

ЛЕКЦИЯ 8

доц. 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 - Thermal noise

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

б) Дробов (флукуационен) шум – Shot noise

- винаги се свързва с протичането на постоянен ток;
- представлява флукуации на външния ток, който 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 $1/f$ (фликер шум) - Flicker noise

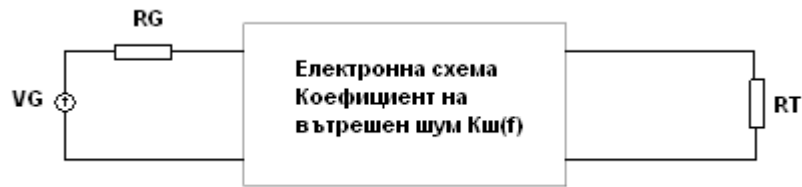
- определя се от рекомбинационните процеси;
- зависи от качеството на обработка на преходите;
- спектърът е в областта на звуковите честоти.

1.3. Източници на шум

Шумовите явления се дължат на малки флукуации 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:

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

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

$S_{\text{ур}}$ е спектралната плътност на шума на входния източник на сигнал;

k – константа на Болцман;

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

R_G - вътрешното съпротивление на входния източник на сигнал.

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

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

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

Входният източник на променливотоковия анализ определя възела, за който се изчислява еквивалентната спектрална плътност на шума на входа $S_{\text{увхекв}}$. В PSpice величината INOISE се определя като корен квадратен от спектралната плътност на шума на изхода $\sqrt{S_{\text{уизх}}}$ т.е. величината ONOISE, се разделя на коефициента на предаване по напрежение между изхода и входа. В PSpice се използва следният израз:

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

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 $NTOT(device_name)$ 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 equation'...
Flicker noise for a device	NFID(<i>device_name</i>) NFIB(<i>device_name</i>)	$noise \propto k_f \cdot \frac{I^{\alpha}}{f^{\beta}}$
Shot noise for a device	NSID(<i>device_name</i>) NSIB(<i>device_name</i>) NSIC(<i>device_name</i>)	For diodes and BJTs: $noise \propto 2qI$ For GaAsFETs, JFETs, and MOSFETs: $noise \propto 4kT \cdot \frac{dI}{dV} \cdot \frac{2}{3}$
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>)	$noise \propto \frac{4kT}{R}$
Thermal noise generated by equivalent resistances in the output of a digital device	NRLO(<i>device_name</i>) NRHI(<i>device_name</i>)	$noise \propto \frac{4kT}{R}$
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)	$\sum_{device} NTOT(device)$
RMS-summed output noise for the circuit	V(ONoise)	RMS sum of all contributors ($\sqrt{NTOT(ONoise)}$)
Equivalent input noise for the circuit	V(INoise)	$\frac{V(ONoise)}{gain}$

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, за който се определя еквивалентната спектрална плътност на шума на входа
Interval	цяло число n , дефиниращо за всяка n-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 зададена, в изходния файл не се извежда подробна информация за източниците на шум.

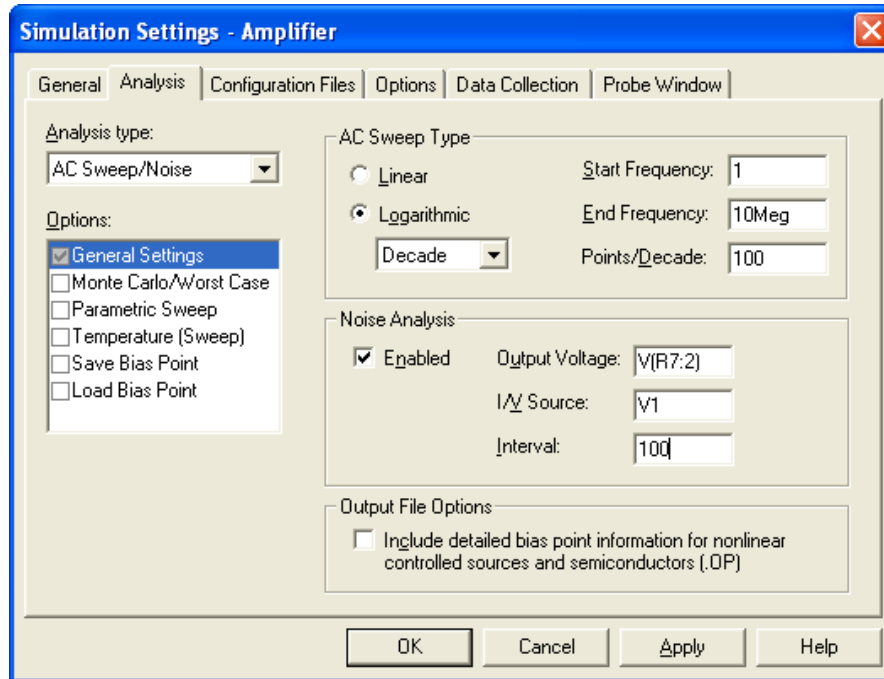
Примери:

.NOISE V(N00123) 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

4. Определяне на шумовото напрежение в PSpice

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

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

Определянето на шумовото напрежение в общия случай се извършва в честотен интервал $[f_{\min}, f_{\max}]$, в който се усреднява спектралната плътност на шума. Обикновено това е звуковият обхват от 20Hz до 20kHz. Шумовото напрежение във [V] се получава като се използва следната зависимост:

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

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

4.2. Определяне на шумовото напрежение на базата на числено интегриране

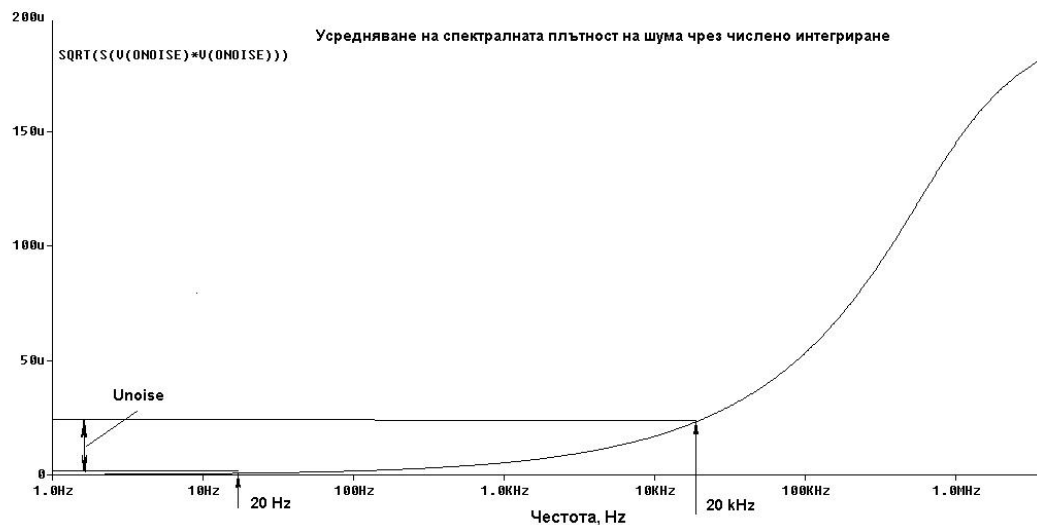
В честотния интервал $[f_{min}, f_{max}]$, се извършва числено интегриране с цел да се усредни спектралната плътност на шума и да се определи шумовото напрежение. Обикновено се използва звуковият обхват от 20Hz до 20kHz. Шумовото напрежение във [V] се получава като се използва зависимостта:

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

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

SQRT(S(V(ONoise)*V(ONoise)))

