

ЛЕКЦИЯ 8

гл.ас. д-р СТЕЛА СТЕФАНОВА

СЪЩНОСТ НА ШУМОВИЯ АНАЛИЗ. ИЗСЛЕДВАНЕ НА НИВОТО НА ВЪТРЕШНИЯ ШУМ НА ЕЛЕКТРОННА СХЕМА

1. Шум. Източници на шум в електронна схема

1.1. Понятие за шум

- Паразитни сигнали, наслагващи се върху полезния сигнал, които предизвикват нежелани ефекти при обработката на сигналите в електронната схема.

1.2. Видове шумови сигнали

Според физическата същност, шумовете биват:

а) Топлинен шум

- предизвиква се от хаотичното движение на токоносителите в обема на всеки електропровеждащ материал със съпротивление R ;
- правопрпорционален на температурата и клони към нула в случая когато температурата клони към нула;
- има равномерен спектър в широк честотен обхват.

б) Дробов шум

- винаги се свързва с протичането на постоянен ток;
- представлява флуктуации на външния ток, които изглежда постоянен, а всъщност се състои от голям брой случайни независими токови импулси;
- присъства при полупроводниковите елементи – диоди, транзистори;
- има равномерен спектър в широк честотен обхват.

в) Шум със спектрална плътност ($1/f$)

- определя се от рекомбинационните процеси;
- зависи от качеството на обработка на преходите;
- спектърът е в областта на звуковите честоти.

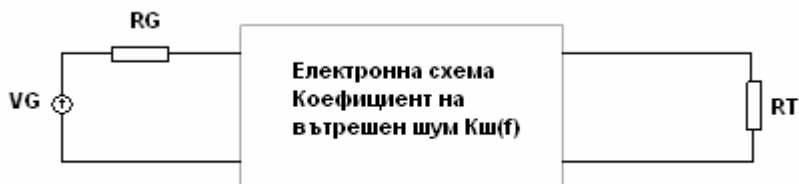
1.3. Източници на шум

Шумовите явления се дължат на малки флуктуации на токовете и напреженията, генерирани от електронните елементи. Елементите, които

генерират шум в електронните схеми са резисторите и полупроводниковите елементи.

2. Същност на шумовия анализ

Шумът в електронната схема зависи от постояннотоковата работна точка и от честотата на сигнала. Поради тази причина шумовият анализ се извършва едновременно с променливотоковия анализ.



Фиг. 1. Коефициент на вътрешен шум на електронна схема

Коефициентът на вътрешен шум на електронна схема се дефинира с израза:

$$K_{\text{шум}} = \frac{S_{\text{увхекв}}}{S_{\text{уг}}} = \frac{\text{INOISE}^2}{4kTR_G},$$

където $S_{\text{увхекв}}$ е еквивалентната спектрална плътност на шума на входа с дименсия $[V^2/\text{Hz}]$;

$S_{\text{уг}}$ е спектралната плътност на шума на генератора;

k – константа на Болцман;

$T = 300 \text{ K}$ – номиналната абсолютна температура;

R_G - вътрешното съпротивление на входния източник на сигнал.

PSPICE изчислява величините **INOISE** и **ONOISE**, които представляват корен квадратен от спектрална плътност на шума на входа $S_{\text{увхекв}}$, съответно спектрална плътност на шума на изхода на схемата $S_{\text{уизх}}$, $[V^2/\text{Hz}]$:

$$\text{INOISE} = \sqrt{S_{\text{увхекв}}}, \text{ V} / \sqrt{\text{Hz}};$$

$$\text{ONOISE} = \sqrt{S_{\text{уизх}}}, \text{ V} / \sqrt{\text{Hz}}$$

Входният източник на променливотоковия анализ определя възела, за който се изчислява еквивалентната спектрална плътност на входния шум. Той се определя като коефициента на шума на изхода разделен на коефициента на предаване по напрежение между изхода и входа:

$$V(\text{INOISE}) = \frac{V(\text{ONOISE})}{\text{gain}}$$

Коефициентът (спектралната плътност) на шума, генериран от всеки източник на шум, се изчислява за всяка честота от променливотоковия

