

## МОНІТОРИНГОВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ДЛЯ СТУДІЙ ЗВУКОЗАПИСУ

Розроблений моніторинговий підсилювач для навушних телефонів. Пристрій призначений для використання в студіях звукозапису чи в концертних залах у складі систем моніторингу. Завдяки роботі в режимі А і використанню МОП-транзисторів досягнуті високі технічні характеристики підсилювача.

Developed headphones monitoring amplifier. The device is intended for use on the audio recording studios or in concerts halls in composition the systems of monitoring. Due to work in the mode A and the use HEXFET-transistors, attained high technical descriptions of amplifier.

У сучасних студіях звукозапису і в концертних залах використовують складні системи комутації. Важливе місце займає якість комутації в системі локального моніторингу. В її складі навушники, як правило, знаходяться на відстані кілька десятків метрів від мікшерного пульта. Для ввімкнення навушників використовується неекранований двопровідний кабель. Через наявність погонного опору кабелю звуковий сигнал значно згасає в ньому. Еквівалентна схема кабельного з'єднання між пультом звукорежисера й навушниками наведена на рис. 1, де  $G$  – джерело сигналу (мікшер) із внутрішнім опором  $R_g$ ,  $R_k$ ,  $X_L$ ,  $X_C$  – активний і реактивні опори кабелю,  $R_H$  – опір навушника. Згасання зумовлене втратами сигналу  $\alpha = 20 \lg \frac{U_{ВХ}}{U_{ВИХ}}$ ,  $U_{ВХ} = 1$  В – вхідна напруга,

рівень якої прийнято за 0 дБ,  $U_{ВИХ} = Z_2 / (Z_1 + Z_2)$  – напруга на навантаженні. Тут  $Z_1 = R_g + R_k + R_L$ ,  $Z_2 = R_H \cdot X_C / (R_H + X_C)$ . Для двопровідної лінії погонний опір  $R = \frac{2R_s}{\pi d} \left( \frac{s/d}{\sqrt{(s/d)^2 - 1}} \right)$ ,  $R_s = 2,61 \cdot 10^{-4} \sqrt{f}$  –

поверхневий опір скін-шару для міді, індуктивний і ємнісний опори  $X_L = \omega L = 2f\mu_0 A \text{ch}(s/d)$ ,  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{\varepsilon_0}{2f A \text{ch}(s/d)}$ ,  $s$  і  $d$  – відстань між провідниками кабелю і їх діаметр [1-3].

Виконані розрахунки показують, що згасання сигналу у двопровідній лінії довжиною 20 м у звуковому діапазоні частот становить 0,01–3 дБ при навантаженні 64 Ом. Погонне згасання сигналу у двопровідній лінії на рис. 2.

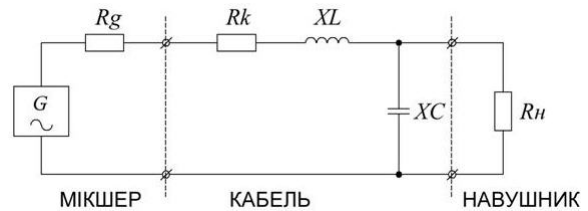


Рис. 1. Еквівалентна схема кабельного з'єднання між пультом звукорежисера і навушниками

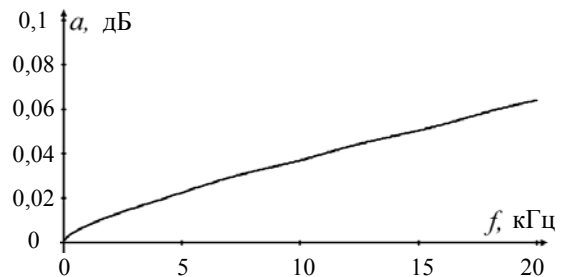


Рис. 2. Залежність погонного згасання сигналу у двопровідній лінії від частоти

Оскільки за теорією кривих рівної гучності людське вухо найбільш лінійно сприймає звук на рівні 80–90 дБ, то таке згасання сигналу впливає на корекцію АЧХ звукової картини, спричиняючи помилку в роботі звукорежисера [2].

Якщо ж навушники під'єднати до лінійного виходу мікшерного пульта через відповідний підсилювач, то ситуація значно поліпшиться. Тоді зменшаться втрати для сигналів стандартного рівня – 0 дБ ( $U_{ВХ} = 1$ В). Використання екранованого кабелю значно знизить рівень електромагнітних завад. Можливо буде створювати багатоканальні системи. Сам підсилювач можна розміщувати на відносно великих відстанях від мікшера (порядку 50 м), що важливо для концертних залів. При цьому навушники розміщуються біля підсилювача.

Розроблений моніторинговий підсилювач є пристроєм, сумісним із різними типами навушних телефонів.

