

Демонстратор: Транзистор 2N4123 - параметри и модели

1. Цел

Целта на демонстратора е да ви представи процедурата за определяне на четириполусните параметри и елементите на линейните модели на биполярния транзистор [2N4123](#), което да ви подпомогне при подготовката и изпълнението на упражнения и задачи по ТЕС.

2. Четириполусник. Четириполусни параметри.

Основа на съвременната теория на електронните схеми е математическото моделиране на отделните елементи и цялата схема. В повечето практически случаи се оказва, че приложимостта на методите, алгоритмите и програмите за проектиране на електронни схеми в значителна степен е следствие на използването на адекватни модели на електронните елементи. Удобно за приложение в инженерната практика за целите на анализа са моделите със съсредоточени параметри, изградени чрез основния набор двуполусни елементи, които апроксимират реалните характеристики с приемлива точност. Всяка пасивна и активна схема, както и всеки активен елемент може да се представи като схема с два входни и два изходни полюса. Свойствата на такава схема могат да се изразят само чрез съотношенията между токовете и напреженията на нейните полюси, т. е. входните величини $U_{\text{вх}}$, $I_{\text{вх}}$ и изходните величини $U_{\text{изх}}$, $I_{\text{изх}}$. За положителни посоки на напреженията на входа и на изхода са приети нагоре, а на тока през горните полюси - навътре към четириполусника, както е показано за фиг. 1. При регулярните четириполусници излизащите токове от долните полюси са равни по големина на влизащите в горните.



Фигура 1

Уравненията на един четириполусник могат да се съставят, като две от четирите

променливи $U_{\text{вх}}$, $I_{\text{вх}}$, $U_{\text{изх}}$ и $I_{\text{изх}}$ се изберат за независими и чрез тях се изразят останалите. В зависимост от избраните променливи се получават различни системи уравнения с различни параметри – y -, z -, h -, f -, a -, b - параметри, които в матричен вид се изразяват съответно чрез матриците $[y]$, $[z]$,

$[h]$, $[f]$, $[a]$ и $[b]$. Елементите на тези матрици за един и същи четириполусник са различни по размерност и числени стойности, но между тях съществува определена връзка. Лесно може да се докаже, че матриците две по две са взаимно обратими ($[y]$ и $[z]$, $[h]$ и $[f]$, $[a]$ и $[b]$). Най-често използвани в практиката са y - и h - четириполусни параметрите.

При h -параметрите имаме съответно независими променливи входния ток $I_{\text{вх}}$ и изходното напрежение $U_{\text{изх}}$ и система уравнения

$$(1) \quad \begin{cases} U_{\text{вх}} = h_{11} I_{\text{вх}} + h_{12} U_{\text{изх}} \\ I_{\text{изх}} = h_{21} I_{\text{вх}} + h_{22} U_{\text{изх}} \end{cases}$$

Елементи на матрицата $[h]$ се дефинират от h - системата уравнения (1), като отношения на токовете и напреженията при съответно отворен вход ($I_{\text{вх}} = 0$) и накъсо свързан изход ($U_{\text{изх}} = 0$)

$U_{u3x} = 0$). Тези условия, лесно се реализират и поради тази причина в каталозите на електронните елементи, най-често се дават именно $[h]$ параметрите.

Ако за независими променливи се изберат напреженията U_{ex} и U_{u3x} , се получава системата уравнения с у-параметрите

$$(2) \quad \begin{cases} I_{ex} = y_{11}U_{ex} + y_{12}U_{u3x} \\ I_{u3x} = y_{21}U_{ex} + y_{22}U_{u3x} \end{cases},$$

$[y] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$ е матрицата на проводимостите на четириполусника. Нейните елементи

(проводимостите) се дефинират от у- системата уравнения (2), като отношения на токовете и напреженията при съответно накъсо свързан вход ($U_{ex} = 0$) и накъсо свързан изход ($U_{u3x} = 0$).

