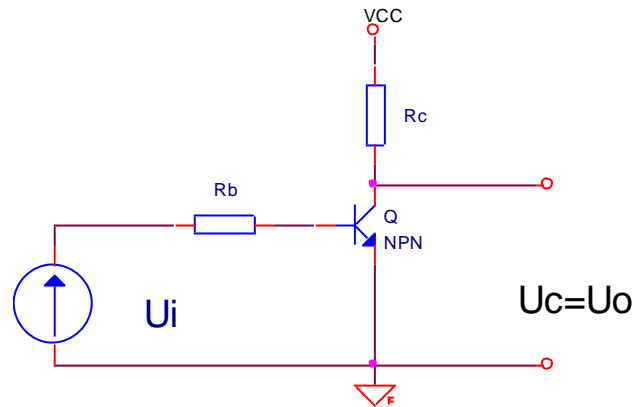
- Да се начертаят времедиаграмата на сигнала, която се вижда на екрана на осцилоскопа.
- Да се измерят основните параметри на сигнала – амплитуда U_m , амплитуда от връх до връх U_{p-p} , период T , продължителност на високото ниво T_H , продължителност на ниското ниво T_L и коефициент на запълване γ .
- Да се пресметне честотата на сигнала f , като се използва формулата:

$$f = \frac{1}{T}$$

3.5. Запознаване с възможностите за реализиране и изследване на транзисторна ключова схема с универсалния макет.

- Да се определи диапазона от постоянни напрежения, които може да се зададат с регулируемия стабилизирания източник на напрежение, означен като 0÷5V и изведен на лицевия панел на макета .

3.6. Като се използват елементи от макета да се реализира и изследва схемата от фиг.1.



фиг.1

3.6.1. В статичен режим. За изследване на статичните параметри входният сигнал U_i се задава от регулируемия стабилизирания източник на постоянно напрежение означен като 0÷5V, изведен на лицевия панел на макета и се правят измервания на U_i и U_c с цифров волтметър.

- Да се снее предавателната характеристика $U_o=f(U_i)$ за няколко комбинации на резисторите R_C и R_B .
- За всяка точка от характеристиката да се пресметнат стойностите на I_B , I_C и β . Резултатите да се нанесат в следващите таблици.
- За маломощен транзистор измерванията да се направят за всички комбинации, а за средномощен само комбинациите от таблици 1 и 3.

$R_B=10k, R_C=1k$												Табл. 1	
U_i [V]	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4	5	
U_o [V]													
I_B [mA]													
I_C [mA]													
β													

$R_B=10k, R_C=2k$												Табл. 2	
U_i [V]	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4	5	
U_o [V]													
I_B [mA]													
I_C [mA]													
β													

R _B =10k, R _C =10k											Табл. 3	
U _i [V]	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4	5
U _o [V]												
I _B [mA]												
I _C [mA]												
β												

- Да се обясни промяната на U_o с промяната на R_C при едни и същи стойности на U_i.
- Да се обясни разликата между пресметнатите стойности за β и посочените в справочника за транзисторите.
- Да се пресметне степента на насищане на транзисторите при U_i=5V.

$$\frac{I_B}{I_{BS}}$$

3.6.2. В динамичен режим. За изследване на динамичните параметри входният сигнал U_i се задава от източника означен φ+Δφ, изведен на лицевия панел на макета и се наблюдава с първия канал на осцилоскопа. Изходният сигнал U_o се наблюдава с втория канал на осцилоскопа.

- Да се начертаят времедиаграмите на преходните процеси за входния и изходния сигнали и да се покажат времената на превключване.
- Да се измерят времената на включване и изключване при няколко комбинации на резисторите R_C и R_B и ускоряващ кондензатор C_B, паралелно на резистора R_B. Резултатите да се нанесат в следващите таблици.
- Да се обясни влиянието на C_B.
- За маломощен транзистор измерванията да се направят за всички комбинации, а за средномощен само комбинацията от таблици 4.

