

Б. М. БЕЗКОРОВАЙНИЙ, В. С. ГОРБЕНКО

## ЛОГАРИФМАТОР НАПРУГ З КУСКОВО-ЛІНІЙНОЮ АПРОКСИМАЦІЄЮ

Логарифматор напруг з кусково-лінійною апроксимацією, виконаний у вигляді нелінійного подільника напруг (рис. 1), може бути використаний у логарифмічних вольтметрах [1] та в пристроях для автоматичної реєстрації частотних характеристик.

Подільником  $r_1, r_2, \dots, r_n$  подаються опорні напруги на діоди. При зростанні напруги  $U_{вх}$  послідовно відкриваються діоди

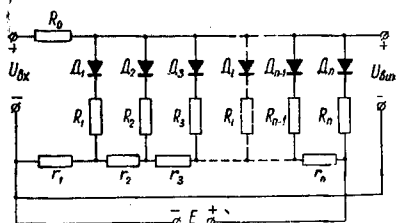


Рис. 1. Принципова схема логарифматора з кусково-лінійною апроксимацією.

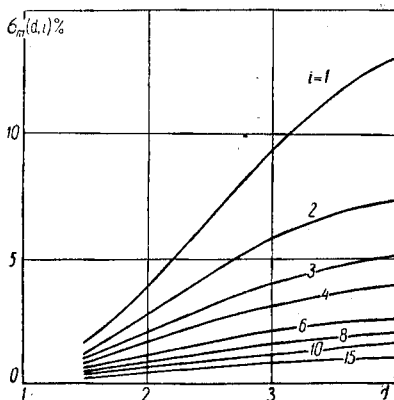


Рис. 2. Максимальна відносна похибка логарифматора в залежності від  $d$  та  $i$ .

$D_1, D_2, \dots, D_n$ , що приводить до зменшення коефіцієнта передачі  $k = \frac{U_{вхн}}{U_{вх}}$ .

Логарифмічна залежність описується формулою [2]

$$U_{вхн} = U_{вх} \text{ при } U_{вх} \leq U_{вхн}$$

$$U_{вхн} = U_{вхн} \left( \ln \frac{U_{вх}}{U_{вхн}} + 1 \right) \text{ при } U_{вх} > U_{вхн}, \quad (1)$$

де  $U_{вхн}$  — мінімальна вхідна напруга, при якій починається логарифмічна залежність.

Поставимо вимогу, щоб у точках апроксимації

$$\frac{U_{\text{вх}2}}{U_{\text{вх}1}} = \frac{U_{\text{вх}3}}{U_{\text{вх}2}} = \dots = \frac{U_{\text{вх}i}}{U_{\text{вх}i-1}} = \dots = \frac{U_{\text{вх}n}}{U_{\text{вх}n-1}} = d; U_{\text{вх}1} = U_{\text{вх}n}; \quad (2)$$

тоді

$$U_{\text{вх}i} = U_{\text{вх}n} d^{i-1}. \quad (3)$$

Якщо (3) підставити в (1), то в точках апроксимації

$$U_{\text{вих}i} = U_{\text{вх}n} [(i-1) \ln d + 1]; \quad (4)$$

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}i}}{U_{\text{вх}i}} = \frac{(i-1) \ln d + 1}{d^{i-1}}. \quad (5)$$

Між суміжними точками апроксимації

$$U_{\text{вих}a} = \frac{\ln d}{d^i - d^{i-1}} U_{\text{вх}n} + \frac{U_{\text{вх}n} [d \ln d^{i-1} - \ln d^i + d - 1]}{d - 1}. \quad (6)$$

Різниця між (1) і (6) дає абсолютну похибку апроксимації

$$\Delta U_{\text{вих}} = U_{\text{вих}} - U_{\text{вих}a}, \quad (7)$$

максимальне значення якої

$$\Delta U_{\text{вих} \max} = U_{\text{вх}n} \left[ \ln \left( \frac{d-1}{\ln d} \right) + \frac{\ln d}{d-1} - 1 \right]. \quad (8)$$

Максимальна відносна похибка (рис. 2)

$$\delta_{\max} = \frac{\Delta U_{\text{вих} \max}}{U_{\text{вх}}} = \frac{\ln \left( \frac{d-1}{\ln d} \right) + \frac{\ln d}{d-1} - 1}{\ln \left( \frac{d-1}{\ln d} \right) + \ln d^{i-1} + 1}. \quad (9)$$

Розрахунок схеми логарифматора слід виконувати в такій послідовності.