Врахувавши вищеописані вимоги і спираючись на виконані розрахунки, одержимо структурну схему моніторингового підсилювача (рис. 3).

Структурна схема складається з таких вузлів: попередній підсилювач, комутатор каналів, атенюатор, вихідний підсилювач, індикатор рівня, блок живлення.

Попередній підсилювач (ПП) забезпечує компенсацію втрат сигналу в кабелях і має регульований коефіцієнт підсилення за напругою  $K_U = 0 \div 10$  дБ. Крім того, ПП узгоджує вихідний опір мікшерного пульта із вхідним опором моніторингового підсилювача  $R_{\text{вих.м}} = R_{\text{вх.підс}}$ . Як видно з блок-схеми, попередній підсилювач складається з чотирьох однакових стереоканалів. Це зроблено для того, щоб забезпечити багатоканальну передачу сигналу, щоб кожний із чотирьох слухачів прослуховував індивідуальну стереокартину.

Попередній підсилювач розроблений на операційному підсилювачі (ОП) *OP275* фірми *Analog Devices* [5]. Даний ОП має низький рівень лінійних і нелінійних спотворень у діапазоні частот 20–20000 Гц, забезпечуючи при цьому коефіцієнт підсилення за напругою  $K_U = 106$  дБ. ОП ввімкнено за інвертуючою схемою. Для регулювання коефіцієнта підсилення (чутливості) в межах  $K_U = 0 \div 10$  дБ служить підстроювальний резистор увімкнений у коло зворотного зв'язку ОП [4]. На виході ПП відсутня постійна складова, тому зникає необхідність у використанні роздільного конденсатора. Сигнал із ПП подається на комутатор.

Підсилений до рівня, прийнятого за 0 дБ, сигнал спрямовується на вхід комутатора каналів (КК). У складі даного вузла є чотири стереокомутатори, що забезпечують комутацію сигналу, який поступає з попередніх підсилювачів. Комутатор побудований на ключах *SSM2404* [5], увімкнених за схемою мультиплексора. *SSM2404* об'єднує чотири аналогові ключі з малим часом увімкнення й вимикання ( $t_{\text{ввімк}} = t_{\text{вимк}} < 100$  нс), що забезпечує високу якість комутації звуку. Кожний вимикач містить пару *n*- і *p*-канального МОП-транзисторів, що дозволяє пропускати додатні й від'ємні півперіоди сигналу і поліпшити лінійність. При поданні низького потенціалу (0 В) на керуючий вхід *SW* ключ переходить у відкритий стан. У протилежному випадку ключ закритий. Часова діаграма роботи мультиплексора наведена на рис. 5. У закритому стані згасання сигналу становить  $I_{SO(\text{вимк})} = 100$  дБ, а

взаємне проникнення сигналу між каналами  $C_T = 94$  дБ.

Внутрішнім опором мультиплексора можна знехтувати, оскільки він набагато менший від опору наступного каскаду атенюатора  $R_{\text{вн.кк}} \ll \ll R_{\text{вх.ат}}$ .

Комутований сигнал надходить на вхід атенюатора, який забезпечує регулювання рівня гучності. Атенюатор виконаний на інтегральному підсилювачі керованому напругою *BA7735FS*. Дана *IC* є двоканальною, і кожен канал містить індивідуальний електронний регулятор, що керується від джерела стабільної напруги. Потенціометр увімкнений паралельно з'єднаним керуючим входом атенюатора.

Тракт підсилення завершує вихідний підсилювач потужності [6]. Він має чотири стереоканали. Кожен канал має вихідну потужність  $P_{\text{вих}} = 150$  мВт і дозволяє під'єднувати навушники опором  $R_H = 32 \div 600$  Ом. Вхідний каскад виконано за диференціальною схемою на транзисторах *VT2*, *VT3*. Сигнал знімається не зі стоку *VT3*, а з витоку *VT1*, чим забезпечується низький вихідний опір. Еміторний повторювач *VT5* унеможливує негативний вплив ємності затвора *VT6*. Польовий транзистор *VT6* працює в режимі *A*. Інтегральний стабілізатор *DA1* увімкнений у режимі генератора струму, який задає струм 65 мА. Струм задається резистором *R11*, яким забезпечується потужність 150 мВт у професійних 300-омних навушниках. Принципова схема одного моноканалу вихідного підсилювача наведена на рис. 4.

Рівень вихідного сигналу контролюється світлодіодним п'ятисегментним індикатором вихідного сигналу (*IC*). При цьому слід пам'ятати, що коректна обробка звуку буде на рівні 80–90 дБ. Індикатор рівня вихідного сигналу побудований на полікомпараторі *AN6884*. Мікросхема навантажена на п'ять світлодіодів: чотири – зелених і один червоний, які відповідають рівням вихідного сигналу: 40, 60, 80, 100 дБ відповідно.