анализ и се разпространява към изходните възли на схемата. В посочения изходен възел всички коефициенти на шума се сумират средно квадратично

$$V(\text{ONOISE}) = \sqrt{\text{NTOT}(\text{ONOISE})}$$

където $\text{NTOT}(\text{ONOISE}) = \sum_{\text{device}} \text{NTOT}(\text{device})$ е сумарният (общият)

шум, внасян от всички полупроводникови прибори и елементи в схемата, а $\text{NTOT}(\text{device_name})$ е шумовата съставка, разпространена към изхода, която се генерира от всеки елемент.

В Таблица 1 са показани видовете източници на шум и начина на изчислението им в PSpice.

Таблица 1

To view this...	Use this output variable...	Which is represented by this equation¹...
Flicker noise for a device	NFID(<i>device_name</i>) NFIB(<i>device_name</i>)	$\text{noise} \propto k_f \cdot \frac{I^{n_f}}{f^b}$
Shot noise for a device	NSID(<i>device_name</i>) NSIB(<i>device_name</i>) NSIC(<i>device_name</i>)	For diodes and BJTs: $\text{noise} \propto 2qI$ For GaAsFETs, JFETs, and MOSFETs: $\text{noise} \propto 4kT \cdot \frac{dI}{dV} \cdot \frac{2}{3}$
Thermal noise for the RB, RC, RD, RE, RG, or RS constituent of a device, respectively	NRB(<i>device_name</i>) NRC(<i>device_name</i>) NRD(<i>device_name</i>) NRE(<i>device_name</i>) NRG(<i>device_name</i>) NRS(<i>device_name</i>)	$\text{noise} \propto \frac{4kT}{R}$
Thermal noise generated by equivalent resistances in the output of a digital device	NRLO(<i>device_name</i>) NRHI(<i>device_name</i>)	$\text{noise} \propto \frac{4kT}{R}$
Total noise for a device	NTOT(<i>device_name</i>)	Sum of all contributors in <i>device_name</i>
Total output noise for the circuit	NTOT(ONOISE)	$\sum_{\text{device}} \text{NTOT}(\text{device})$
RMS-summed output noise for the circuit	V(ONOISE)	RMS sum of all contributors $(\sqrt{\text{NTOT}(\text{ONOISE})})$
Equivalent input noise for the circuit	V(INOISE)	$\frac{V(\text{ONOISE})}{\text{gain}}$

3. Дефиниране на шумов анализ в PSpICE

3.1. Команда за анализ на нивото на вътрешния шум

.NOISE V(<възел>[, <възел >]) <име на входен източник> [*n*]

В таблица 2 са описани променливите, които трябва да бъдат зададени при дефиниране на шумовия анализ.

Таблица 2

ПРОМЕНЛИВА НА АНАЛИЗА	ОПИСАНИЕ НА ПРОМЕНЛИВАТА
Output Voltage	Изходна променлива по напрежение (възлов потенциал или напрежение между два възела $V(<възел>[, <възел >])$), в която трябва да се изчисли спектралната плътност на шума в изхода
I/V Source	Име на независим източник на ток/ напрежение, в който се определя еквивалентната спектрална плътност на шума на входа
Interval	цяло число <i>n</i> , дефиниращо за всяка <i>n</i> -та стойност на честота в изходния файл да се извежда информация за коефициента на шума, внасян от всеки източник на шум, както и за сумарния коефициент на шум в схемата. Ако променливата не е специфицирана в изходния файл не се извежда подробна информация за източниците на шум

