

гл.ас. Димитър Георгиев Тодоров - ТУ - София

Увод

В съвременния процес на компютаризация на измервателните процеси, се по-голямо внимание се обръща на подобряване разрешителната способност на измервателните апарати. Чисто теоритично този проблем е разгледан в [1], където ограниченията се обуславят от ентропията на измерваната величина. От гледна точка на практиката критерия за постигане на желаната разрешителна способност се определя от шума на измервателните преобразователи. Целта на настоящата работа е да се систематизират източниците на шум в I-V преобразовател, както и да се дадат практически препоръки относно пътищата за тяхното намаляване.

1. Източници на шум в електронните компоненти.

В [2,3,4] е направен подробен обзор на източниците на шум в усилвателните вериги и техните компоненти. Във зависимост от честотната лента, характера и произхода на шума, може да се направи следната систематизация :

1.1. Шумове с постоянна спектрална плътност (бял шум)

- надблюдават над честоти $W_f = 1 \text{ KHz} \div 100 \text{ KHz}$. Това са :

* Топлинен (Джонсанов) шум - дължащ се на топлинното хаотично движение на електроните в съпротивителния слой на материалите. Описва се с спектрална плътност на еквивалентен шумов

генератор на напрежение или ток и идеален еквивалентен нешумящ резистор.

$$/1/ \quad \overline{S_{v,n}(W)} = \frac{4 \cdot K \cdot \theta \cdot R}{1 + (W \cdot R \cdot C)^2} ; \quad \overline{S_{i,n}(W)} = \frac{4 \cdot K \cdot \theta}{R \cdot [1 + (W \cdot R \cdot C)^2]}$$

където: K - константа на Болцман $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ W.s/}^\circ\text{K}$; θ - температурата на физическата среда в $^\circ\text{K}$; C - паразитния (или паралелния) капацитет на нешумящия резистор; R - еквивалентния нешумящ резистор. W - измерваната честотна лента.

Ефективните стойности на шумовия ток и напрежение в честотната лента от $W1$ до $W2$ са:

$$/2/ \quad \overline{e_{n \text{ eff}}} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{W1}^{W2} \overline{S_{v,n}(W)} \cdot dW} ; \quad \overline{i_{n \text{ eff}}} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{W1}^{W2} \overline{S_{i,n}(W)} \cdot dW}$$

* Шотки (дробов) шум - дължи се на корпусколярния характер на ток, както и на случайна генерация или рекомбинация на електронни и дупки. Спектралната плътност и ефективната му стойност се описват с изразите:

$$/3/ \quad \overline{S_s(w)} = 2 \cdot q \cdot I ; \quad \overline{i_{s \text{ eff}}} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{W1}^{W2} \overline{S_s(w)} \cdot dW}$$

където: q - заряда на електрона $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; I - протичащия постоянен ток.

1.2. "Розов" шум - Статистически нестационарен шумов процес.

* "Фликер" шум - свързва се с флуктоацията в скоростта на повърхностните рекомбинации за MOS структури. В p-n преходите се

обуславя от флуктоацията на рекомбинационните токове в областта на пространствените заряди. С достатъчно за практиката приближение [4], може да се опише със спектрална плътност $S_f(W)$ изменяща се по закон приблизително $1/f$, спрямо спектралната плътност на "белия" шум (фиг.1).

$$/4/ \quad S_f(W) = \frac{c}{|w|^\alpha}$$

където: c - множител отчитащ скоростта на повърхностните и обменните рекомбинации; α - показател от 0.8 до 1.2 (обикновено се приема за единица).

Средната мощност на флуктоациите от генерирания обект е :

$$/5/ \quad P_f(W_1, W_2) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{W_1}^{W_2} S_f(W) \cdot dW = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{W_2}{W_1} \quad \text{за } W_2 \leq W_1$$

С W_f се означава честотата от която започва да се проявява фликер шума. За биполярните епитаксиални прибори $f \approx 1 \text{ kHz}$, а за JFET и MOSFET транзистори $f = 100 \text{ kHz}$.

* Въривен шум - дължи се на дефекти в кристалната структура на полупроводниковите прибори в областта на p-n преходите [4]. Изразява се в случайни импулси на тока с променлива продължителност и еднаква амплитуда.

Източниците на въривен шум все още не са изяснени напълно [2,3,4,5]. Направените изследвания в [42] показват, че въривните токове имат амплитуда 100-400 pA в зависимост от прибора, при средна продължителност около 10 ns и липса на дефекти в кристала.

С известно приближение за моментното надблюдение, въривния

шум може да се опише със спектрална плътност от вида [4] :

$$/6/ \quad S(\omega) = \frac{2 \cdot a / \nu}{1 + \omega^2 / 4 \cdot \nu^2}$$

където: ν - средното количество вървни преходи в секунда ; a - коефициент отразяващ дефектите в кристалната структура на прибора.

ω на фиг.1 се означава честотата от която започват да се проявяват вървините шумове. Според изследванията направени в [4], вървините шумове имат съществен дял в общата спектрална характеристика под 40 - 100 Hz.

2. Допълнителни шумове в електронметричните измерватели на ток.