Чрез елементарни математически преобразования, лесно могат да се изчислят у-параметри от h-параметри:

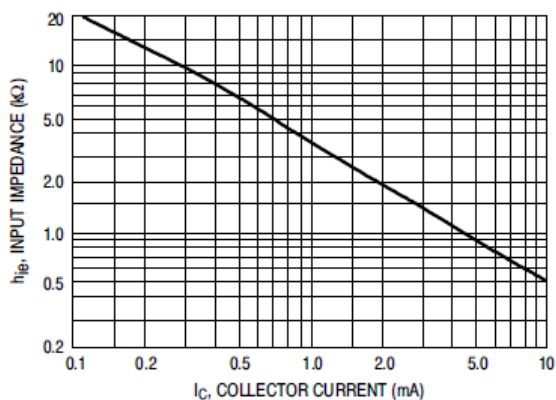
$$(3) \quad [y] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{h_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -h_{12} \\ h_{21} & \Delta_h \end{bmatrix},$$

3. Определяне на четириполусните $[h_e]$ и $[y_e]$ - параметри за транзистор 2N4123

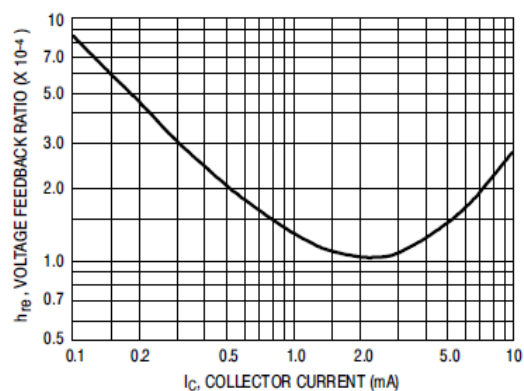
Отворете [PDF файла с данните за транзистора 2N4123](#) от фирмения каталог на фирмата производител [ON semiconductor](#), за да проучите основните му параметри и характеристики. От каталожните графики (фиг 2-5) при условия $U_{CE}=10\text{ V}$, $I_C=1\text{ mA}$ и честота $f = 1\text{ kHz}$, определяме четириполусните $[h_e]$ - параметри.



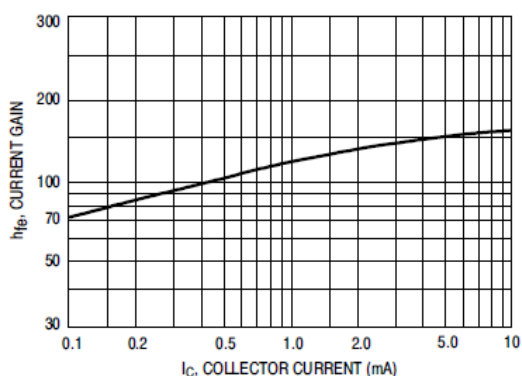
Малосигналните четириполусни параметри на транзистора ($[h_e]$ и $[y_e]$) зависят от постояннотоковия режим и честотата.



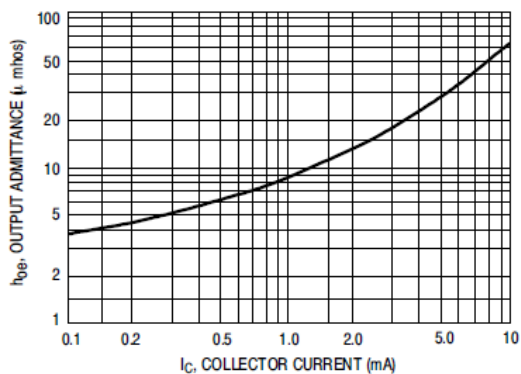
фигура 2 Входно съпротивление $h_{11e}(I_C)$



