

УДК 621.583

П. А. ДАВИДЕНКО, В. О. ШКОЛЬНИЙ

ЛОГАРИФМІЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ- ПЕРЕТВОРЮВАЧ СТРУМ—НАПРУГА

Відомий ряд чутливих елементів, що характеризуються великим вихідним імпедансом, струм яких змінюється під впливом вимірюваної фізичної величини за експоненціальним законом. У поліграфії для вимірювання щільності, вологості, товщини та інших параметрів паперу використовують іонізаційні камери та фотодіоди у генераторному режимі [4]. Фотодіоди, струм на виході яких є функцією світлового потоку, застосовують для визначення оптичної щільності поліграфічної продукції.

Розглянемо принцип побудови підсилювача-перетворювача з точки зору його використання для вимірювання оптичної щільності.

Відомо, що оптична щільність матеріалу визначає ступінь поглинання і описується формулою

$$D = \lg F_0/F_\tau, \quad (1)$$

де F_0 — світловий потік, що падає на матеріал; F_τ — світловий потік, який виходить з матеріалу або відбивається від нього [3]. Таким чином, якщо падаючий світловий потік постійний у часі, оптична щільність може бути визначена через F_τ однозначно. Приймачами світлового потоку використовують фотодіоди у генераторному режимі, струм на виході яких $I_\phi = F_\tau$. Вони працю-

ють у режимі ідеального джерела струму, тобто внутрішній імпеданс фотодіода більший, ніж імпеданс навантаження. Така умова виконується, якщо I_ϕ поступає на інвертуючий вхід операційного підсилювача. Тоді $R_{вх} = \frac{R_{03}}{1 + K_v}$, а $U_{вих} = I_\phi R_{03}$.

Для забезпечення логарифмічної залежності струму I_ϕ і вихідної напруги інвертуючого ОП в колі оберненого зв'язку включений нелінійний елемент з логарифмічною характеристикою. Йо-

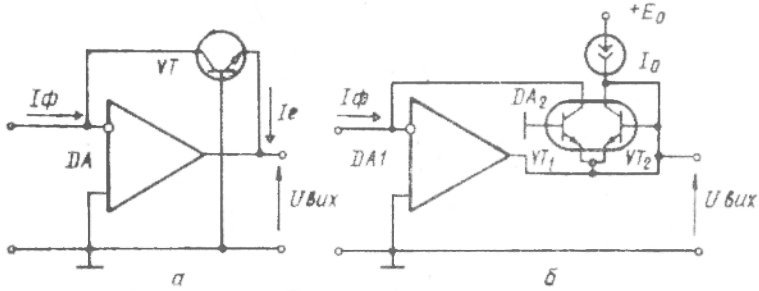


Рис. 1. Схеми логарифмічних підсилювачів.

го роль виконує транзистор VT (рис. 1, a). Залежність між струмом і напругою емітерного переходу, зміщеного в прямому напрямку, має вигляд [2]

$$I_e = I'_{e0} \left(e^{\frac{U_{\delta e}}{m\varphi_T}} - 1 \right), \quad (2)$$

де I'_{e0} — тепловий струм через емітерний p — n -перехід. І з (2) одержуємо

$$U'_{вих} = V_{be} = m\varphi_T \ln \frac{I_e}{I'_{e0}} = m\varphi_T M \lg \frac{I_e}{I'_{e0}}. \quad (3)$$

Як впливає з (3), логарифмічний підсилювач, побудований за схемою рис. 1 a , матиме малий діапазон підсилення, а також низьку точність логарифмування внаслідок впливу теплового струму I'_{e0} . Якщо на виході ОП включити зустрічно два p — n -переходи (рис. 1, b), то

$$U_{вих} = U'_{вих} - U_{\delta e2} = m_1 \varphi_{T1} M \lg \frac{I_{e1}}{I'_{e01}} - m_2 \varphi_{T2} M \lg \frac{I_{e2}}{I'_{e02}}.$$

У випадку, коли параметри транзисторів $VT1$ і $VT2$ ідентичні,

$$U_{вих} = m\varphi_T M (\lg I_{e1} - \lg I_{e2}) = m\varphi_T M \lg \frac{I_{e1}}{I_{e2}}. \quad (4)$$

При постійному струмі I_{e2} вихідна напруга підсилювача пропорційна десятковому логарифму вхідного струму I_ϕ . Відповідно напруга на виході підсилювача пропорційна десятковому логариф-

му світлового потоку F_{τ} , оскільки $F_{\tau} = I_{\phi}$, а $I_{\phi} = I_{03} \approx I_{e1}$. Таким чином,

$$U_{\text{вих}} = K \lg \frac{I_{\phi}}{C}, \quad (5)$$

де $K = m\varphi_{\tau}M$, а $C = I_{e2}$ — постійна величина.