Якщо заданою величиною є динамічний діапазон по вхідній напрузі

$$D_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вх}n}}{U_{\text{вх}1}} = (n-1) 20 \lg d, \quad (10)$$

то при заданому  $D_{\text{дб}}$  і прийнятому значенні  $d$  (рис. 2) визначають необхідне число точок апроксимації

$$n = \frac{D_{\text{дб}}}{20 \lg d} + 1. \quad (11)$$

Далі з допомогою виразу

$$R_i = \frac{K_i K_{i-1}}{K_i - K_{i-1}} R_0 = b_i R_0 \quad (12)$$

або графіків рис. 3 визначають коефіцієнти  $b_i$  і обчислюють значення опорів  $R_1, R_2, \dots, R_n$ . Опір  $R_0$  слід вибирати в межах 0,02 — 1 *Мом*.

Щоб уникнути помітних похибок за рахунок опорів подільника опорних напруг, потрібно виконати вимогу

$$\sum_{i=1}^n r_i \leq \frac{R_n}{10}. \quad (13)$$

Тоді, враховуючи (4), можна визначити опори подільника

$$r_1 \leq \frac{R_n}{10[(n-1)\ln d + 1]}, \quad r_2 = r_3 = \dots = r_n = r_1 \ln d. \quad (14)$$

Напруга джерела живлення подільника опорних напруг

$$E = U_{\text{вих } n} = U_{\text{вх } n} [(n-1)\ln d + 1]. \quad (15)$$

Розрахункові формули виведені в припущенні, що діоди мають ідеальні характеристики. При використанні кремнієвих діодів із

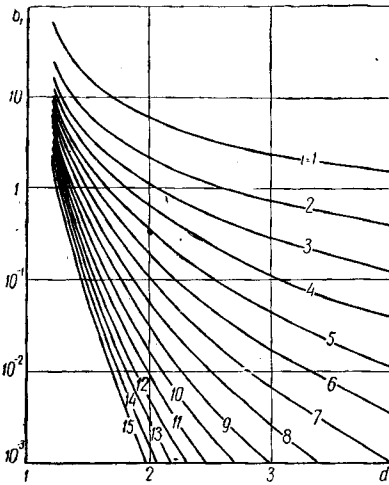


Рис. 3. Залежність коефіцієнтів  $b_i$  від  $d$  та  $i$ .

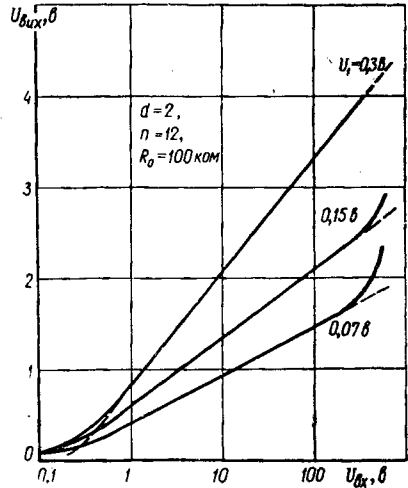


Рис. 4. Експериментальна залежність  $U_{\text{вих}}$  від  $U_{\text{вх}}$  при трьох значеннях  $U_{\text{вх}}$ .

зворотним опором, більшим 300—500 *Мом*, можна одержати задовільні результати при  $R_0 = 0,02 \div 1 \text{ Мом}$ ,  $U_{\text{вх } n} = 0,1 \div 0,3 \text{ в}$ ,  $d = 1,5 \div 4$ .

За наведеною методикою було розраховано і перевірено кілька схем логарифматорів. У дослідях брали участь студенти електроакустичного факультету КПІ Б. П. Кузьменко і Ю. І. Сліпець.

На рис. 4 показана експериментальна залежність  $U_{\text{вих}}$  від  $U_{\text{вх}}$  при трьох значеннях  $U_{\text{вх}}$ . У схемі використовувались діоди Д103. При  $U_{\text{вх}} > 0,2 \div 0,3 \text{ в}$  спостерігається добрий збіг розрахункових та експериментальних даних.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бескоровайный Б. М., Горбенков В. С., Простой логарифмический вольтметр, Радио, 1965, № 6.
2. Волков В. М., Логарифмические усилители, Гостехиздат УССР, 1962.

*B. M. BESKOROVAJNY, V. S. GORBENKO,*  
PIECEWISE-LINEAR LOGARITHMIC VOLTAGE  
CIRCUIT APPROXIMATION

### S u m m a r y

In the paper formulas and curves are developed for the design of a piecewise-linear logarithmic voltage circuit.

Experimental results are compared with the theory.