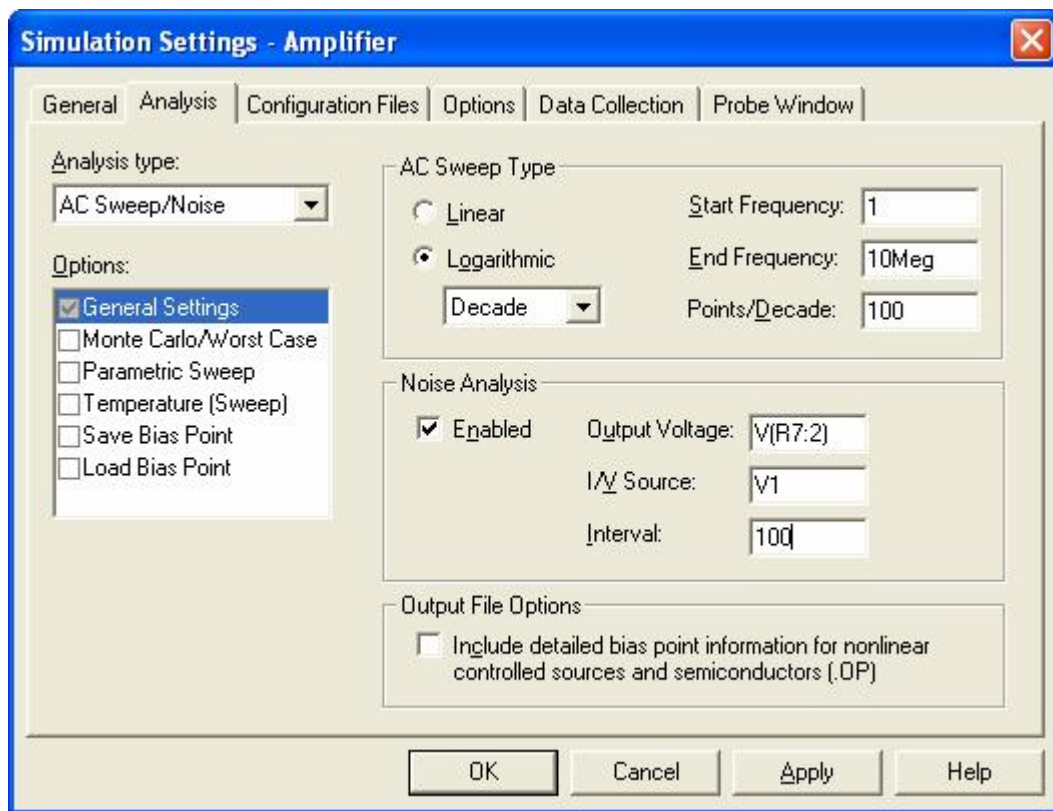
Примери:

.NOISE V(N000123) Vin

.NOISE V(12,13) Isvc 100

3.2. Диалогов прозорец за дефиниране на шумов анализ

Диалоговият прозорец за дефиниране на променливотоковия и шумовия анализ е показан на Фиг. 2.



Фиг.2. Диалогов прозорец за дефиниране на променливотоков и шумов анализ

3. Определяне на шумовото напрежение в PSpice

С цел да се оцени стойността на шумовото напрежение в една електронна схема, е необходимо да се осредни стойността на спектралната плътност на шума в определен честотен интервал.

3.1. Определяне на шумовото напрежение чрез усредняване в зададен честотен диапазон