Повна схема логарифмічного підсилювача-перетворювача струм—напруга показана на рис. 2. Забезпечити необхідну роздільну здатність підсилювача можна за умови, що сигнальний

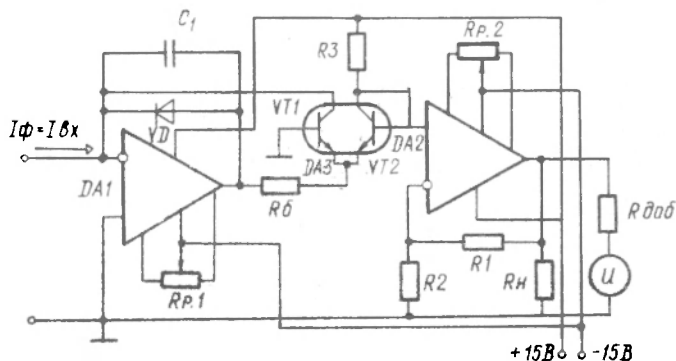


Рис. 2. Схема логарифмічного підсилювача-перетворювача струм-напруга.

струм I_{ϕ} значно більший вхідного $DA1$. Це потребує виконання вхідного диференційного каскаду на польових транзисторах. У мікросхемі типу К140УД8 діод $VD1$ захищає емітерний перехід транзистора $VT1$ від від'ємних напруг на вході. Крім цього, $VD1$ забезпечує постійну дію від'ємного оберненого зв'язку. Резистор $R_6 = 1$ кОм обмежує значення вихідного струму $DA1$. Конденсатор $C1 = 1$ нФ зменшує можливість самозбудження ОП на частоті шумів, яке виникає внаслідок різкого збільшення коефіцієнта підсилення, зумовлене зростанням опору R_{he1} .

Другий операційний підсилювач $DA2$ — неінвертуючий з коефіцієнтом підсилення $K_U = 1 + R1/R2$. Наявність у схемі другого ОП дає змогу зменшити вплив коливання навантаження на точність логарифмування вхідного каскаду та отримувати необхідну напругу на виході $DA2$.

Операційні підсилювачі $DA1$ і $DA2$ з'єднують через компенсуючий транзистор $VT2$. Якість компенсування теплового струму $VT1$, діапазон і точність логарифмування залежать від ідентичності параметрів наведених транзисторів.

Тому бажано транзистори $VT1$ і $VT2$ взяти із транзисторної матриці, наприклад типу 2НТ012. Колектор транзистора $VT2$ живиться від джерела стабільної напруги $+15В$ через опір $R3 = 51$ кОм. Змінними резисторами R_{p1} і R_{p2} здійснюють баланс операційних підсилювачів $DA1$ та $DA2$.

Відомо, що діапазон логарифмування аналогових логарифматорів, побудованих за схемою рис. 2, може досягти дев'яти декад, однак при незначній точності логарифмування [5]. У робочих схе-

мах діапазон логарифмування не перевищує трьох-чотирьох деkad. З допомогою змінних резисторів R_{p1} і R_{p2} пересувають початкову точку на таку частину вольт-амперної характеристики $U_{\text{вх1}}(I_{\text{вх1}})$, якій відповідає найбільша точність логарифмування. Саме в цьому полягає настройка.

З табл. 1 видно, що тільки в одному положенні движка R_{p1} має місце точне логарифмування. Як слід було чекати (табл. 2), $U_{\text{зм2}}$

Таблиця 1

Вплив $U_{\text{зм1}}$ для ОП DA1 на точність логарифмування

-0,1	0,96	1,91	2,83
0	1,009	2	3
0,1	1,07	2,63	>3
0,2	1,01	2,08	>3
0,5	1,18	2,02	>3

Таблиця 2

Вплив $U_{\text{зм2}}$ для ОП DA2 у випадку настроєного DA1

-0,2	0,8	1,78	2,8
-0,1	0,9	1,89	2,9
0	1	1,99	3
0,1	1,1	2,09	>3
0,2	1,2	2,2	>3

не впливає на якість логарифмування, а тільки пересуває межі вихідної напруги.

Для вихідної напруги досліджуваної схеми можна записати

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вих1}} (1 + R1/R2) = m\varphi_T M \lg(1 + R1/R2). \quad (6)$$

При збільшенні температури повинна збільшуватись крутизна перетворення струм—напруга внаслідок збільшення температурного потенціалу $\varphi_T = kT/q$. Це підтверджують такі дані:

Покази вимірювача $U_{\text{вих}}$ при 20 °C 0 1 2 3

Покази вимірювача $U_{\text{вих}}$ при 50 °C -0,05 0,99 2,01 3,05

Якщо потрібен логарифмічний підсилювач з поліпшеними температурними характеристиками, то компенсацію температурного дрейфу можна здійснити методом термостатування логарифмуючого VT1 і компенсуючого VT2 транзисторів [5]. Термостат побудований на основі матриці 2HT012 (рис. 3). Транзистор VT3 використовується як підігрівач, а VT4 — датчик температурного підсилювача DA4. Попередній розрахунок елементів схеми регулятора можна здійснити, виходячи із таких умов. Транзистори V1—V4 мікросхеми DA3 розміщені на одному кристалі і характеризуються такими параметрами:

