

ЛЕКЦИЯ 15

доц. д-р СТЕЛА СТЕФАНОВА

ПРОМЕНЛИВОТОКОВ (ЧЕСТОТЕН) АНАЛИЗ. ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ. ВИДОВЕ ЧЕСТОТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АНАЛОГОВА СИСТЕМА

1. Предавателна функция

1.1. Понятие за предавателна функция (transfer function)

- Предавателната функция (ПФ) дефинира свойствата на електронна схема, която е описана като линеен четириполусник (Фигура 1);
- Представява отношение на изходна към входна величина;



Фиг. 1. Предавателна функция на електронна схема

където I_1, I_2 са съответно входен и изходен ток;

V_1, V_2 са съответно входно и изходно напрежение.

1.2. Видове предавателни функции

1.2.1. Коефициент на предаване по напрежение

$$K_U = \frac{V_2}{V_1}, \text{ в пъти}$$

1.2.2. Коефициент на предаване по ток

$$K_I = \frac{I_2}{I_1}, \text{ в пъти}$$

1.2.3. Коефициент на предаване по мощност

$$K_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 \cdot V_2}{I_1 \cdot V_1}, \text{ в пъти}$$

1.3. Логаритмично представяне на предавателните функции

1.3.1. Коефициент на предаване по напрежение

$$K_U, \text{ dB} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \right), \text{ dB}$$

1.3.2. Коефициент на предаване по ток

$$K_I, \text{ dB} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right), \text{ dB}$$

1.3.3. Коефициент на предаване по мощност

$$K_p, \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right), \text{ dB}$$

1.4. Математическа форма на запис на ПФ

Предавателната функция на аналогова електронна схема се дефинира като дробно-рационална функция на комплексната променлива S , която може да бъде записана във вида:

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0},$$

където $a_i, i = 1 \dots m$; $b_j, j = 1 \dots n$ са коефициентите на ПФ.

1.5. Условия за физическа реализуемост на ПФ

За да бъде ПФ физически реализуема трябва да бъдат изпълнени следните условия:

- коефициентите на ПФ $a_i, i = 1 \dots m$; $b_j, j = 1 \dots n$ трябва да бъдат реални числа;
- редът на ПФ се определя от степента на полинома в знаменателя $n \geq m$.

2. Честотни характеристики на електронна схема

За аналоговите електронни схеми се дефинират следните видове честотни характеристики:

- Коефициент на предаване по напрежение или амплитудно-честотна характеристика (АЧХ);
- Коефициент на предаване по ток;
- Коефициент на предаване по мощност;
- Фазово-честотна характеристика;
- Входно съпротивление;
- Изходно съпротивление.

3. Амплитудно-честотна характеристика

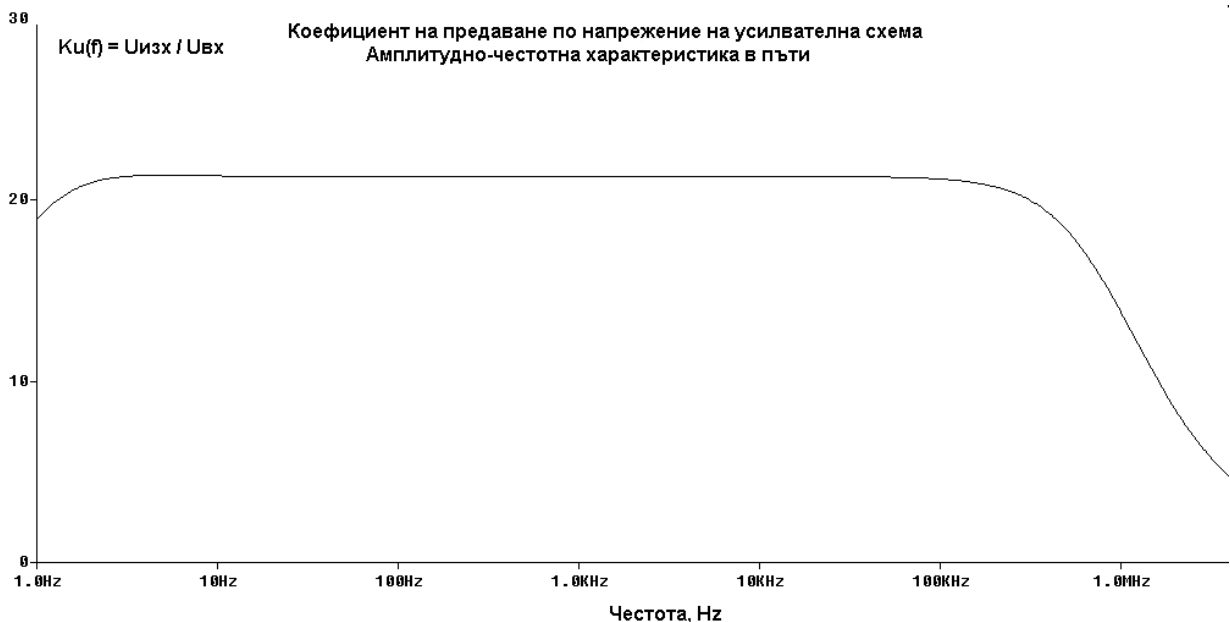
3.1. Понятие за амплитудно-честотна характеристика

1) АЧХ изразява промените на амплитудите на различните честотни съставлящи на входа при преминаването им през електронната схема;

