

ОПТИМИЗИРАНЕ ПЛОЩТА НА ФОТОПРИЕМНИКА ПРИ КОМБИНАЦИЯТА
ФОТОДИОД – ОПЕРАЦИОНЕН УСИЛВАТЕЛ

инж. Петър Венков Божилов

Институт по Роботизирани Системи БАН

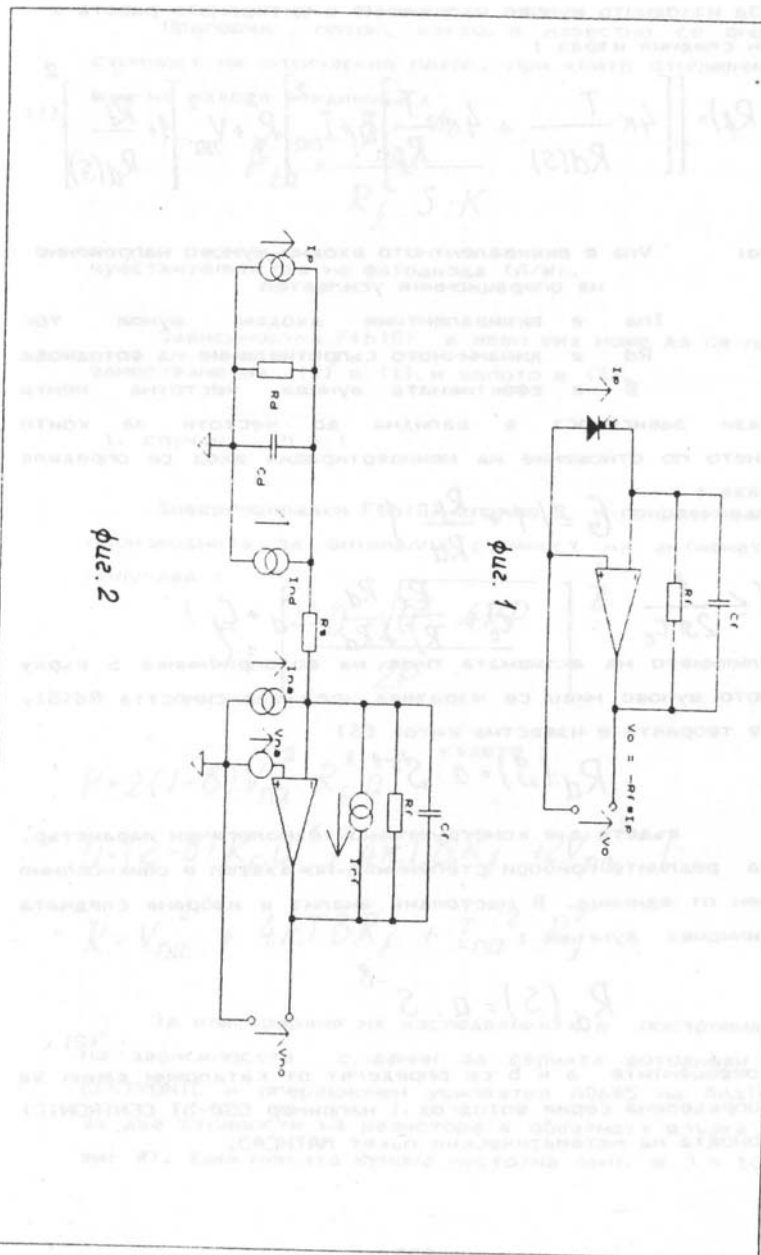
Филиал Пловдив

доц. ктн. Росица Дойчинова

Технически университет София

Проблемите на комбинацията фотодиод-операционен усилвател като високочувствителен преобразувател на оптическа мощност в напрежение са дискутирани в редица работи досега [1,2]. Но ако конструкторите не могат да направят подходящ анализ и избор на компоненти за тези схеми, то те често могат да бъдат разочаровани от резултатите. В тази насока статията показва как да се проектира основната форма на тази комбинация (трансимпенденсния усилвател фиг.1) по отношение на оптимален избор на активна площ на фотоприемника и резистора в обратната връзка.

В практиката често стои задачата за регистриране на равномерен оптически поток. Тогава възниква въпроса каква да бъде активната площ на фотоприемника за постигане на максимално отношение сигнал-шум. Увеличаването на площта води до увеличаване на сигнала, но трябва да се държи сметка и за повишаването на шумовото ниво. За анализ на тези зависимости ще бъде използван известния [2] шумов модел на трансимпендансното свързване на комбинацията фотодиод-операционен усилвател(фиг.2).