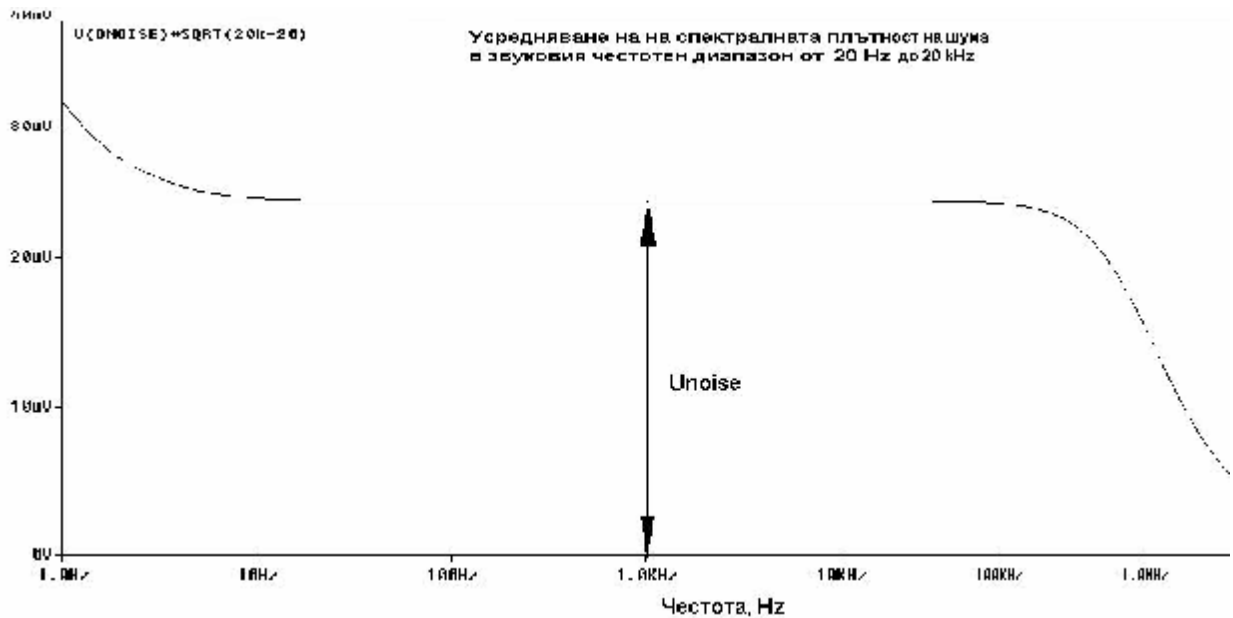
В общия случай честотният интервал $[f_{\min}, f_{\max}]$, в който се осреднява спектралната плътност на шума, за да се определи шумовото напрежение, е звуковият обхват обикновено от 20Hz до 20kHz. Шумовото напрежение във [V] се получава като се използва зависимостта:

$$U_{\text{noise}} = V(\text{ONoise})\sqrt{(f_{\max} - f_{\min})} , [\text{V}]$$

Изразът, който трябва да се запише в полето на графичния постпроцесор PROBE е:

$$V(\text{ONoise}) * \text{SQRT}(20000-20)$$

Идеята на подхода и начина на определяне на шумовото напрежение е илюстрирана на Фиг. 3.



Фиг. 3. Определяне на шумовото напрежение чрез усредняване в зададен честотен диапазон

3.2. Определяне на шумовото напрежение на базата на числено интегриране

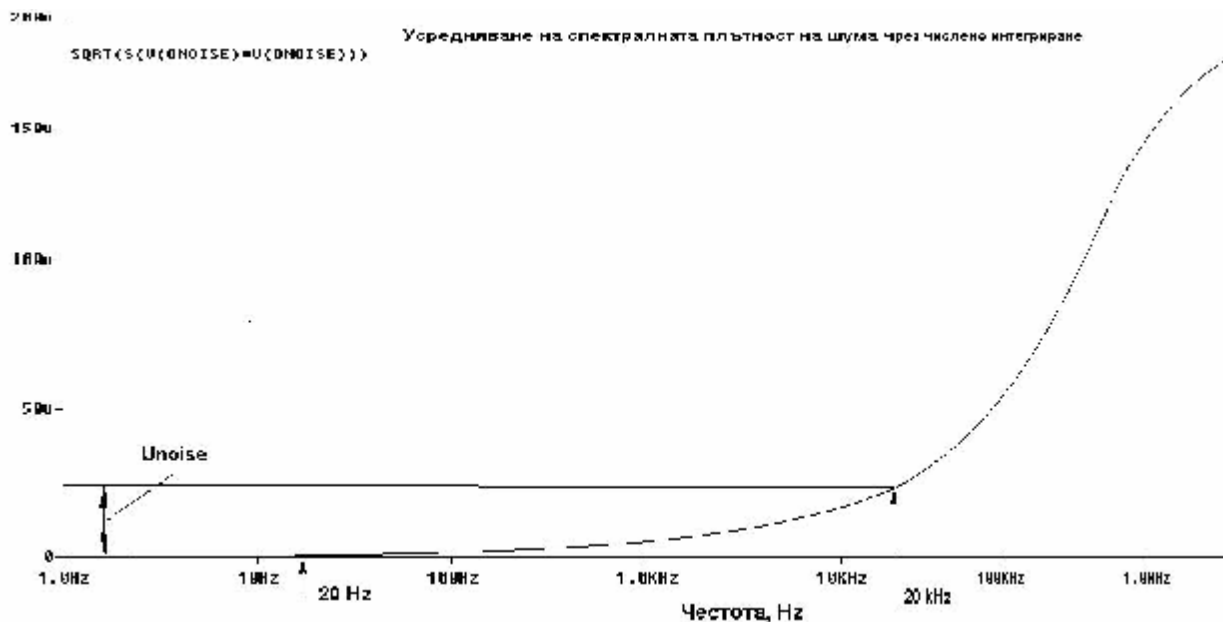
В честотния интервал $[f_{\min}, f_{\max}]$, се извършва числено интегриране с цел да се усредни спектралната плътност на шума и да се определи шумовото напрежение. Обикновено се използва звуковият обхват от 20Hz до 20kHz. Шумовото напрежение във [V] се получава като се използва зависимостта:

$$U_{\text{noise}} = \sqrt{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} (V(\text{ONNOISE}) * V(\text{ONNOISE})) df}, \text{ [V]}$$

Изразът, който трябва да се запише в полето на графичния постпроцесор PROBE е:

$$\text{SQRT(S(V(ONNOISE)*V(ONNOISE)))}$$

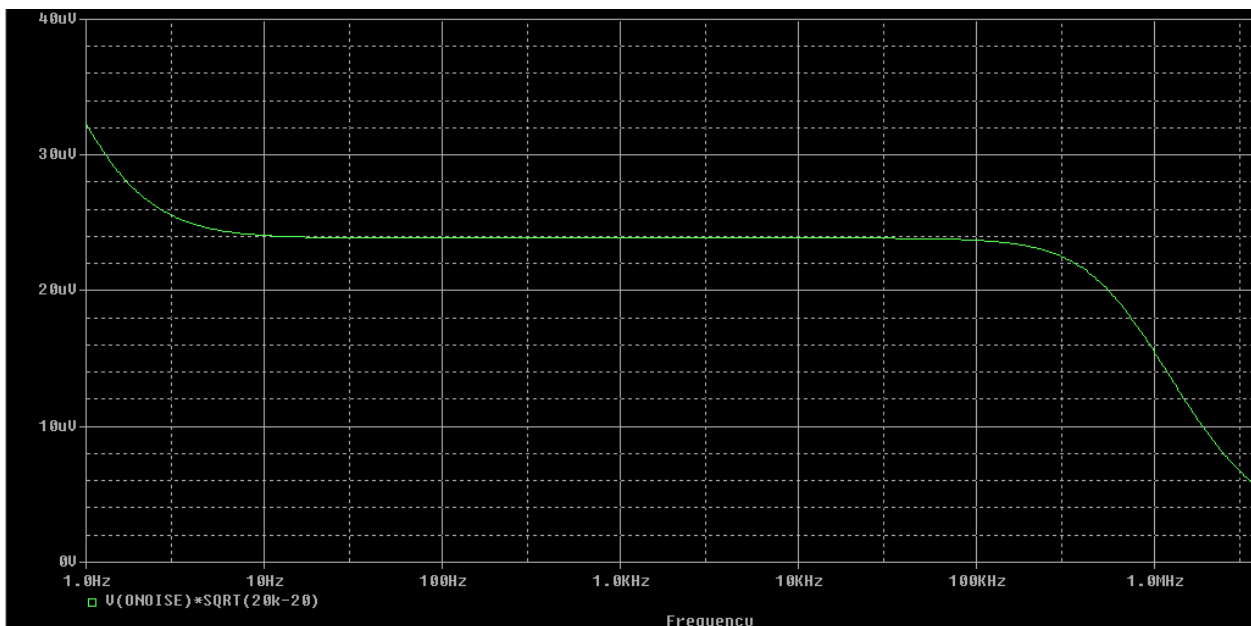
Идеята на подхода и начина на определяне на шумовото напрежение е илюстрирана на Фиг. 4.