на високоомни, свърх-високоомни резистори и изолационни материали, както и по повърхността на стъклените балони на свърх-високоомните резистори. Генерирания ток има силно изразен нестационарен характер. Средната стойност на квадрата за флуктоацията на зарядите и спектралната плътност в рамките на времето за наблюдение T_H е [3,4] :

$$/7/ \quad \overline{q^2} (T_H) = \frac{2 \cdot K \cdot \theta \cdot T_H}{R} ; \quad S(\omega, T_H) \approx \frac{8 \cdot K \cdot \theta}{\omega \cdot R} \left(1 - \frac{\sin \omega \cdot T_H}{\omega \cdot T_H} \right)$$

2.2. "Вибро" шум - проявява се при изменения в електростатичните потенциали, предизвикващи промяна в заряда на средата [6,7] и поява на ток. Особено ярко се изразява във високоомни резистивни вериги и във свърх-високоомни резистори затворени в стъклен балон.

$$/8/ \quad I_{vb} = U \cdot \frac{dC}{dt} \quad ; \quad I_{vb} = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

2.3. Трибоелектричен шумов ток - поражда се от заряди породени в точката на триенето на проводник-изолатор, както и в случаите на преместване на екраниран кабел. Периферните електрони от изолатора се отделят създавайки неравновесие в заряда, а от там и ток. Генерира се ток от порядъка на 10 fA до 10 pA, имащ единично въртивен характер със затихване определено от съпротивлението на веригата.

2.4. Токове от пиезоелектричен ефект - получават в случай на механични усилия върху изолационни материали (тефлон, керамика и др.). Генерираните токове са в обхвата от 10 fA до 10 pA [6].

2.5. Токове от електрохимичен ефект. Тяхната причина са всякакви видове флкси използвани при запояване и непочистени, както и от материала използван за печатна платка. При потенциални разлики от няколко mV се пораждат паразитни токове със стойност от 10 pA до 100 fA [3,6,7]. Подходяща мярка за тяхното намаляване е екипотенциалното екраниране.

2.6. Шум на спойките - проявява се като шумово напрежение със спектрална плътност $1/f$ [6]. Причините са термоелектродвижещите напрежения при съединяването на разнородни метали, както

между така и в елементите. Стойността му е от порядъка на μV .

3. Шумово изчисляване на I-V преобразовател

Обикновено в литературата [7.8] шумовите изчисления се правят само за Джонсановия шум, като се пренебрегват останалите

ток се получава:

$$i_{\Sigma, n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R_a} \left(\int_{e, n}^{W_e} S(w) dw + \int_{f, n}^{W_f} S(w) dw + \int_{N, n}^{W_b} S(w) dw \right)$$

където $S(w)$ са приведените спектрални плътности към входа съответно за:

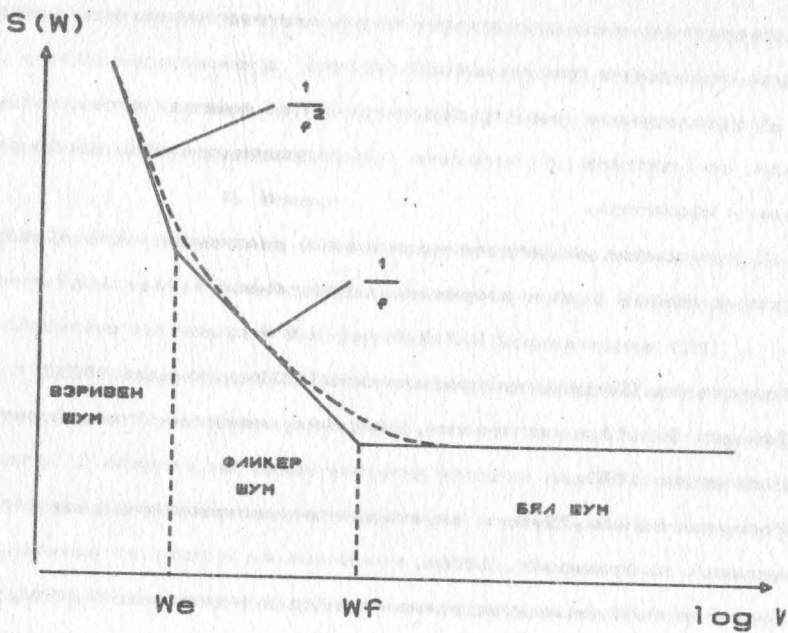
$S_{e, n}(w)$ - спектралните плътности на вериените шумове в честотната лента определена от периода на надблюдение T_n и горните гранични честоти W_e на тяхното действие.

$S_{f, n}(w)$ - спектралните плътности на фликер шумовете в честотните ленти от W_e до W_f за тяхното проявление.

$S_{N, n}(w)$ - спектралните плътности на "белите" шумове в честотната лента от W_f на проявяване за фликер шумовете до горната еквивалентна гранична честота на I-V преобразователя.

R_a - еквивалентното съпротивление приведено към входа.

Така получения шумов ток е само част от действително действащия. Към него се прибавят и шумовете описани в 2, които



ФИГ. 1