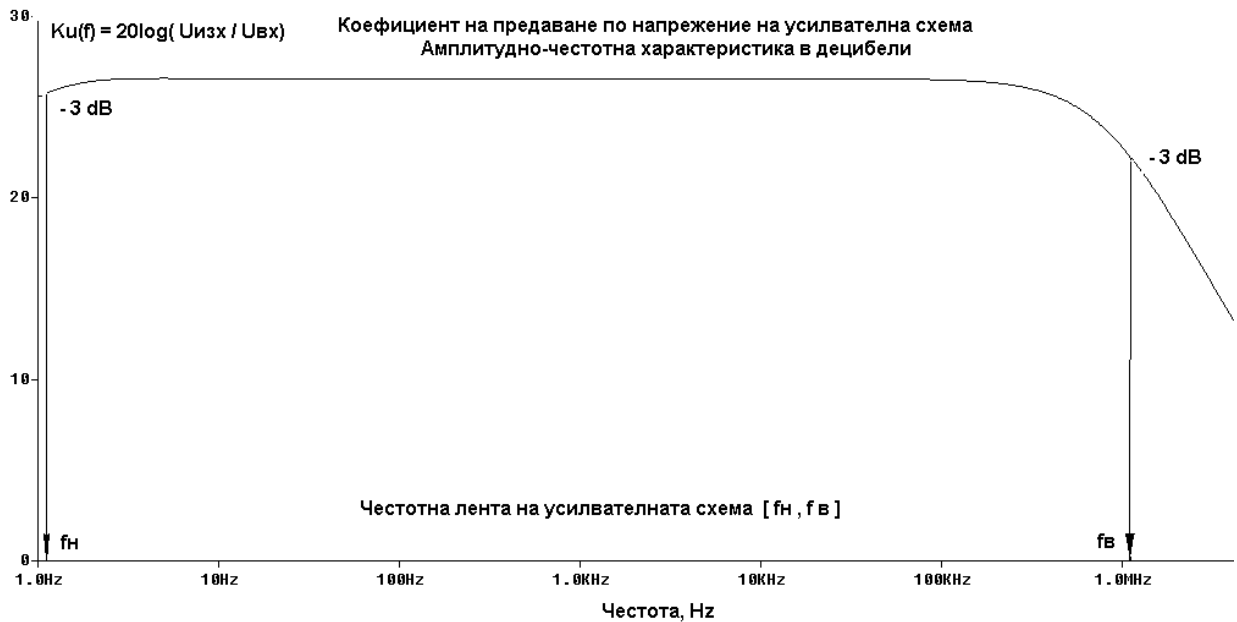
2) АЧХ представлява отношението на амплитудата на изходното към амплитудата на входното напрежение в зависимост от честота (като функция на честотата).

3.2. Примери за АЧХ

На фиг. 2 е показана АЧХ на усилвателна схема, дефинирана в пъти, а на фиг. 3 съответно АЧХ в dB. На характеристиката в dB от фиг.3 е илюстрирано определянето на честотния диапазон на усилване. Граничните честоти f_H , f_B са честотите, за които усилването спада с 3 dB. Честотната лента на усилвателна схема се дефинира като интервала от честоти $[f_H, f_B]$.

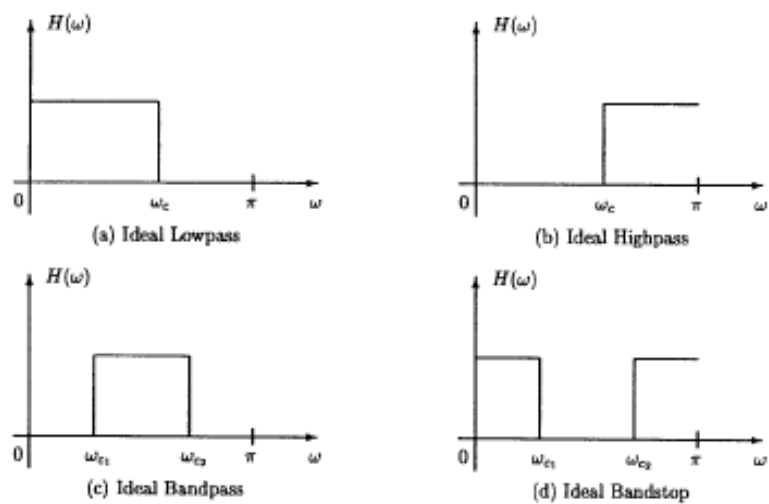


Фиг. 2. АЧХ на усилвателна схема, дефинирана в пъти

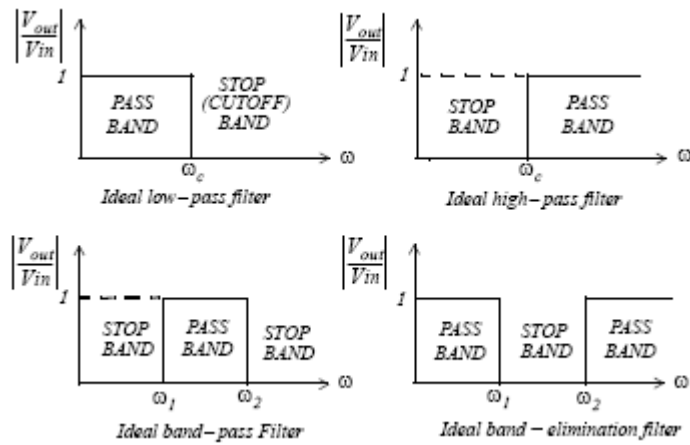


Фиг. 3. АЧХ на усилвателна схема, дефинирана в dB

На фиг. 4 и фиг. 5 са показани предавателните функции по напрежение т.е. АЧХ на различните видове идеални филтри – нискочестотен (lowpass), високочестотен (highpass), лентов (bandpass), режекторен (bandstop). На фиг. 5 са дефинирани лентите на пропускане (passbands) и лентите на непропускане (спиране - stopbands, cutoffbands), както и граничните честоти (cutoff frequencies) на тези филтри.