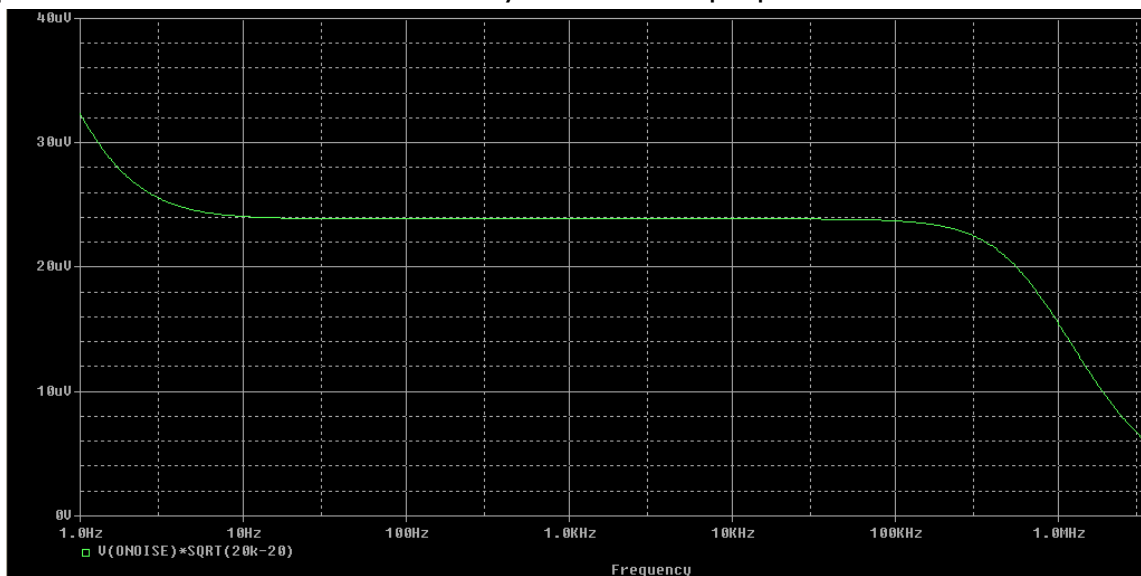
Идеята на подхода и начина на определяне на шумовото напрежение е илюстрирана на Фиг. 4.



Фиг. 4. Определяне на шумовото напрежение чрез числено интегриране

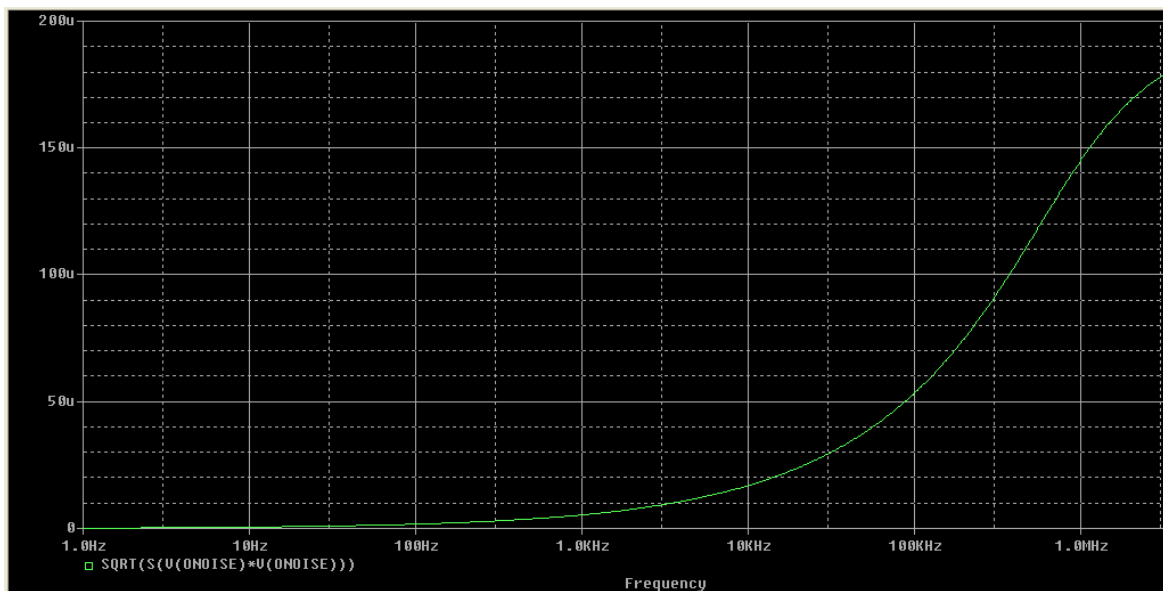
5. Резултати от шумов анализ на усилвателна схема

На Фиг. 5 е показана графичната зависимост на спектралната плътност на шума, определена по начина, описан в т.4.1. 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 с подхода, описан в т.4.2. Шумовото напрежение се определя по начина, показан на Фиг.4, като първият маркер се позиционира в честота $f_{min} = 20$ Hz, а вторият – в честота $f_{max} = 20$ kHz. Разликата между двата маркера по ординатната ос представлява шумовото напрежение във [V], определено графично.



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