

РАДІОЕЛЕКТРОННІ ПРИБРОЇ ТА СИСТЕМИ

УДК 621.375; 681.84

М.Д. Кіселичник, М.В. Мелень, Ф.Б. Павлов
Національний університет “Львівська політехніка”

ОПТИМІЗАЦІЯ АЧХ ПРИБРОЮ ЗВУКОВІДТВОРЕННЯ ПРИ ДІЇ АКУСТИЧНИХ ЗАВАД

© Кіселичник М.Д., Мелень М.В., Павлов Ф.Б., 2013

M.D. Kiselychnyk, M.V. Melen, F.B. Pavlov
Lviv National Polytechnic University

OPTIMIZATION THE AFC OF SOUND REPRODUCTION DEVICE UNDER THE INFLUENCE OF ACOUSTIC NOISE

© Kiselychnyk M.D., Melen M.V., Pavlov F.B., 2013

The state standard for audio frequency amplifiers (LFA) requires the uniform amplitude-frequency characteristic (AFC) in the frequency range from 40 Hz to 18 kHz. But the test of high quality amplifiers on motor vehicles have shown that for the same output power verbal intelligibility is worse obtained than with simpler devices.

This is because the that the main energy spectrum of speech is concentrated at frequencies up to 1 kHz, but at these frequencies it almost does not contain the information component, and in addition, is masked acoustic by noise which in most cases also dominates at low frequencies.

Therefore, the main task of designing an amplifier that is intended for transmitting voice information, is reduced to the synthesis of optimal AFC by the criterion of maximum intelligibility of verbal message under conditions of acoustic noise.

For a given full power of signal with a normal amplitude distribution and normal noise ratio with a specified energy spectrum the maximum speed of information transmission is provided for such energy spectrum of signal which having been added to the spectrum of the noise will ensure the constancy of this amount and its frequency independence, that has been clearly shown in the information theory.

However, unlike the task discussed in information theory, the linguistic message is not noise-like. It is known that straight-articulation frequency bands, that frequency bands of the energy spectrum speech messages that equally influence on its intelligibility, differ significantly for width and increases with increasing a frequency.

For this reason we introduced the concept of shown unit of bandwidth, also the energy spectrum of speech has been shown. In new terms of the criterion of maximum intelligibility of speech message matches the criterion of maximum information speed transfer in the channels with noise-like signals and normal noise, that has allowed to find the optimal AFC of tract transmission coefficient – microphone – amplifier – speaker heads.

Theoretical calculations have been found implementation in the development of transport loudspeaker device. Articulatory tests on the bus, which was carried out using tables of Ukrainian language, confirmed that the optimal AFC with downturn in the LF region with the steepness no less than 12 dB per octave makes it possible to increase verbal intelligibility of speech from 81 to 89 %, or at the same intelligibility reduce output amplifier power to 3 times.

The designed procedure of frequency dependence of the optimal tract sound transmission coefficient is suitable for any voice information transmission devices with limited average power under conditions of acoustic noise.

Key words: low frequency amplifier (LFA), acoustic noise, information theory, speech intelligibility, the optimal amplitude-frequency characteristic (AFC) vehicles.

Для випадку обмеженої вихідної потужності підсилювача низької частоти та в умовах дії акустичних шумів синтезована оптимальна амплітудно-частотна характеристика звукового тракту за критерієм максимальної розбірливості мовного повідомлення. Вводяться поняття про приведену одиницю смуги пропускання та приведений енергетичний спектр мови. У нових одиницях критерій максимальної розбірливості мовного повідомлення збігається з відомим критерієм максимальної швидкості передавання інформації в каналах із шумоподібним сигналом і нормальною завадою.

На основі проведених розрахунків розроблено підсилювач низької частоти, призначений для використання в салоні автотранспортного засобу. Застосування в ньому запропонованої амплітудно-частотної характеристики дало змогу підвищити словесну розбірливість мови від 81 до 89 % або зменшити вихідну потужність підсилювача втричі.