фигура 3 Коефициент на обратно предаване по напрежение $h_{12e}(I_C)$



фигура 4 Коефициент на усилване по ток $h_{21e}(I_c)$



фигура 5 Изходна проводимост $h_{22e}(I_c)$

И така, от графиките за $I_c=1$ mA се отчитат:

Таблица 1

Постоянно-токов режим: $I_c=1$ mA, $U_{ce}=10$ V, $f=1$ kHz, $T_a=25$ °C				
Параметър			Стойност	Измервателна единица
Символ	Символ в каталог	Наименование		
h_{11e}	h_{ie}	Входно съпротивление	3.50E+03	Ω
h_{12e}	h_{re}	Коефициент на обратно предаване по напрежение	130.00E-06	-
h_{21e}	h_{fe}	Коефициент на усилване по ток	125	-
h_{22e}	h_{oe}	Изходна проводимост	8.60E-06	S

Използвайки (3), се изчисляват $[y_e]$ - параметрите:

Таблица 2

Постоянно-токов режим: $I_c=1$ mA, $U_{ce}=10$ V, $f=1$ kHz, $T_a=25$ °C				
Параметър		Формула за изчисление	Стойност	Измервателна единица
Символ	Наименование			
y_{11e}	Входна проводимост	$1/h_{11e}$	285.71E-06	S
y_{12e}	Обратна проходна проводимост	$(-1) \cdot h_{12e}/h_{11e}$	-37.14E-09	S
y_{21e}	Права проходна проводимост (стръмност)	h_{21e}/h_{11e}	35.71E-03	S (V/A)
y_{22e}	Изходна проводимост	Δ_h/h_{11e}	3.957E-06	S

4. Изчисляване параметрите на елементите от П-образния модел на транзистор 2N4123

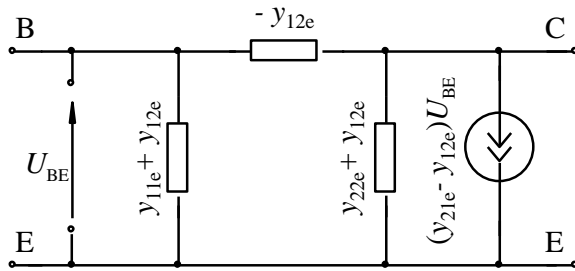


Елементите на П-образния формален линеен модел на биполярен транзистор (фиг. 6) се определят пряко от четириполюсните y -параметри, които в общия случай зависят от постояннотоковия режим и честотата. Следователно, елементите на П-образния модел също се определят за конкретен постояннотоков режим и честота. Неудобството при неговото използване за компютърни симулации на електронни схеми произтича от необходимостта да разполагаме с данни за четириполюсните параметри за всеки постояннотоков режим и работна честота. Поради тази причина, в практиката (включително и в PSpice) най-често работим с модела на Джаколето, чийто параметри не зависят от честотата. Разбира се, П-образният модел на транзистора е подходящ за някои предварителни инженерни изчисления при проектиране на схемата. Също така в курса по ТЕС, наред с модела на Джаколето, използваме понякога и П-образния модел на транзистор при съставянето на матрици на схеми със ЗИТУН по метода на възловите напрежения.

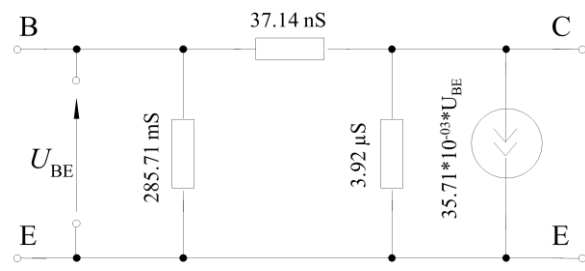
В примера, който разглеждаме ще определим елементите на нискочестотния П-образен модел на транзистора 2N4123, използвайки y -параметрите от Таблица 2 при $I_c = 1 \text{ mA}$, $U_{ce} = 10 \text{ V}$, $f = 1 \text{ kHz}$. Резултатите са показани в Таблица 3 и на фиг. 7.