Фиг. 4. ПФ по напрежение на различни видове идеални филтри



Фиг. 5. АЧХ на различни видове идеални филтри

4. Фазово-честотна характеристика

4.1. Понятие за фазово-честотна характеристика (ФЧХ)

- ФЧХ изразява промените на началните фази на честотните съставлящи на входа при преминаването им през електронната схема;
- ФЧХ представлява разлика във фазата на изходния сигнал и входния сигнал като функция на честотата.



Фиг. 6. ФЧХ на усилвателна схема

Поради нелинейния характер на ФЧХ в определен честотен диапазон, нискочестотните съставлящи на сигнала се дефазират с "+" фаза, т.е. се забавят, а в определен честотен диапазон високочестотните съставлящи избързват. Резултатът от нелинейния характер на ФЧХ са т.нар. фазови изкривявания. За да се избегнат фазовите изкривявания се проектират допълнителни електронни схеми, наречени фазови коректори.

5. Променливотоков (честотен) анализ в PSPICE

5.1. Команда за дефиниране на АС анализа

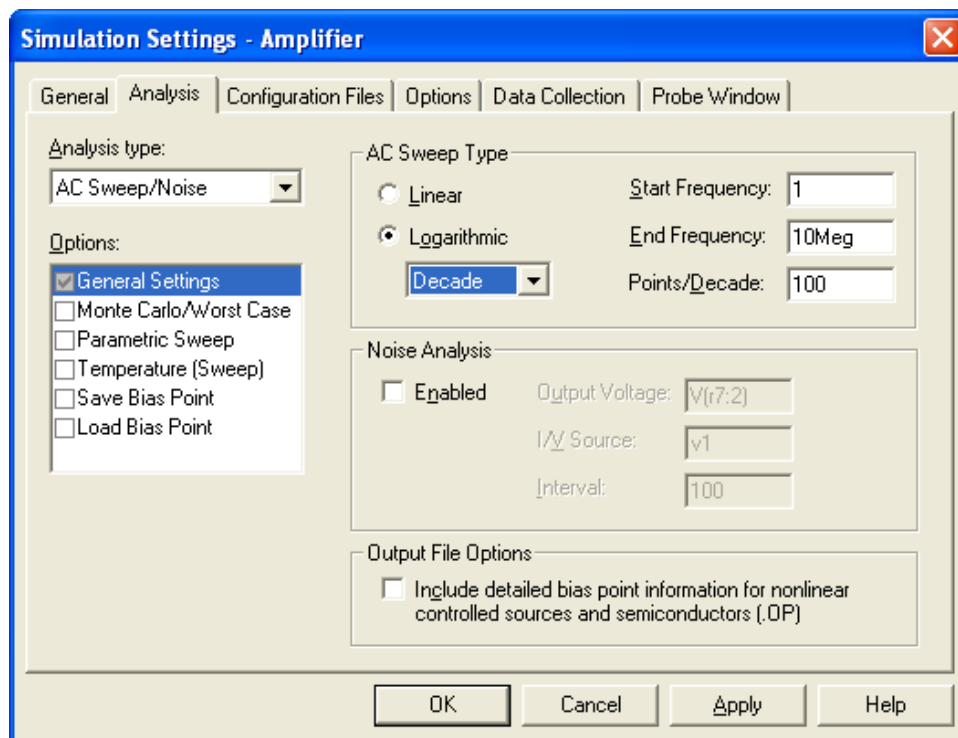
.AC [LIN] [OCT] [DEC] <n> <начална честота> <крайна честота>

където **n** – при LIN е линейна стъпка по честотата;

– при DEC (OCT) – задава се логаритмично изменение на честотата по декади или октави, като се дефинират брой точки на декада (октава).

В PSPICE : AC Sweep Analysis

На фиг. 7 е показан диалоговият прозорец за дефиниране на променливотоковия анализ в PSpice. Началната честота на честотния интервал се задава от 1 Hz или по-малка от 1 Hz, но не 0 Hz (сигнал с честота 0 е постоянен ток).



Фиг. 7. Диалогов прозорец за дефиниране на АС анализ

5.2. Дефиниране на променливотоков източник на сигнал за AC анализа

Описанието на независимите източници на променливотоков сигнал, подавани на входа на аналоговата схема, при извършване на променливотоков анализ е дадено в Таблица 1.