Ключові слова: підсилювач низької частоти (ПНЧ), акустичні завади, теорія інформації, розбірливість мови, оптимальна амплітудно-частотна характеристика (АЧХ), автотранспорт.

Вступ

Державний стандарт [1] на підсилювачі звукової частоти (ПНЧ) вимагає рівномірної амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) в діапазоні частот від 40 Гц до 18 кГц з коефіцієнтом гармонік менше 0,3 %. Доцільність таких вимог доволі сумнівна: обраний частотний діапазон значно більший від енергетичного спектра мовного повідомлення, а нелінійні спотворення акустичних перетворювачів на порядок вище ніж у підсилювача. Все це збільшує вартість нової розробки. Випробування високоякісних підсилювачів на автотранспортних засобах показали, що за тієї ж вихідної потужності мовна розбірливість одержується гіршою, ніж з простішими пристроями.

Причина полягає в тому, що основний енергетичний спектр мови зосереджений на частотах до 1 кГц, але на цих частотах він майже не містить інформаційної складової, і крім того, маскується акустичним шумом, який здебільшого також переважає на низьких частотах.

Один із основних способів боротьби з його наслідками – збільшення вихідної потужності ПНЧ, але це призводить до збільшення вартості виробу, а використання мостових схем вимагає двопровідної схеми під'єднання акустичних головок.

Тому основна задача проектування підсилювача, призначеного для передавання мовної інформації, зводиться до синтезу оптимальної АЧХ за критерієм максимальної розбірливості мовного повідомлення в умовах дії акустичних завад.

1. Теоретичні положення по оптимізації АЧХ

У теорії інформації показано, що при заданій повній потужності сигналу з нормальним амплітудним розподілом і нормальній заваді із заданим енергетичним спектром максимальна швидкість передавання інформації забезпечується при такому енергетичному спектрі сигналу, який, будучи доданим до спектра завади, забезпечить сталість цієї суми і її незалежність від частоти.

Якщо акустичний шум має нормальний амплітудний розподіл, то, у відповідності до вищевикладеного, по заданій вихідній потужності підсилювача НЧ і заданому коефіцієнту передавання акустичних головок можна знайти оптимальну АЧХ коефіцієнта передачі тракту мікрофон-підсилювач-акустичні головки.

Однак, на відміну від задачі, розглянутої в теорії інформації, мовне повідомлення не є шумоподібним. Відомо [2], що рівноартикуляційні смуги частот, тобто смуги частот енергетичного спектра мовного повідомлення однаково впливають на його розбірливість, істотно відрізняються по

ширині і збільшуються із зростанням частоти. Границі, ширина і середні частоти рівноартикуляційних смуг наведені в табл. 1. Там же для сумарного рівня потужності $P_{\Sigma} = 58$ дБА (відносно $2 \cdot 10^{-5}$ Па) даються розраховані нами парціальні складові $P_c(N)$.

Таблиця 1

Характеристики рівноартикуляційних смуг

№ смуги	Границі смуги, Гц	Ширина смуги, Гц	Середня частота, Гц	Парціальна потужність відносно $4 \cdot 10^{-10}$ (Па) ²
1	100-420	320	250	334100
2	420-570	150	500	140800
3	570-710	140	650	59500
4	710-865	155	800	39300
5	865-1030	165	950	19400
6	1030-1220	190	1125	12700
7	1220-1410	190	1130	9600
8	1410-1600	190	1500	7100
9	1600-1780	180	1700	4900
10	1780-1960	180	1875	3600
11	1960-2140	180	2050	2700
12	2140-2320	180	2225	2300
13	2320-2550	230	2425	2400
14	2550-2900	350	2725	2800
15	2900-3300	400	3100	2400
16	3300-3660	360	3500	1600
17	3660-4050	390	3850	1600
18	4050-5010	960	4550	3100
19	5010-7250	2240	6150	4000
20	7250-10000	2750	8600	2600

Оптимальний коефіцієнт передачі $K(N)$ тракту мікрофон-підсилювач-акустичні головки-споживач інформації розраховуємо з виразу

$$P_{\text{ш}}(N) + P_c(N)K^2(N) = \frac{P_{\Sigma}}{20},$$

де $P_{\text{ш}}(N)$ і $P_c(N)$ – відповідно потужності шуму і сигналу в кожній рівноартикуляційній смузі.