Таблица 3

Параметри на П-образния модел	Формула за изчисление	Стойност	Измервателна единица
Y_1	$y_{11} + y_{12}$	285.71	mS
Y_2	$(-1) * y_{12}$	37.14	nS
Y_3	$y_{22} + y_{12}$	3.92	$\mu\text{S (V/A)}$
Y_4	$y_{21} - y_{12}$	35.71	mS



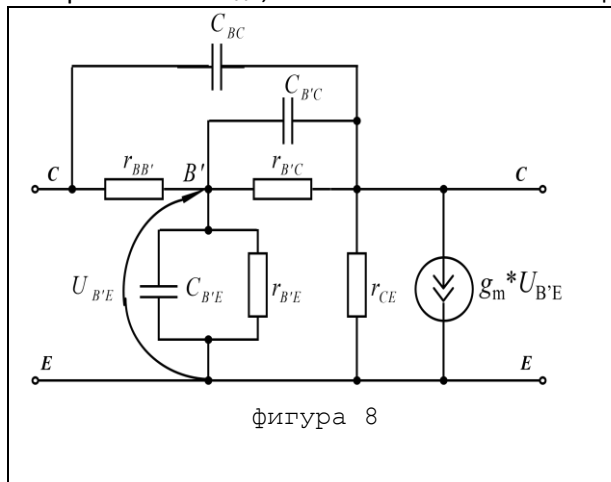
фигура 6



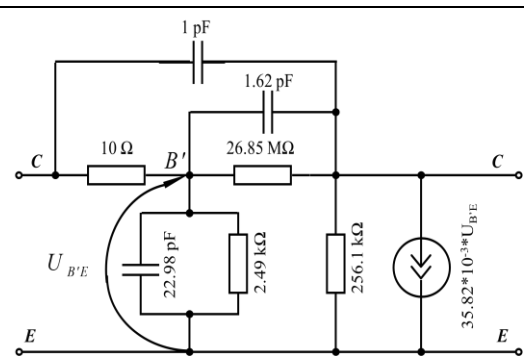
фигура 7

5. Изчисляване на параметрите на модела на Джаколето на транзистор 2N4123

Елементите на модела на Джаколето (фиг. 8) се определят от данните за: h_e – параметрите, транзитната честота f_T , бариерния капацитет C_{bc} , паразитния капацитет C_{bc} и обемното базово съпротивление $r_{bb'}$, както е показано в Таблица 4 и фиг. 9.



фигура 8



фигура 9

Таблица 4

Символ	Параметър	Формула за изчисление	Стойност	Измервателна единица
$r_{b'b}$	Обемно базово съпротивление	от каталога	10	Ω
$r_{b'e}$	Преобладаваща част на входното променливотоково съпротивление	$h_{11e} - r_{bb'}$	3.49	k Ω
$r_{b'c}$	Обратно преходно съпротивление	$r_{b'e} / h_{12e}$	26.85	M Ω
r_{ce}	Изходно променливотоково съпротивление в схема с общ емитер	$r_{b'e} / (\Delta_h - h_{12e} - r_{b'b} * h_{22e})$	256.1	k Ω
g_m	Стръмност на предавателната характеристика $I_c = f(U_{BE})$, параметър на проводимостта на ЗИТУН	$h_{21e} / r_{b'e}$	35.82	mS (V/A)
$C_{b'e}$	Дифузен капацитет на емитерния преход (зависи пряко от транзитната честота f_t)	$(h_{21e} + 1) / 2\pi f_T r_{b'e}$	22.98	pF
$C_{b'c}$	Бариерен капацитет на прехода колектор-база	от каталога	1.62	pF
C_{bc}	Паразитен монтажен капацитет между изводите на базата и колектора	от каталога	1	pF