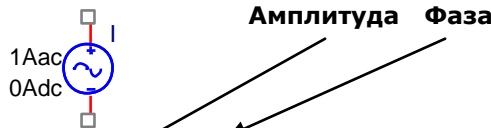



Независим източник на променливо напрежение								Да се използва при извършване на:
<p>VAC</p> 								Само променливотоков анализ
Reference	Value	ACMAG	ACPHASE	DC	Location X-Coordinate	Location Y-Coordinate	Source Part	
V	VAC	1Vac		0Vdc	700	120	VAC.Normal	
<p>VSRC</p> <p>DC =  V</p> <p>AC = </p> <p>TRAN = </p> <p>АC стойност</p>								Множество анализи, включващи променливотоков анализ
Reference	Value	AC	DC	Location X-Coordinate	Location Y-Coordinate	Source Part	TRAN	
V	VSRC			710	120	VSRC.Normal		
Независим източник на променлив ток								Да се използва при извършване на:
<p>IAC</p> 								Само променливотоков анализ
Reference	Value	ACMAG	ACPHASE	DC	Location X-Coordinate	Location Y-Coordinate	Source Part	
I	IAC	1Aac		0Adc	720	120	IAC.Normal	
<p>ISRC</p> <p>DC =  I</p> <p>AC = </p> <p>TRAN = </p> <p>АC стойност</p>								Множество анализи, включващи променливотоков анализ
Reference	Value	AC	DC	Location X-Coordinate	Location Y-Coordinate	Source Part	TRAN	
I1	ISRC			810	110	ISRC.Normal		

Таблица 1. Независими променливотокови аналогови източници на сигнал

6. Получаване на честотните характеристики в PSPICE

6. 1. Изрази, дефинирани в графичния постпроцесор за получаване на честотните характеристики

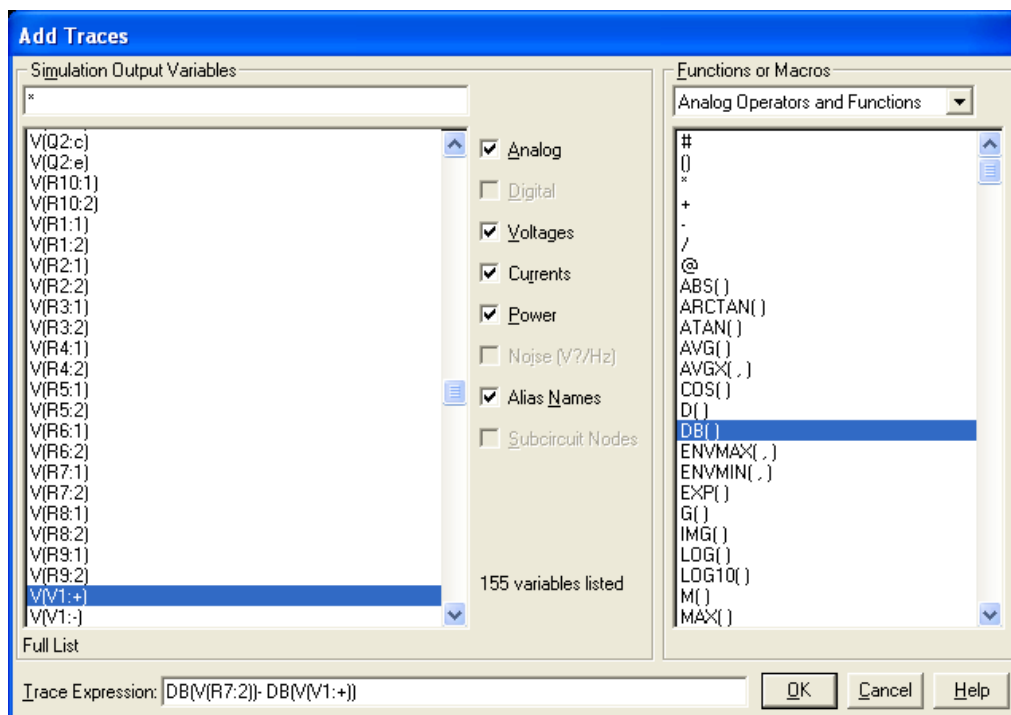
AЧХ, K_u, пъти	$V(\text{изх. възел})/V(\text{вх. възел})$
AЧХ, K_u, dB	$DB(V(\text{изх.в.})) - DB(V(\text{вх.въз.}))$
K_I, пъти	$I(R_T) / I(V_{in})$
ФЧХ	$VP(\text{изх. възел}) - VP(\text{вх. възел})$
$R_{вх.}$	$V(\text{вх. възел}) / I(V_{in})$
$R_{изх}$	$V(V_3) / I(V_3)$

където V_3 е източник на сигнал, поставен в изхода на схемата на мястото на товарния резистор, а R_T е товарното съпротивление на усилвателната схема.

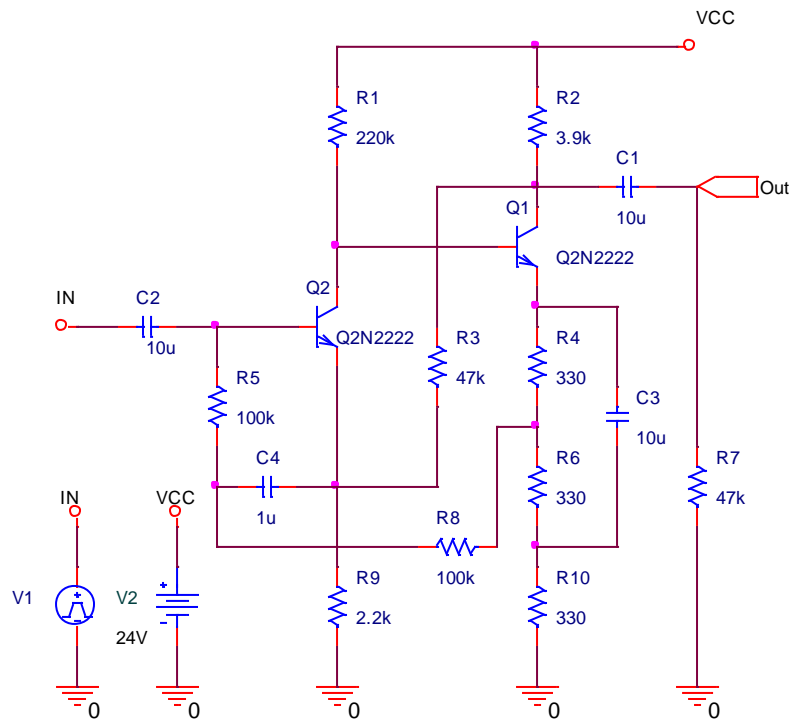
На фиг.8 е показан диалоговият прозорец за дефиниране на графиките на честотните характеристики в PSpice, като е даден пример за получаване на AЧХ в dB.