2. Прикладні розрахунки

Наведені теоретичні положення використані при оптимізації АЧХ підсилювача, призначеного для передавання мовної інформації на автобусах.

У табл. 2 наведені рівні звукового тиску внутрішнього шуму в салоні відносно $2 \cdot 10^{-5}$ Па, задані в октавних смугах [3], звідки надалі зроблено перерахунок цих рівнів для кожної рівноартикуляційної смуги.

Таблиця 2

Граничнодопустимі рівні акустичного шуму. $SF = 85$ дБА

Середньгеометрична частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
P , дБА	108	99	92	86	83	80	78	76	74

Остаточні результати обчислень, за наведеною вище формулою, показані на рис. 1. Складова і словесна розбірливості на рис. 2 визначені формантним методом згідно з [2].

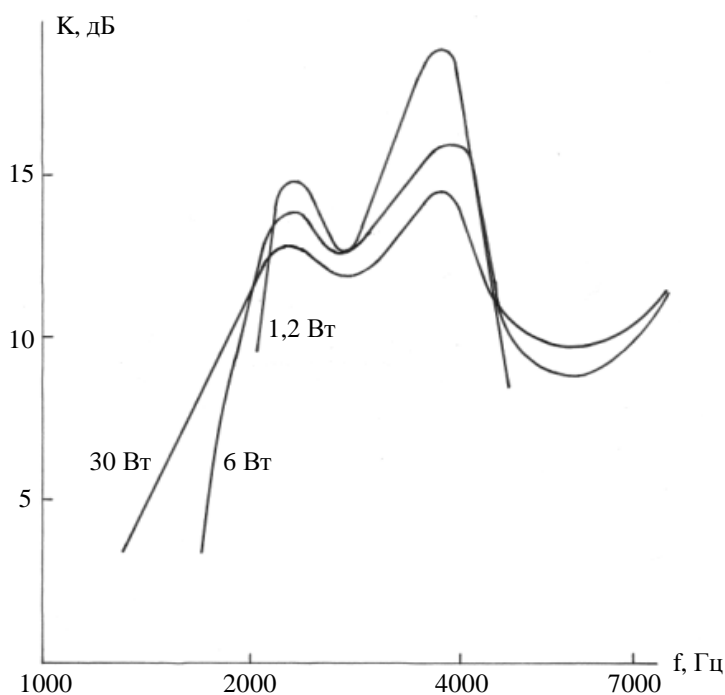


Рис. 1. Залежність оптимальної АЧХ тракту мікрофон-ПНЧ-акустичні головки при різних вихідних потужностях ПНЧ

3. Практична реалізація

Теоретичні дослідження знайшли впровадження під час розробки транспортного гучномовного пристрою ТГУ-28, зовнішній вигляд якого показано на рис. 3. До складу пристрою входять ПНЧ, стабілізатор напруги живлення, дві акустичні головки типу 4ГДШ-8 і мікрофон типу МФ7Б.