Живлення пристрою забезпечується високостабільним блоком із низьким рівнем пульсації напруги. Пристрій виконаний у стандартному металевому корпусі. Блок живлення і кожний канал підсилювача має індивідуальний електромагнітний екран. З'єднання між вузлами виконано екранованими дротами. Вхідні гнізда та гніздо живлення розміщені на задній панелі пристрою. Вихідні гнізда, органи керування й індикації знаходяться на передній панелі підсилювача.

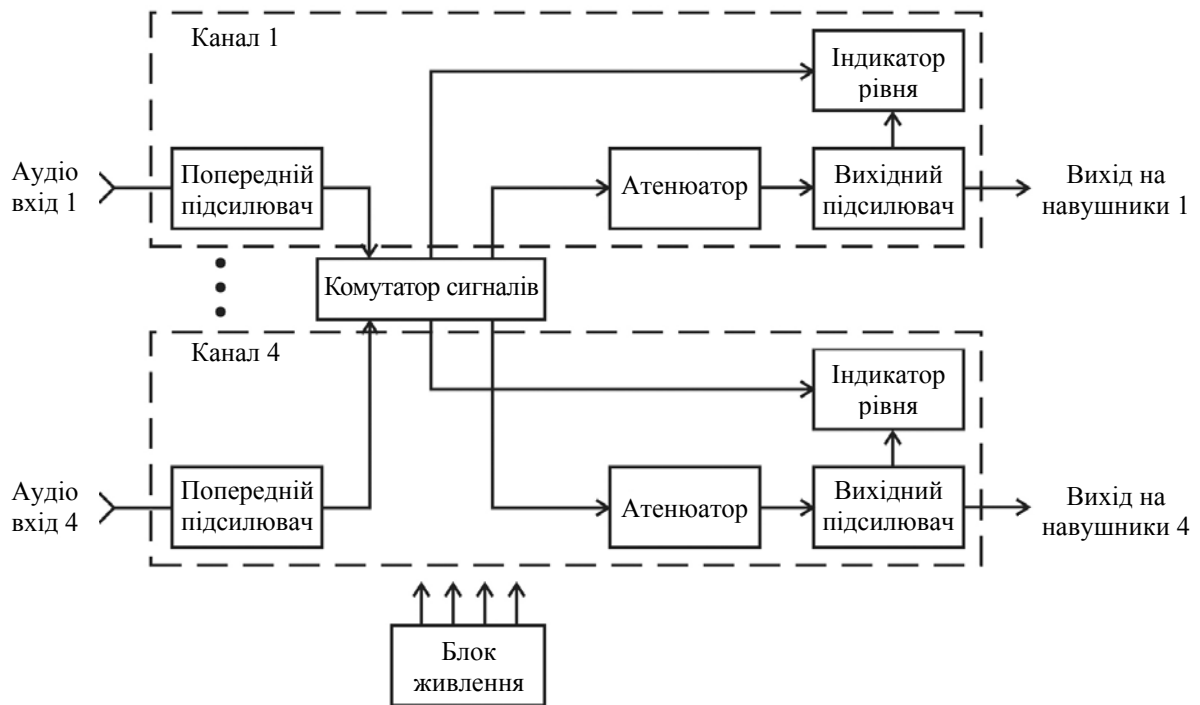


Рис. 3. Структурна схема моніторингового підсилювача

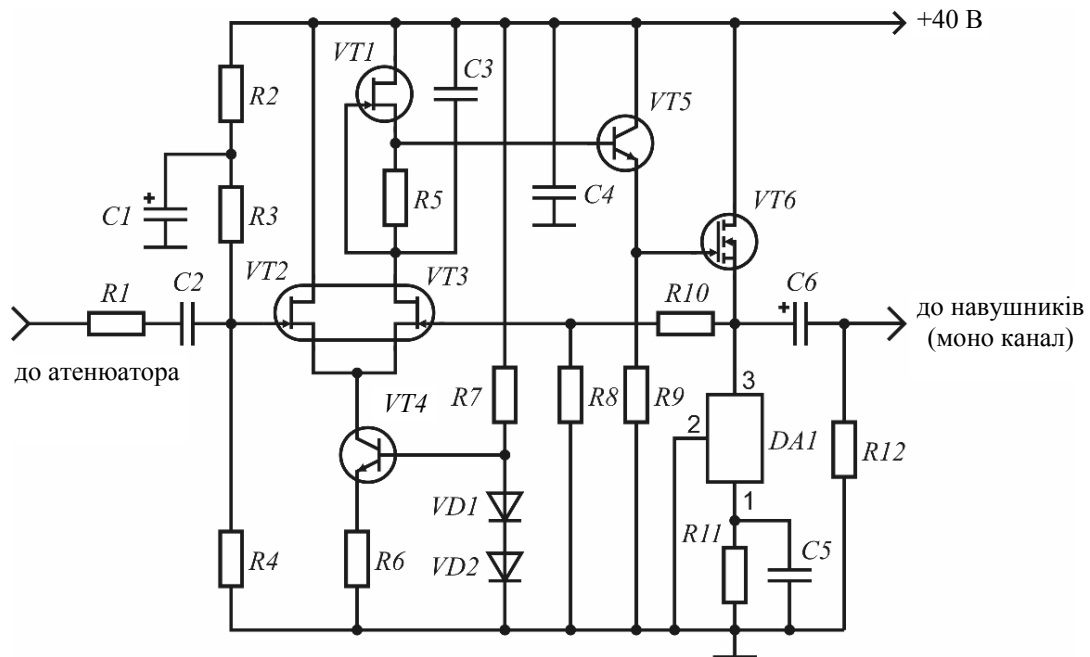


Рис. 4. Принципова схема одного каналу вихідного підсилювача

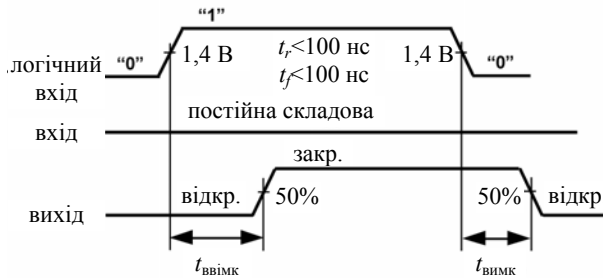


Рис. 5. Часова діаграма роботи мультиплектора

Розроблений підсилювач відповідає міжнародним стандартам якості звукозапису й призначений для використання в студіях звукозапису або в концертному залі в системі локального моніторингу. Технічні характеристики підсилювача наведені нижче, а графіки лінійних та нелінійних спотворень на рис. 6.