6. 2. Честотни характеристики на усилвателна схема

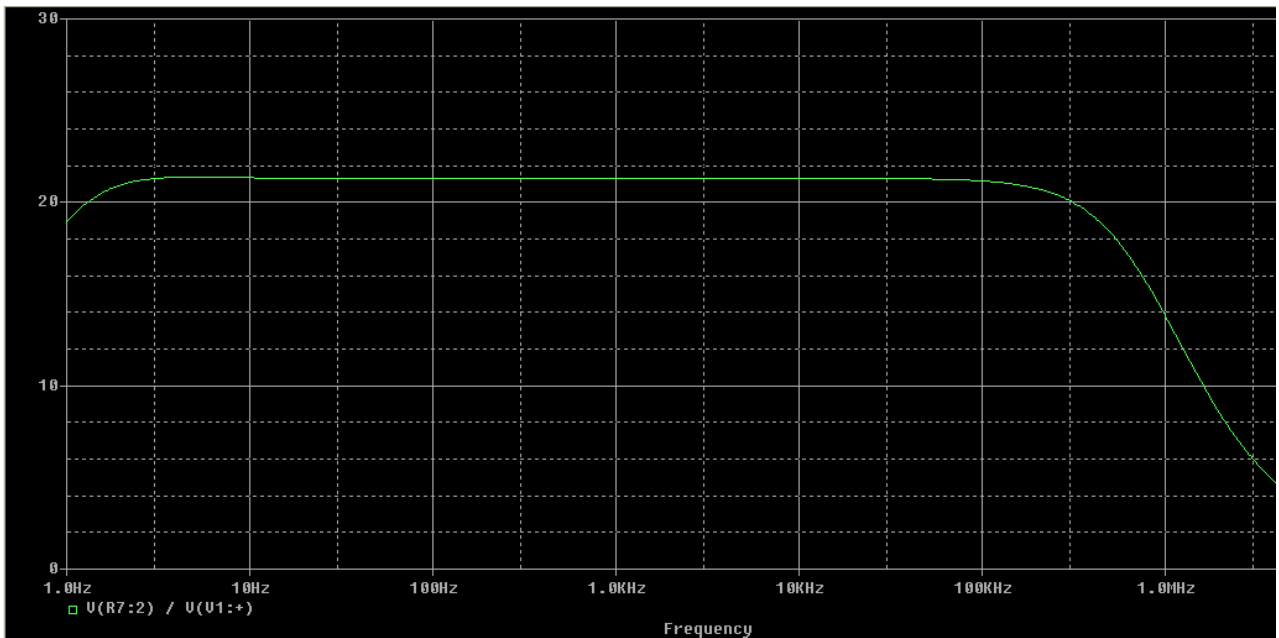
На фиг. 9 е показана схемата на усилвател, чийто честотни характеристики са показани както следва: фиг. 10 и фиг.11 – AЧХ в пъти и в dB; фиг. 12 - ФЧХ; фиг. 13 – коефициент на усилване по ток; фиг.14 – входно съпротивление.



Фиг. 8. Диалогов прозорец за дефиниране на честотна характеристика в графичния постпроцесор