За изходното шумово напрежение в цитираната работа е изведен следния израз :

$$V_{\text{ш}}(S, R_f) = \left[\left[4k \frac{T}{R_d(s)} + 4k \frac{T}{R_f} \cdot B + I_{\text{на}}^2 \right] R_f^2 + V_{\text{на}}^2 \left[1 + \frac{R_f}{R_d(s)} \right]^2 \right]^{(1)}$$

където: $V_{\text{на}}$ е еквивалентното входно шумово напрежение на операционния усилвател
 $I_{\text{на}}$ е еквивалентния входен шумов ток
 R_d е динамичното съпротивление на фотодиода
 B е ефективната шумова честотна лента

Тази зависимост е валидна до честоти за които усилването по отношение на неинвертиращия вход се определя от израза :

$$G = 1 + \frac{R_f}{R_d}$$

$$f \leq \frac{1}{2\pi \tau_c} \quad \tau_c = \frac{R_f \cdot R_d}{R_f + R_d} (C_d + C_f)$$

Влиянието на активната площ на фотоприемника S върху изходното шумово ниво се изразява чрез зависимостта $R_d(S)$, която в теорията е известна като: [3]

$$R_d(S) = a \cdot S^{-1}$$

където a е конструктивно-технологичен параметър.

За реалните прибори степенният показател е обикновено различен от единица. В настоящия анализ е избрана следната апроксимираща функция :

$$R_d(S) = a \cdot S^{-\delta} \quad (2)$$

като коефициентите a и δ се определят от каталожни данни за R_d на определена серия фотодиод. (например OSD-5T CENTRONIC) и с помощта на математическия пакет MATHCAD.

Праговия поток, както е известно се определя като стойност на оптическия поток, при който отношението сигнал-шум на изхода е единица :

$$F_{th} = \frac{V_{no}^{1/2}}{R_f \cdot S \cdot K} \quad (3)$$

където K е чувствителността на фотодиода (A/W).

Зависимостта $F_{th}(S)$ в явен вид може да се получи чрез заместване на (2) в (1) и цялото в (3).

1. случай $b > 1$

Диференцирайки $F_{th}(S)$ спрямо S и приравнявайки на нула производната за оптимална стойност на активната площ се получава :

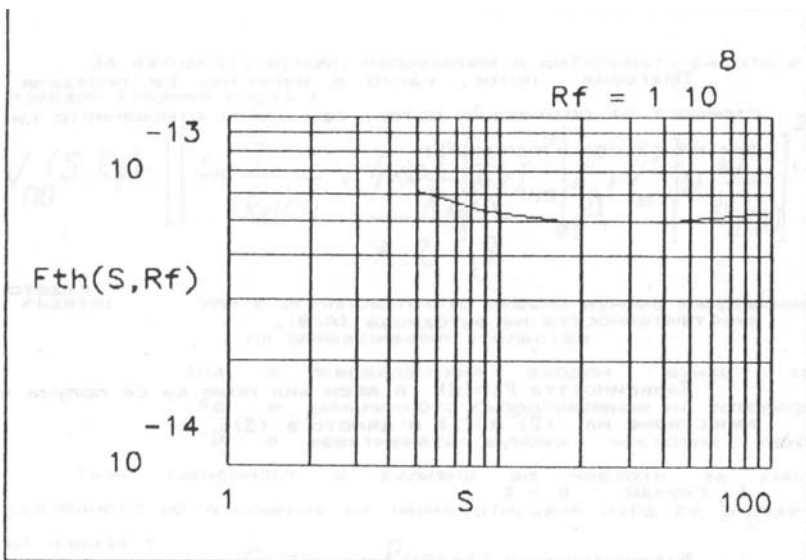
$$S = \left[\frac{-Q - \sqrt{Q^2 - 4 \cdot R \cdot P}}{2 \cdot P} \right]^{1/8}$$