Параметр	Значення
смуга частот	5 Гц – 50 кГц
нерівномірність АЧХ	0,2 дБ
динамічний діапазон	110 дБ
нелінійні спотворення	0,001%
рівень шумів	-96 дБ
вхідний опір	30 кОм
опір навантаження	32–600 Ом
вихідна потужність	150 мВ на канал
споживана потужність	≤10, Вт
габаритні розміри	44,5×482,6×217 мм <sup>3</sup>

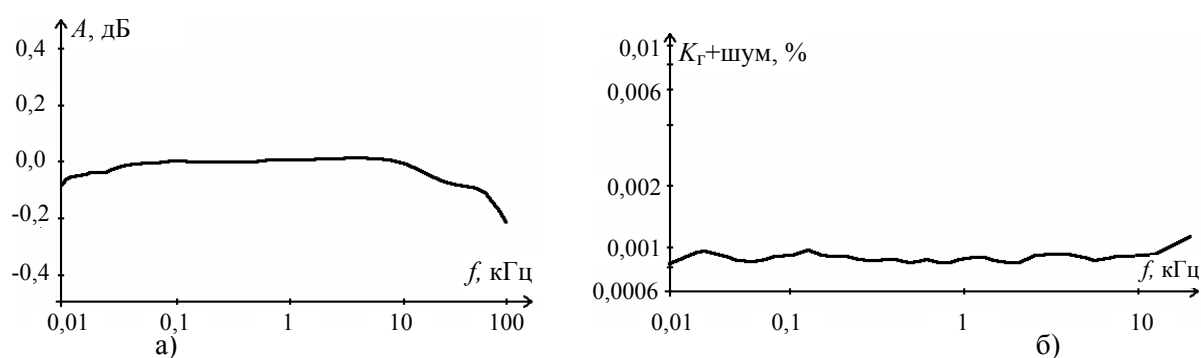


Рис. 6. Лінійні (а) і нелінійні (б) спотворення моніторингового підсилювача

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Радио и связь, 1981.
2. Выходец А.В., Захарин В.М., Рудый Е.М., В.И. Денисов Справочник по радиовещанию / Под общ. ред. А.В. Выходца. – Київ: Техніка, 1981.
3. Алдошина И.А., Бревдо В.Б., Веселов Г.Н. и др. Бытовая электроакустическая аппаратура. Справочник. – М.: КубК-а, 1996.
4. Полонников Д.Е. Операционные усилители. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Микросхемы для аудио- и радиоаппаратуры. В 2 т. – М.: Издательский дом "Додэка-XXI", 2001.
6. Elektor Electronics. – 2005. – No.7-8. – P. 121-122.