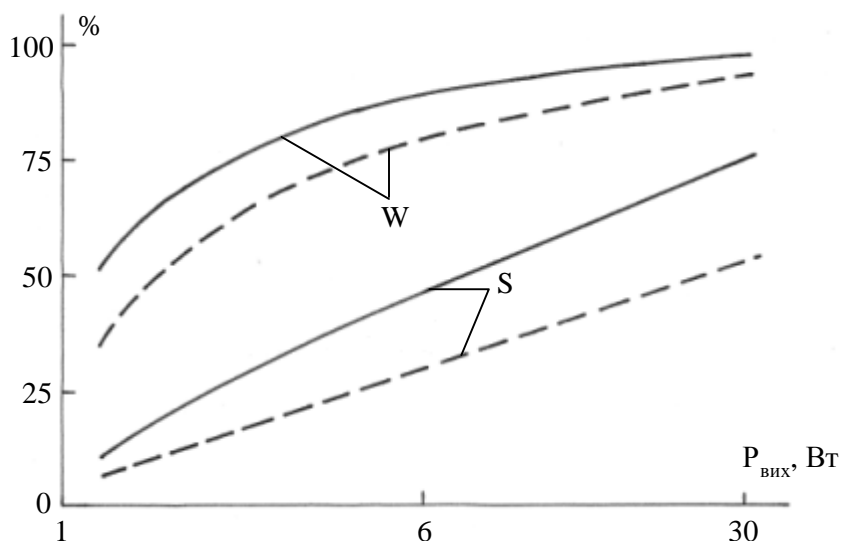


Рис. 2. Залежність складової S та словесної W розбірливостей мовного повідомлення від вихідної потужності ПНЧ: суцільна лінія – для оптимальної АЧ звукового тракту; пунктирна – для рівномірної АЧХ

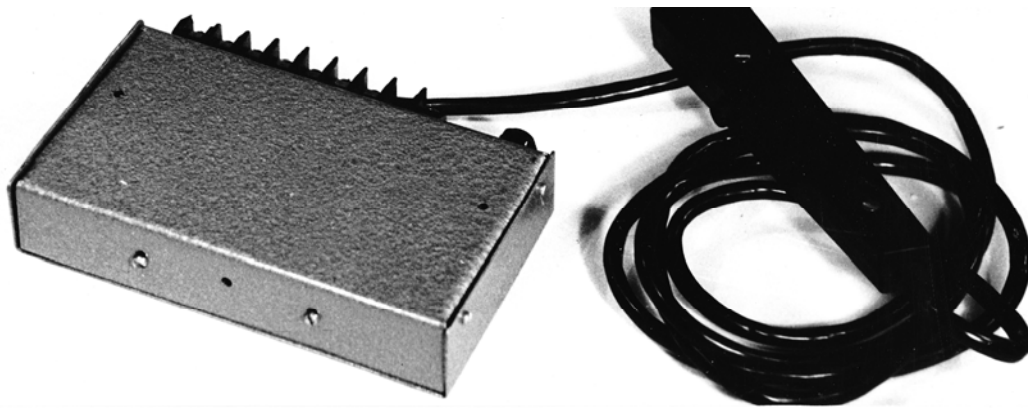


Рис. 3. Зовнішній вигляд пристрою ТГУ-28

На передній панелі пристрою знаходиться світлодіодний індикатор вихідної напруги стабілізатора живлення. На колодці, розташованій на задній стінці пристрою, розміщені клеми для під'єднання мікрофона, провідників від акустичних головок, бортмережі напругою 28 В, бортмережі напругою 14 В (вони ж – вихід стабілізатора напруги 14 В, до якого під'єднуються автомобільний плейер і радіоприймач).

Кліматичні і механічні вимоги відповідають ГОСТ 11478.

Основні електричні характеристики пристрою такі:

а) живлення – від мережі напругою $28,8_{-7,2}^{+2,4}$ В (без стабілізатора напруги допускається живлення від мережі $14,4_{-3,6}^{+1,2}$ В);

б) номінальна вихідна потужність на навантаженні 4 Ома – 4 Вт;

в) чутливість з клем мікрофона – 4 мВ;

г) АЧХ – оптимальна за критерієм максимальної розбірливості мови.

Схема пристрою принципова електрична подана на рис. 4.