$U_{ke}, \text{ В}$	$P_{k \text{ max}}, \text{ мВт}$,	$I_{k, \text{ max}}, \text{ мА}$	$h_{21 \text{ min}}$	$U_{ke \cdot \text{нас.}}, \text{ В}$	$I_{k60}, \text{ мкА}$
4,5,0	15	15	3,1	0,3	5
				не більше	не більше

Температура кристалу визначається сумою потужностей, що розсіюються на транзисторах V1—V4. Для температури кристалу +85 °C загальна потужність повинна становити $4 \cdot 15 = 60$ мВт. Однак така потужність може виділятися і на одному транзисторі, наприклад на VT3, за умови, що струм I_{k3} набагато більший колекторних струмів інших транзисторів матриці. Нехай робочій точці транзистора VT3 відповідає струм $I_{k3} = 15$ мА, у стаціонарному режимі, а напруга $U_{ke3} > \frac{U_{ж}}{2} = 2,5$ В. Тільки при такій умові

збільшення температури понад задану приводить до зменшення $U_{\text{бкз}}$, а також потужності, що виділяється на VT_3 .

Таким чином, якщо напруга живлення $U_{\text{ж}}=5 \text{ В}$, а для стаціонарного режиму прийняті $I_{\text{кз}}=I_{\text{к max}}=15 \text{ мА}$, $P_{85^\circ}=60 \text{ мВт}$, то

$$\begin{aligned} U_{\text{кз}} &= \frac{P_{85^\circ}}{I_{\text{кз}}} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}} = 4 \text{ В, відповідно } R_{\text{кз}} = R_5 = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{кз}}}{I_{\text{кз}}} = \\ &= \frac{5 - 4}{15 \cdot 10^{-3}} = 66,7 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Початкове встановлення струму $I_{\text{кз}}$ на задану температуру термостата здійснюється змінним резистором $R_{\text{тз}}$, контролюючи при цьому вольтметром напругу $U_{\text{кз}}=4 \text{ В}$.

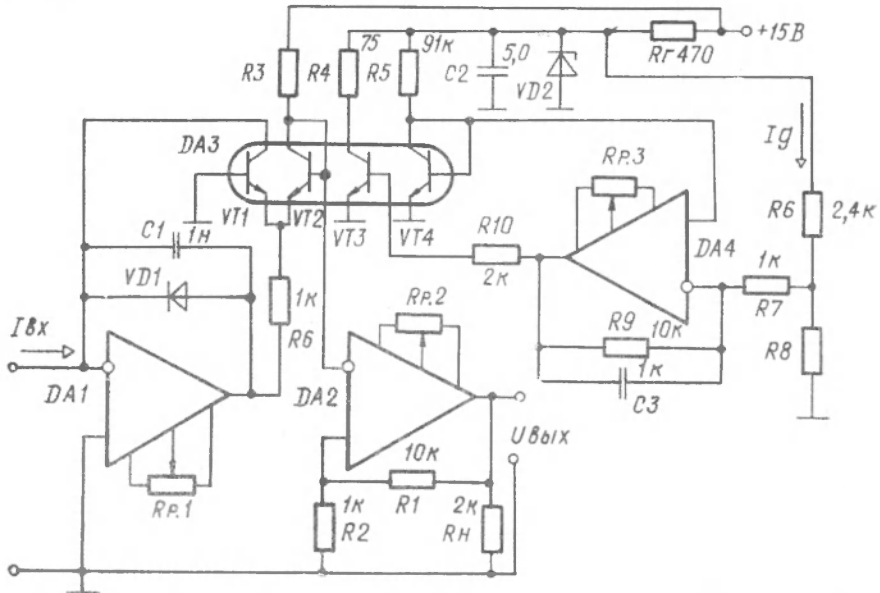


Рис. 3. Схема логарифмічного підсилювача з термостатуванням логарифму-ючого та компенсаційного транзисторів.

З допомогою $R_{\text{п1}}$ можна регулювати $U_{\text{зм1}}$ у широких межах. Це дає змогу, використовуючи $U_{\text{зм1}}$, компенсувати дію струму $I_{\text{вх}}$ так, щоб при максимальному значенні $I_{\text{вх}}$ на виході логарифмічного підсилювача-перетворювача струм—напруга нульова напруга зростає при зменшенні вхідного сигналу.

Такі підсилювачі слід використовувати при побудові вимірювачів оптичної щільності матеріалів, товщиномірів і вологомірів паперу, оскільки тоді вихідна напруга підсилювача прямо пропорційна вимірюваному значенню параметра.

1. Лихачев В. Д. Практические схемы на операционных усилителях. М., 1981.
2. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., 1967.
3. Шашлов Б. А. Теория фотографического процесса М., 1971.
4. Школьный В. О. Про побудову універсальних вимірювачів параметрів паперу // Поліграфія і видавнича справа. 1978. № 14. С. 95—98.
5. Щербаков В. И. Электронные схемы на операционных усилителях. К., 1983.

Schemes of current-voltage amplifiers-transformers based on modern electronics are given in the article. Their working principle is described. An analysis of the functioning of logarithm amplifiers-transformers is made. A possibility of their wide application in printing industry is shown.

Стаття надійшла до редколегії 26.02.86