R _C =10k, C _B =0pF					Табл.4
R _B	[kΩ]	1	2	3	10
t _{on}	[μS]				
t _{of}	[μS]				

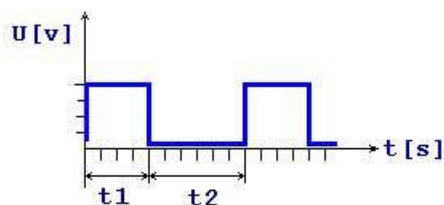
R _C =10k, C _B =100pF					Табл.5
R _B	[kΩ]	1	2	3	10
t _{on}	[μS]				
t _{of}	[μS]				

4. Въпроси за самостоятелна работа въщи.

4.1. Да се начертае времедиаграмата на периодичен цифров сигнал с параметри: амплитуда U_m=10V, период T=20mS, продължителност на импулса T_и=4mS. Да се определят продължителността на паузата T_п, коефициента на запълване γ и честотата f.

4.2. Посочете верния отговор!

Периодът на повторение на показания сигнал е $10\mu\text{s}$. Честотата му е :



- а) 1kHz ;
- б) 100Hz ;
- в) 10kHz ;
- г) 500Hz .

4.1. Да се начертае схемата от фиг.1 за p-n-p транзистор и времедиаграмите на входния и изходния сигнали.

5. Съдържание на протокола.

Резултатите от изпълнението на т.3 и т.4.

6. Приложения

6.1 Теоретична постановка. Основни параметри на цифрови сигнали

6.2. Теоретична постановка Биполярен транзистор в ключов режим.

6.3. Принципна електрическа схема на лабораторния макет.

6.4. Лицев панел на лабораторния макет.

Основна литература

1. Михов Г., Цифрова схемотехника, ТУ – София, 2005г.

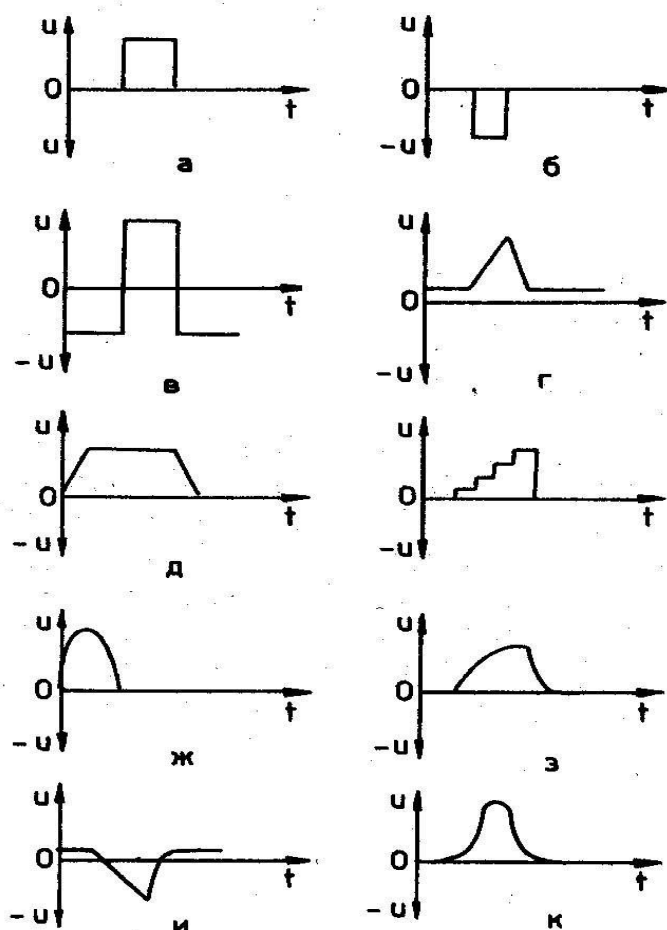
Допълнителна литература

1. Атанасов Ал., Основи на импулсната и цифровата схемотехника, София, 2003г.
2. Димитрова М., И. Ванков, Импулсни схеми и устройства, в 2 тома, Техника, София, 1989г.
3. Димитрова М., И. Ванков, CMOS интегрални схеми, в 2 тома, Техника, София, 1988г.
4. Конов К., Импулсни и цифрови схеми с интегрални ТТЛ елементи, Техника, София, 1988г
5. Токхайм Р., Цифрова електроника, Техника, София, 1999г.
6. Хоровиц П., У. Хилл, Искусство схемотехники, в 3-х тома, Мир, Москва, 1993г.
7. Янсен Й., Курс цифровой электроники, в 4-х тома, Мир, Москва, 1987г