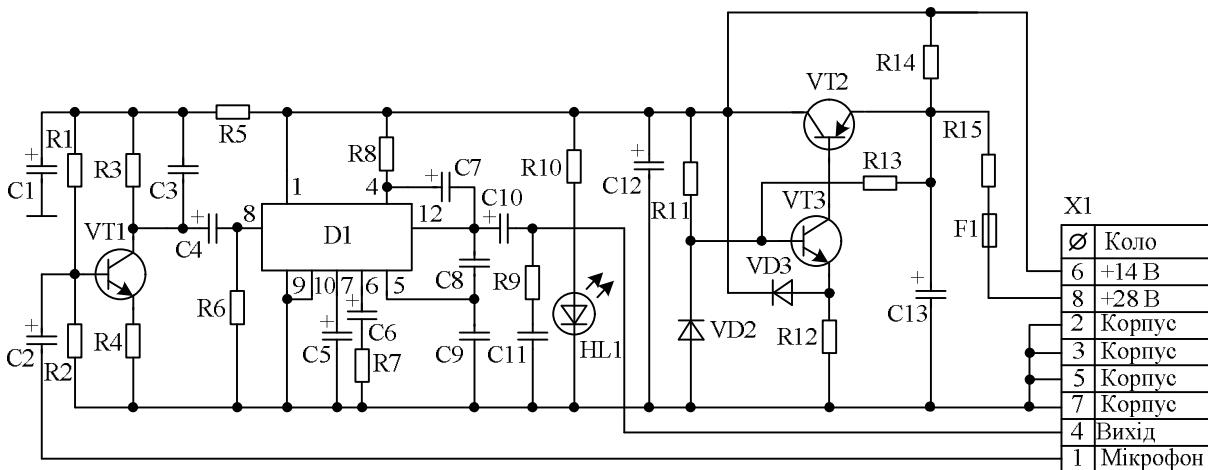


Рис. 4. Схема пристрою принципова електрична

Попередній ПНЧ виконаний на транзисторі VT1 із спільним емітером і від'ємним зворотним зв'язком по струму через резистор R4. Кінцевий ПНЧ зібрано на ІМС типу К174УН9 за типовою схемою. Він охоплений глибоким від'ємним паралельним зворотним зв'язком, тому регулятор гучності не потрібний. Необхідна АЧХ формується мікрофоном на диференційній капсулі ДЭМШ-1а і конденсаторами C1, C3, C6. Побудова схеми компенсаційного стабілізатора на транзисторах VT2, VT3 забезпечує захист ІМС від короткого замикання на виході. Струм спокою не перевищує 20 мА і істотно не впливає на розряд акумуляторів, тому вимикач живлення відсутній.

Артикуляційні випробування на автобусі, що проводились згідно з вимогами [2], але з використанням таблиць української мови [4], підтвердили одержані теоретичні результати.

Висновки

1. Показана суперечність вимог ГОСТу 24388 щодо підсилювачів, які працюють в умовах акустичних завод.

2. Словесна розбірливість у пристрою-аналога значно менша за 70 % і не відповідає технічним умовам, що підтверджено теоретично і артикуляційними випробуваннями.

3. Оптимальна характеристика коефіцієнта передачі системи мікрофон-підсилювач-акустичні головки повинна мати спад в області низьких частот із крутістю не менше 12 дБ на октаву.

4. Використання підсилювача низької частоти з оптимальною амплітудно-частотною характеристикою дає можливість підвищити словесну розбірливість мови від 81 до 89 % або при тій самій розбірливості зменшити вихідну потужність підсилювача втричі.

5. Наведена методика розрахунку частотної залежності оптимального коефіцієнта передавання звукового тракту придатна для будь-яких пристроїв передавання мовної інформації з обмеженою середньою потужністю за умови дії акустичних завод.

- 1. ГОСТ 24388 (СТ СЭВ 1079). Усилители звуковой частоты. Общие технические условия.*
- 2. Покровский Н.Б. Расчёт и измерение разборчивости речи. – М.: Связьиздат, 1962. – 392 с.*
- 3. ГОСТ 19358 (СТ СЭВ 4846). Внешний и внутренний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений.*
- 4. Журавльов В.М. Таблиці слів української мови для артикуляційних випробувань розбірливості мови, що передається трактами зв'язку / В.М. Журавльов, О.О. Архіпова, А.В. Доровських // Зв'язок. – 2010. – №1. – С. 9 – 11.*