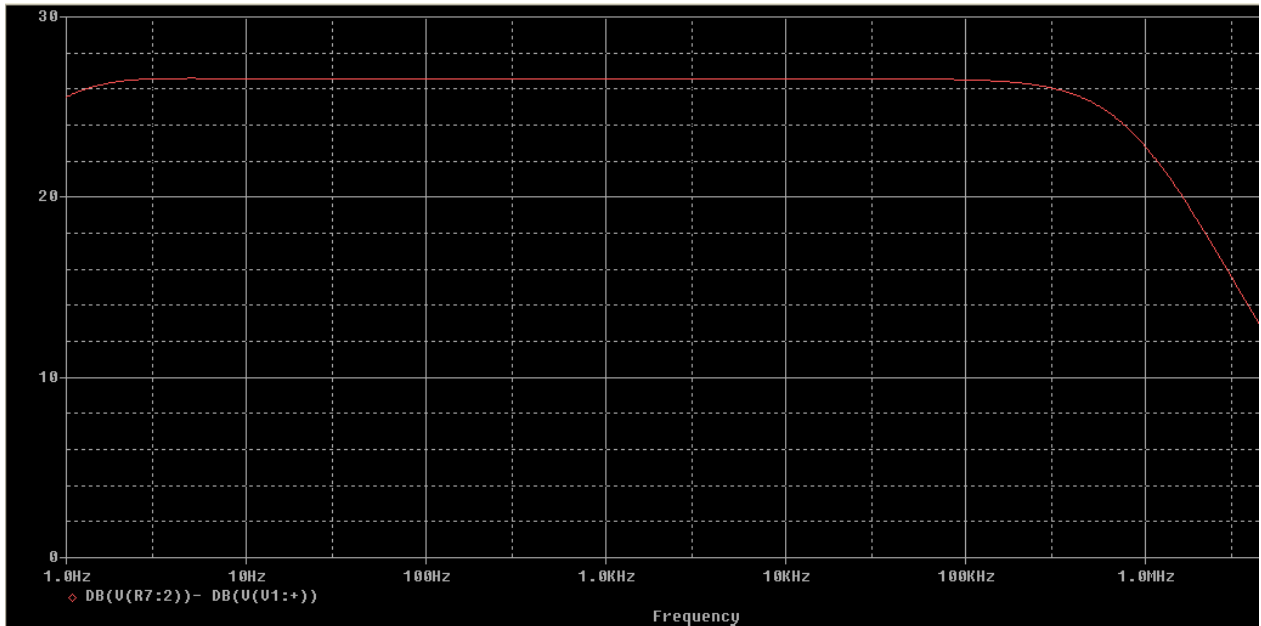


Фиг. 9. Схема на усилвател с биполярни транзистори



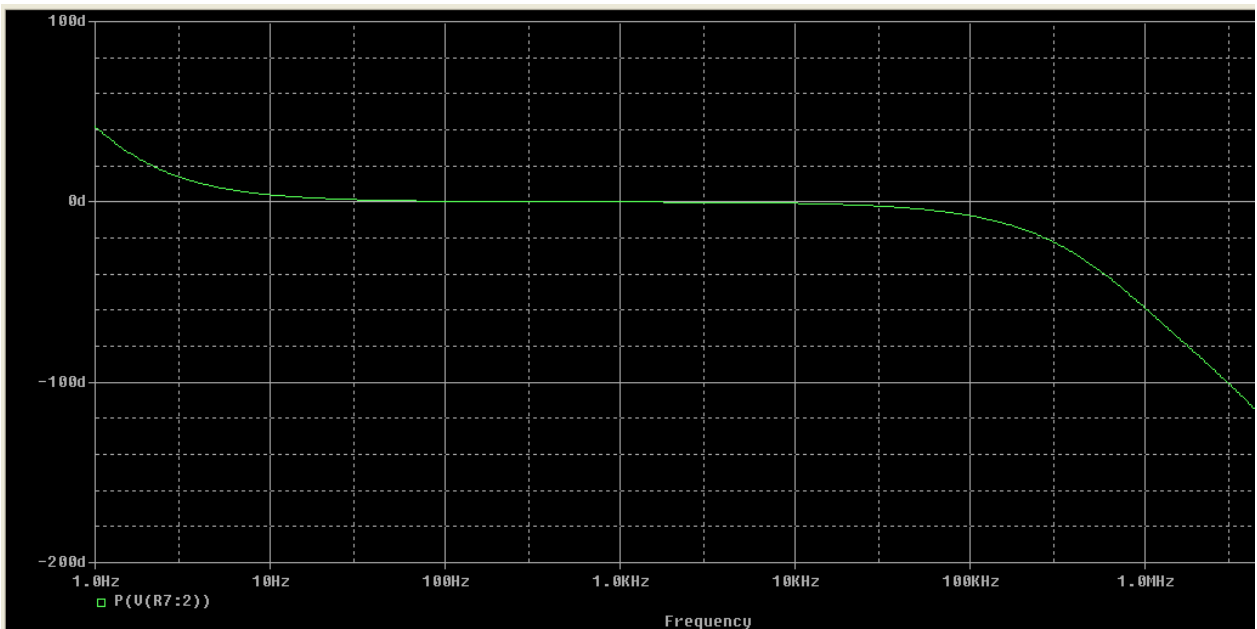
Израз в PSpice: $V(\text{изх. възел}) / V(\text{вх. възел})$

Фиг. 10. АЧХ на усилвателна схема, дефинирана в пъти



Израз в PSpice: DB(V(изх.в.)) - DB(V(вх.въз.))