$$P = 2(1-b) \cdot V_{na}^2 \cdot R_f^2 \cdot a^{-2} \quad \text{където :}$$

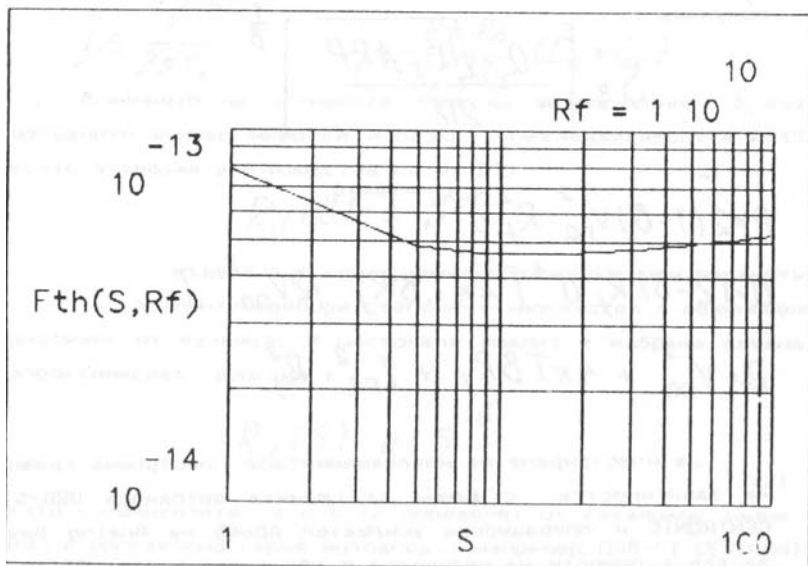
$$Q = (2-b) \cdot R_f \cdot a^{-1} [4k \cdot T \cdot B \cdot R_f + 2V_{na}^2]$$

$$R = V_{na}^2 + 4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot R_f + I_{na}^2 \cdot R_f^2$$

За илюстриране на изследванията е построена графиката на зависимостта с данни за серията фотодиоди OSD-5T на CENTRONIC и операционен усилвател AD645 на Analog Devices за две стойности на резистора в обратната връзка R_f (фиг.3, фиг.4). Ефективната шумова честотна лента е $\Delta f = 10$ Hz.



Фиг. 3



Фиг. 4

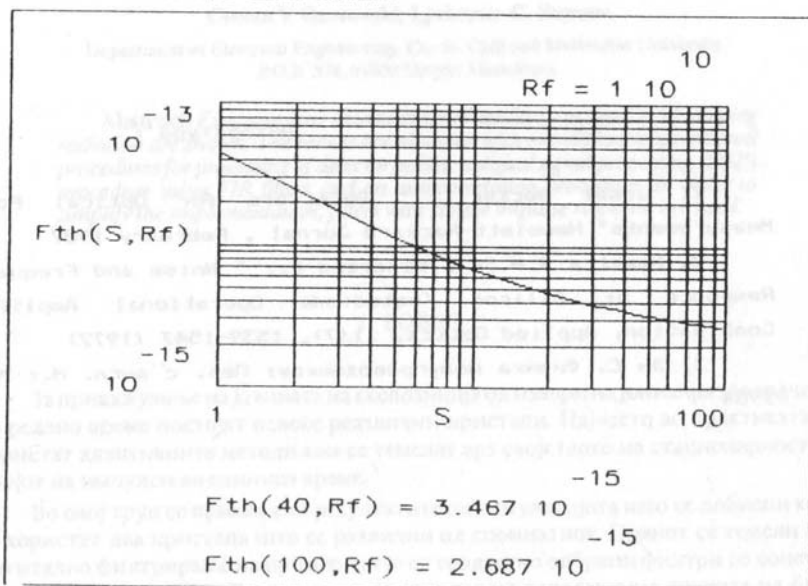
Графиките показват наличието на оптимална стойност S_{opt} , при която праговия поток придобива минимална стойност $F_{th}(S)_{min}$. Използването на фотодиод с по-голяма активна площ от S_{opt} е неоправдано. Интересно е да се отбележи, че по-ниска е стойността на $F_{th}(S)_{min}$ за комбинацията от по-високоомен резистор и фотодиод с по-малка активна площ.

2.случай $b < 1$

В този случай функцията F_{th} няма абсолютен минимум. Зависимостта $F_{th}(S)$ за фотодиоди от серията S1226 на HAMAMATSU за които :

$$a = 2.58 \cdot 10^9 \quad b = 0.96 \quad ,$$

е показана на фиг.5 . Вижда се, че съществува област където значително увеличаване на площта води до незначително намаляване на праговия поток .



фиг.5

В настоящата работа е анализирана зависимостта на праговия поток от активната площ на фотодиода за комбинацията фотодиод-операционен усилвател в трансимпедансно свързване. Изведена е формула за намиране на оптимална стойност на активната площ при която праговия поток се минимизира. Приведени са числени примери с данни за конкретни прибори илюстриращи теоретичните изводи. От тях се вижда, че по-ниска стойност на праговия поток се постига при използване на фотодиод с по-малка площ и по-голяма стойност на резистора в обратната връзка.

Литература :

1. Josef Becker " Detectors for Optical Power Measurements" Hewelett-Packard Jornal , February 1987
2. Hamstra R.H.Jr., Wendland P., " Noise and Frequency Responce of Silicon Fhotodiode Operational Amplifier Combination, Applied Optics, 11(7), 1539-1547 (1972)
3. Зи С. Физика полупроводников: Пер. с англ. М.: Мир, 1984