Фиг. 4. Определяне на шумовото напрежение чрез числено интегриране

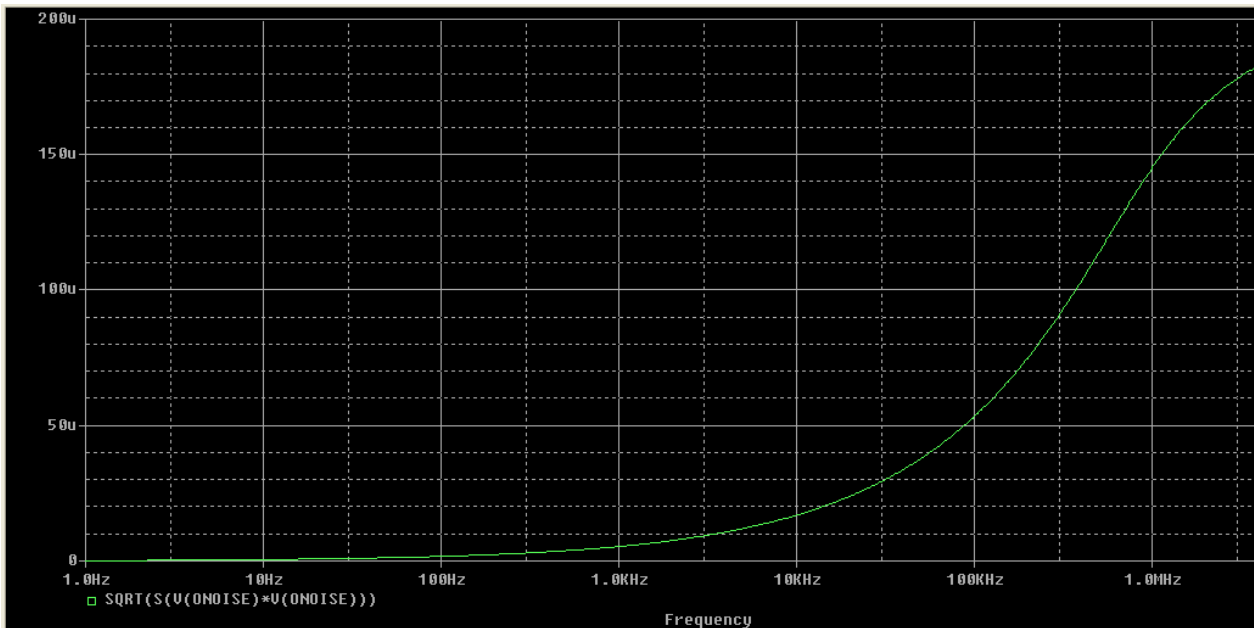
4. Резултати от шумов анализ на усилвателна схема

На Фиг. 5 е показана графичната зависимост на спектралната плътност на шума, определена по начина, описан в т.3.1. Шумовото напрежение се отчита за определена честота в линейния участък на графиката.



Фиг. 5. Определяне на шумовото напрежение на усилвателна схема чрез усредняване в зададен честотен диапазон

На Фиг. 6 е показана графичната зависимост на спектралната плътност на шума, определена по начина, описан в т.3.2. Шумовото напрежение се определя по начина, показан на Фиг.4, като първият маркер се позиционира в честота $f_{\min} = 20 \text{ Hz}$, а вторият – в честота $f_{\max} = 20 \text{ kHz}$. Разликата между двата маркера по ординатната ос представлява графично определено шумово напрежение във [V].



Фиг. 6. Определяне на шумовото напрежение на усилвателна схема чрез числено интегриране