Приложение 6.1. Теоретична постановка Основни параметри на цифрови сигнали

Под *електрически импулс* (или накратко импулс) се разбира изменението на напрежението или тока в една електрическа верига от една стойност до друга с последващо установяване на първоначалната стойност.

На фиг. 1.1 са показани импулси с различна форма. По абсцисната ос се нанася времето t , а по ординатната моментната стойност на напрежението, която може да бъде положителна, отрицателна или нула. Вместо напрежението може да се нанесе токът I .



Фиг. 1.1. Напрежителни импулси

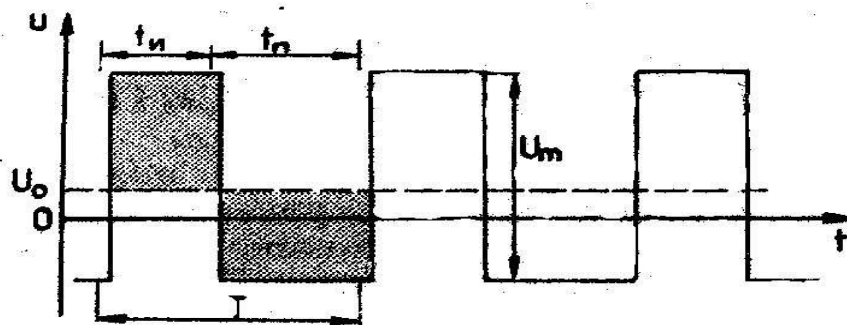
а, б, в — правоъгълни; *г* — триъгълен; *д* — трапецовиден; *е* — стъпаловиден; *ж* — синусоиден; *з* — експоненциален; *и* — тригонообразен; *к* — камбановиден

Както се вижда, изменението на напрежението (тока) може да бъде скокообразно, както е например на фиг. 1.1 *а, б, в, е*, или плавно (по линеен, синусоиден, експоненциален или някакъв друг закон), както е в останалите примери. Според посоката на това изменение импулсът може да бъде *отрицателен*, както е на фиг. 1.1 *б, и*, или *положителен*, както е в останалите случаи. Ако минималната и максималната стойност на напрежението (тока) имат различни знаци, импулсът се нарича *двуполярен* (фиг. 1.1 *в, и*).

Основната, най-характерната особеност на импулсното напрежение или ток е неговата прекъснатост (дискретност).

За разлика от него напрежението (токът), което се изменя непрекъснато или остава постоянно във времето, се нарича *аналогово*. Аналогово е например синусоидното напрежение от електрическата мрежа, напрежението, съответстващо на звуковите сигнали в нискочестотен усилвател, или напрежението в изхода на токоизправител.

Импулсите могат да бъдат *единични* или *периодично повтарящи се*. Всички импулси от фиг. 1.1 са единични. На фиг. 1.2 е показана примерна периодична поредица от правоъгълни импулси.



Фиг. 1.2. Периодична поредица правоъгълни импулси

Периодът на повторението им е означен с T и е равен на времето между моментите на появяване на два последователни импулси. Продължителността на импулсите е означено с $t_{и}$, а времето между два последователни импулса се нарича *пауза* и е означено с $t_{п}$. Разбира се, казаното важи, ако импулсите са положителни. Същата поредица обаче може да се разглежда и като съставена от отрицателни импулси. Тогава импулсът и паузата сменят местата си. Очевидно е, че

$$T = t_{и} + t_{п}$$

Именно наличието на пауза, през която напрежението (токът) има установена (постоянна) стойност, го характеризира като импулсно. При единичните импулси паузата е безкрайно дълга; същото може да се каже и за периода на повторението им. Следователно единичните импулси могат да бъдат разглеждани като частен случай на периодично повтарящи се импулси.