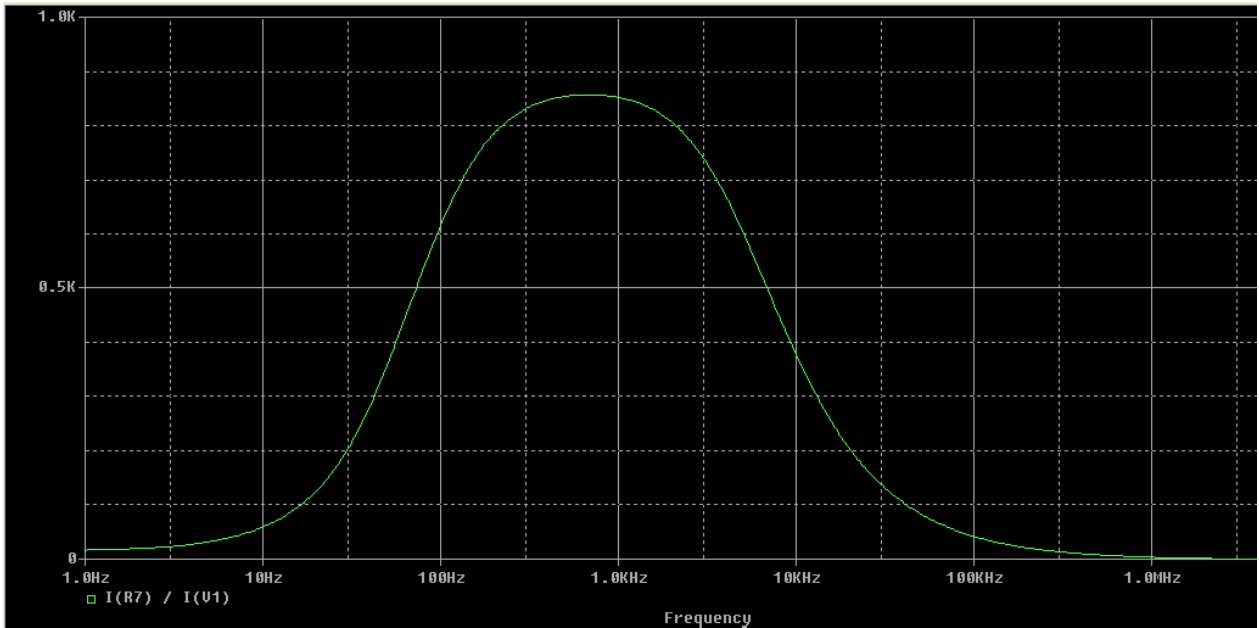
Фиг. 11. АЧХ на усилвателна схема, дефинирана в децибели



Израз в PSpice: VP(изх. възел) - VP(вх. възел)

Фиг.12. ФЧХ на усилвателна схема

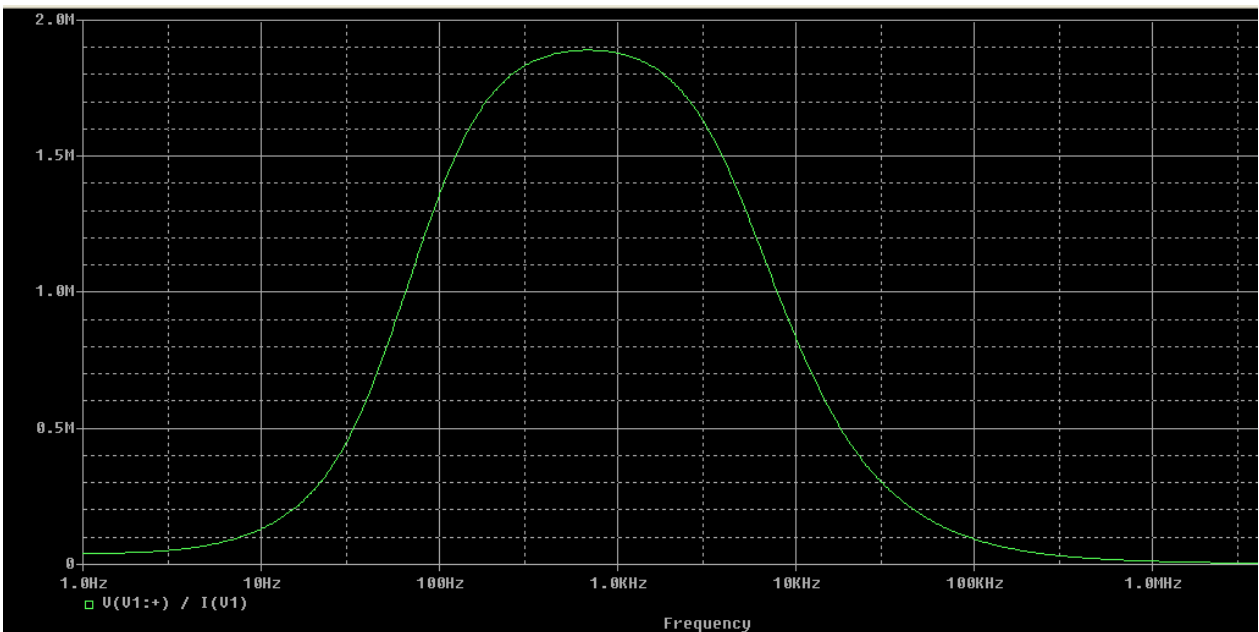
В случаите, когато не е зададена дефазация на входния източник на сигнал, дефинирането на ФЧХ може да се извърши с по-опростен израз **VP(изх. възел)**.



Израз в PSPice: $I(R_T) / I(V_{in})$

R_T е товарното съпротивление на усилвателната схема

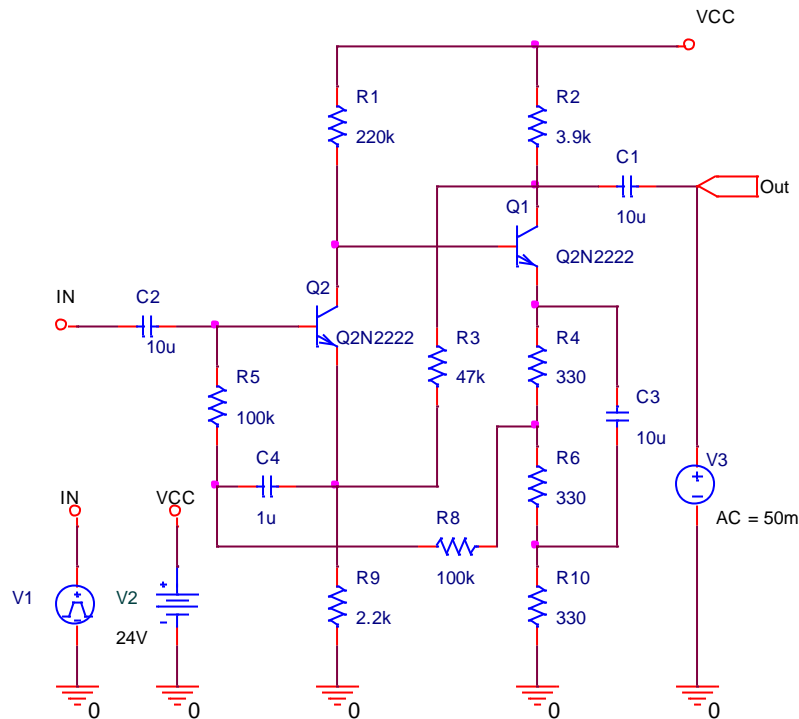
Фиг. 13. Коефициент на предаване по ток на усилвателна схема