Отношението между продължителността на импулсите и периода на повторението им се нарича *коэффициент на запълване*

$$\gamma = t_{и} / T$$

Най-малката стойност на коефициента на запълване клони към нула, а най-голямата — към единица.

Разликата между максималната и минималната стойност на напрежението (тока) се нарича *амплитуда (размах)* на импулса и се бележи с U_m (I_m) (вж. фиг. 1.2).

Най-широко разпространение в практиката са получили правоъгълните импулси. Достатъчно е да споменем, че телеграфните апарати,

електронноизчислителните машини, радиолокаторите и повечето от електронните системи за автоматичен контрол, измерване и управление работят с правоъгълни импулси.

От електротехниката е известно, че напрежението между две точки на една електрическа верига, между които е включен кондензатор, не може да се изменя скокообразно (за безкрайно малко време). За да се натрупат или разсеят зарядите в кондензатора, е необходимо време. Обаче между кои да са две точки на една реална електрическа верига винаги има известен капацитет, дори ако няма специално включен кондензатор. Това е неизбежният паразитен капацитет, който се дължи на наличието на проводници (или на области с електрически заряди) и на изолатори между тях. Следователно на практика не съществуват импулси, в които напрежението се изменя мигновено, както това е начертано на фиг. 1.1 *a, б, в, е*. Формата на реалните импулси повече или по-малко се различава от идеалната.

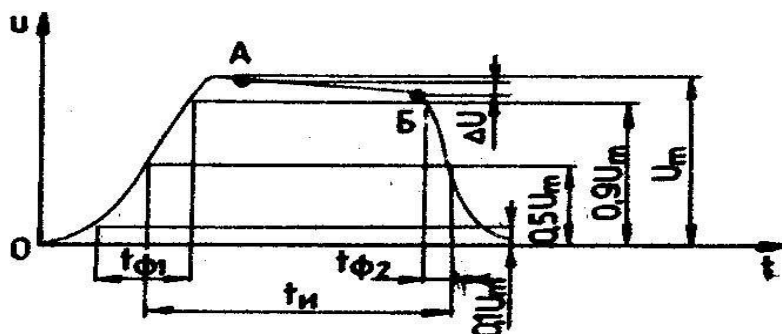
Това важи и за токовете импулси, защото токът през една бобина също не може да се изменя скокообразно, а всеки проводник има паразитна (собствена) индуктивност.

Главната разлика между идеалния и реалния правоъгълен импулс е в това, че *предният фронт* $t_{\phi 1}$ и *задният фронт* $t_{\phi 2}$ (стръмните части) на реалния импулс се изменят плавно, а тези на идеалния импулс — мигновено.

На фиг. 1.3 е начертан реален правоъгълен импулс. Смята се, че той е правоъгълен, ако продължителността на предния или задния му фронт не е по-голяма от $(0,1—0,2) t_{\text{н}}$.

Под амплитуда на импулса U_m и в този случай се разбира разликата между максималната и минималната стойност на напрежението. Продължителността на импулса $t_{\text{н}}$ обикновено се отчита на ниво $0,5U_m$, както е показано на фиг. 1.3.

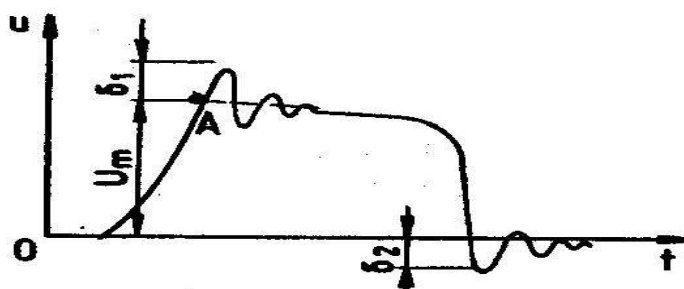
Формата на предния и на задния фронт зависи от закона, по който се зареждат или разреждат кондензаторите между съответните точки, и най-често е близка до експоненциалната. Експоненциалните процеси теоретично продължават безкрайно дълго. Това създава затруднения при отчитането на началото и края на фронта на импулса. За да се избягнат тези затруднения, е прието началото на фронта да се отчита при напрежение $0,1U_m$, а края му — при $0,9 U_m$. Продължителността на фронта t_{ϕ} тогава е равна на времето между неговия край и начало (вж. фиг. 1.3),