Израз в PSPice: $V(\text{вх. възел}) / I(V_{in})$

Фиг. 14. Входно съпротивление на усилвателна схема

На фиг. 15. е показан начинът на определяне на изходното съпротивление на усилвателна схема.



Фиг. 15. Схема за определяне на изходното съпротивление

За определяне на изходното съпротивление е необходимо е да се изпълни следният алгоритъм:

- да се замени товарният резистор на схемата с независим източник на напрежение (V3 на фиг. 15);
- да се даде входът на схемата на късо т.е. стойността на независимия източник на напрежение V1 на входа по променлив ток да бъде 0 V;

PSpiceOnly	Reference	Value	AC	Bias	Value	Power	DC	Location X-Coordinate	Location Y-Coordinate	PER	PW	Source Part	TD	TF	TR	V1	V2
TRUE	V1	VPULSE	0		0W		0	210	430	1m	0.35m	VPULSE.Normal	0	100u	100u	0	50m

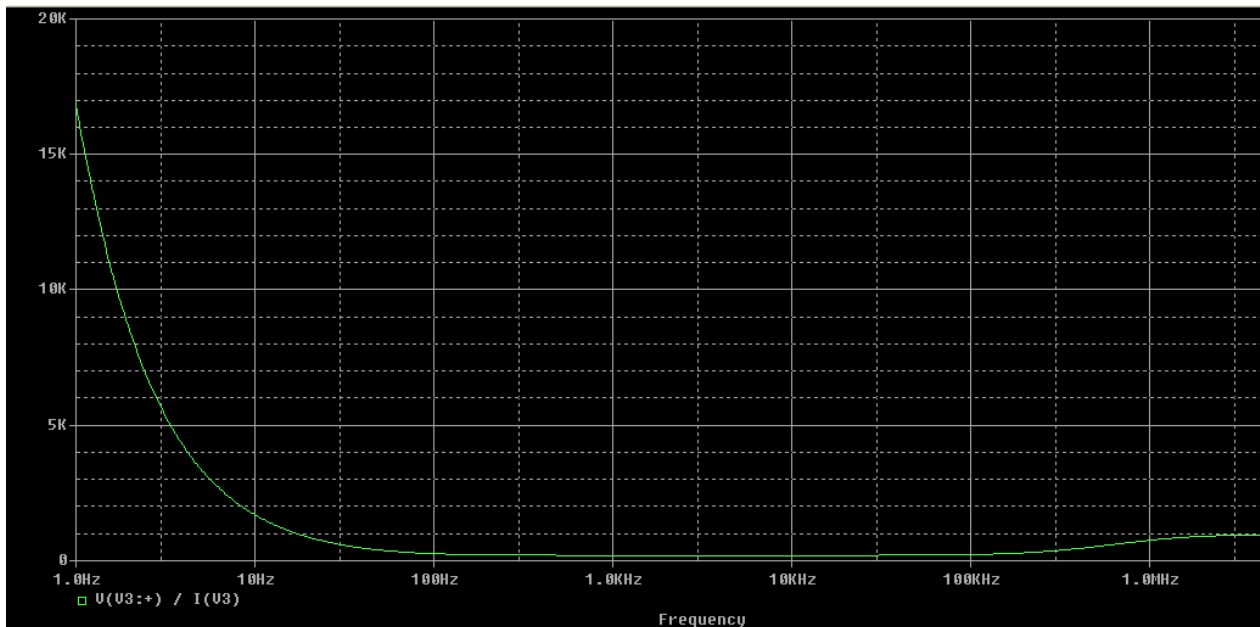
вход на схемата на късо - 0 V

- да се зададе стойност по променлив ток на независимия източник на напрежение V3 в изхода;

PSpiceOnly	Reference	Value	AC	DC	Location X-Coordinate	Location Y-Coordinate	Source Part	TRAIL
TRUE	V3	VSRC	50m		520	370	VSRC.Normal	

стойност на напрежението в
изхода на схемата

- да се извърши променливотоков анализ, при който се изследва схемата от изхода към входа;
- да се получи графиката на изходното съпротивление на схемата, като в диалоговия прозорец на фиг. 10 се въведе израза: $V(V_3:+)/I(V_3)$, където V_3 е независимият източник на напрежение, включен в изхода на схемата на мястото на товарния резистор;
- да се определи изходното съпротивление на схемата за определена честота, например 1kHz.



Израз в PSpice: $V(V_3) / I(V_3)$

V_3 е източник на сигнал, включен в изхода на схемата

Фиг. 16. Изходно съпротивление на усилвателна схема