Фиг. 1.3. Реален правоъгълен импулс при аperiодичен характер на преходните процеси

Друга разлика между реалния и идеалния правоъгълен импулс е, че *платото* (плоската част) на реалния импулс с течение на времето спада. Това, както ще видим, се дължи на недостатъчното пропускане на ниските честоти от електрическите вериги, през които преминават импулсите. *Спадането на платото* Δu става приблизително по линейен закон. То не бива да надвишава няколко процента от размаха на импулса и се измерва между началото и края на линейния участък от платото на импулса (точките *A* и *B* на фиг. 1.3).

Поради наличието на паразитни капацитети и индуктивности в реалните електрически вериги може понякога да възникнат и периодични трептения. Това в повечето случаи е нежелателно, така както са нежелателни и изкривяванията на фронтите и платото на импулсите. Паразитните трептения са допустими, ако амплитудата им не е голяма и ако затихват бързо. Те се появяват в началото и в края на импулса и са по същество преходни процеси.



Фиг. 1.4. Реален правоъгълен импулс при периодичен характер на преходните процеси

На фиг. 1.4 е показана формата на правоъгълен импулс в този случай. Амплитудата на импулса U_m се отчита от пресечната точка *A* между предния фронт и продължението на линейния участък от платото на импулса. *Отскокът* на предния фронт δ_1 се отчита от първия максимум, а отскокът на задния фронт δ_2 — от първия минимум на напрежението, тъй като трептенията на преходния процес са затихващи. Всеки от тях не бива да надвишава 5—10% от U_m . Освен това трептенията практически трябва да затихнат (т.е. амплитудата им да стане по-малка от $0,05 \delta_1$ или $0,05 \delta_2$) за време, не по-дълго от $(0,2—0,3) t_{\text{и}}$.

Ще отбележим, че всички поставени числени ограничения за продължителността на фронтите, спадането и отскоците на платото са ориентировъчни и числените коефициенти в тях зависят от изискванията на конкретния случай.

Литература:

1. Вълков Ст. – Импулсна техника. Учебник за техникумите. Техника, София, 1989.
2. Михов, Г., Цифрова схемотехника. ИПК на ТУ, София, 2005.

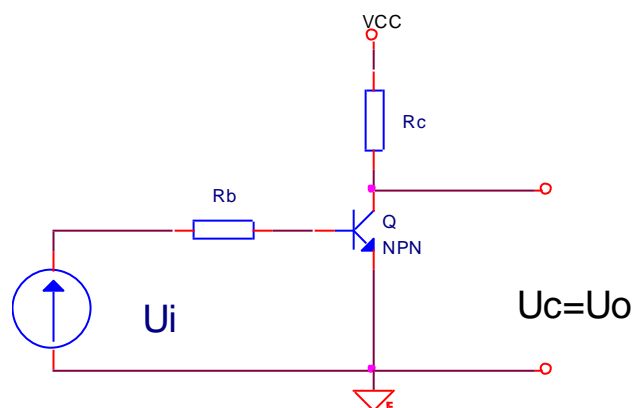
Приложение 6.2. Теоретична постановка

Биполярен транзистор в ключов режим

Основна ключова схема. Транзисторът, работещ в ключов режим, има за цел подобно на механичния комутатор да включва или изключва различни вериги под действието на управляващ сигнал. В статичен режим ключът може да се намира в едно от двете състояния – затворено (включено) и отворено (изключено). Към транзисторните ключове се поставят следните изисквания:

- малко вътрешно съпротивление при включено състояние, т.е. малък пад на напрежението върху ключа,
- голямо вътрешно съпротивление в изключено състояние, т.е. протичане на минимален ток през ключа,
- високо бързодействие, т.е. висока скорост на преминаване на ключа от едно състояние в друго.

Принципната схема на най-прост ключ с биполярен транзистор е показана на фиг 1. В нея транзисторът е свързан в схема с общ емитер, като



Фиг.1

управляема е колекторната верига, включваща захранващия източник U_{CC} и товарния резистор R_C . Управляващата базова верига включва източника на входен сигнал U_i и базовия резистор R_B .

Статичен режим. В статичен режим разглежданата схема притежава две устойчиви състояния, отговарящи на отворено и затворено положение на ключа. Поставянето на транзисторния ключ във всяко от тези състояния и неговото действие са в непосредствена връзка с входната и изходната характеристики на транзистора (фиг.2а и фиг.2б). Отвореното положение на ключа отговаря на запушено състояние на транзистора. В този режим и двата прехода на транзистора, колекторния и емитерния, са запушени и през тях протичат малки токове: $I_E=0$; $I_B=-I_{CBO}$; $I_C=I_{CBO}$, като I_{CBO} е обратния, топлинен ток на запушения колекторен преход. Силициевият PN преход остава запушен до напрежение $u_B=U_{BO}$, $U_{BO}=0,5\div 0,6V$. Така на границата между режима на запушване и активния режим (точка 1) протичащите през електродите на транзистора токове, макар и относително да се променят,

остават с твърде малки стойности ($\approx 10^{-4}$ А). Поради това падовете върху резисторите R_C и R_B могат да се пренебрегнат и да се смята, че $u_B \approx U_i$ и $u_C \approx U_{CC}$.

Следователно транзисторният ключ е отворен за

$u_B < U_{BO}$, при което $u_O = U_{CC}$. (точка А).

Когато входното напрежение достигне стойността U_{BO} транзисторът се отпушва и преминава в активен (усилвателен) режим - емитерният преход е отпушен, като напрежението върху него остава приблизително постоянно (E_0), а колекторният преход е запушен. Протичащите базов и колекторен ток са свързани с коефициента на усилване по ток β ($i_C = \beta i_B$), а изходното напрежение е $u_O = u_C = U_{CC} - i_C R_C$.

С увеличаване на входното напрежение $u_{in} = i_B R_B + E_0$, расте и базовия ток, като в точка 2 при $i_B = I_{B2}$ потенциалът на колектора спада до напрежението на отпушения колекторен преход E_0 , а напрежението върху колекторния преход съответно става равно на нула. При по-нататъшно увеличаване на базовия ток до стойност I_{BS} напрежението колектор-база достига по стойност напрежението на

$$I_{CS} = \frac{E - U_{C0}}{R_C} \approx \frac{E}{R_C}$$

отпушване, а потенциалът на колектора спада до $U_{C0} = 0.1V$. В този момент транзисторът преминава в режим на насищане, тъй като и двата PN прехода са отпушени. Инжекцията на електрони от колектора към базата започва да възпрепятства по-нататъшното увеличаване на колекторния ток и той остава практически постоянен и равен на максималната си стойност

Тогаво условието, при което настъпва насищане на транзистора, изразено чрез базовия ток е

$$I_B > I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta},$$

а чрез входното напрежение

$$u_{in} < E_0 + R_B I_{BS} = E_0 + \frac{R_B E}{\beta R_C}.$$

Преходни процеси. Анализът на динамичните параметри на схемата се основава на разглеждането на измененията на токовете и напреженията под въздействие на правоъгълен входен сигнал. Времето, отговарящо на пълното изменение на входното напрежение, може да се раздели на няколко етапа:

Литература:

3. Вълков Ст. – Импулсна техника. Учебник за техникумите. Техника, София, 1989.
4. Михов, Г., Цифрова схемотехника. ИПК на ТУ, София, 2005.