

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
імені Ігоря Сікорського

С.А.Луньова, М.В.Вдовенко

ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНА АПАРАТУРА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 171 «Електроніка», спеціалізації
„Акустичні електронні системи»

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Рецензенти: Сенченко І.В., к.ф-м.н.

Відповідальний

редактор Дідковський В.С., д.т.н., професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 01/04/2019 р.)
за поданням Вченої ради факультету (протокол № 02 / 2019 від 26.02.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Луньова Світлана Андріївна
Вдовенко Марія Володимирівна

ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНА АПАРАТУРА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Електроакустична апаратура. Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка", спеціалізації „Акустичні електронні системи» / С.А.Луньова, М.В.Вдовенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 38 с.

Навчально-методичне видання містить методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з розрахунку технічних характеристик електроакустичної апаратури і надає змогу студентам отримати знання та практичні навички доцільного вибору електроакустичних засобів для вирішення задач озвучування та звукопідсилення в приміщенні та на відкритому просторі. В навчальному посібнику наведені загальні теоретичні положення стосовно акустичних характеристик приймачів та випромінювачів звуку, зазначені методи розрахунку основних характеристик електроакустичної апаратури та наведена структура розрахунково-пояснювальної записки.

В додатках наведені приклади сучасних зразків звукоприймальних та звуковипромінювальних приладів провідних іноземних фірм. Викладений матеріал супроводжується посиланнями на сучасну спеціалізовану літературу та нормативні документи, перелік яких наведений в кінці методичних вказівок.

© С.А.Луньова, М.В.Вдовенко, 2019

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Завдання на розрахунково-графічну роботу	5
2 Склад, обсяг і структура розрахунково-графічної роботи	5
3 Технічні характеристики гучномовців та мікрофонів	6
1.1 Технічні характеристики гучномовців (акустичних систем)	6
1.2 Технічні характеристики мікрофонів	7
4 Паспортні дані гучномовців та мікрофонів	9
4.1 Паспортні дані гучномовців	9
4.2 Паспортні дані мікрофонів	9
5 Рекомендації до виконання розрахунково-пояснювальної записки	10
5.1 Розрахунок технічних характеристик гучномовців	10
5.2 Розрахунок технічних характеристик мікрофонів	20
6 Рекомендації до виконання графічної частини розрахунково-графічної роботи	26
Список рекомендованої літератури	28
Додаток А. Приклади з каталогу MAG Speakers	30
Додаток Б. Приклади з каталогу G. Neuman GmbH	34

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота «Розрахунок технічних характеристик гучномовців і мікрофонів» з дисципліни «Електроакустична апаратура» виконується згідно з навчальним планом для студентів спеціальності «Акустичні електронні системи».

Тематика розрахунково-графічної роботи надає змогу студентам ознайомитися з акустичними характеристиками [1-6] сучасних зразків продукції провідних вітчизняних та іноземних фірм. Під час виконання розрахунково-графічної роботи студенти вивчають розділи міжнародних нормативних документів ISO/IEC 13818-3, 11172-3; IEC 268-5, 60050-581, 581-5, які стосуються регламентованих технічних параметрів та акустичних характеристик гучномовців та мікрофонів [7-11], та виконують їх розрахунки, виходячи з паспортних даних, вказаних в каталогах електроакустичної апаратури виробництва вітчизняних і зарубіжних фірм [12-16]. За результатами виконаної роботи студенти отримують знання та уміння для оптимального вибору електроакустичних засобів для подальшого вирішення задач озвучування та звукопідсилення в приміщеннях та на відкритому просторі.

При виконанні розрахунків параметрів електроакустичної апаратури закріплюються знання, здобуті в курсах «Електроакустична апаратура» та «Прикладна акустика», а також при виконанні курсового проекту «Проект електродинамічного гучномовця».

В матеріалах навчального посібника наведені формули та вказані методи розрахунків основних акустичних характеристик гучномовців та мікрофонів, зазначена структура розрахунково-пояснювальної записки. Список літератури містить посилання на офіційні сайти провідних виробників електроакустичної апаратури.

1. ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

1. Обрати з каталогів сучасної електроакустичної апаратури [12-16] (приклади подані в дод.А, дод.Б) по одному пристрою, відповідно, випромінювальної і приймальної дії (гучномовець або акустичну систему і мікрофон).

2. За вказаними в каталогах паспортними даними приладів розрахувати їх технічні параметри та акустичні характеристики згідно з міжнародними нормативними документами ISO/IEC 11172-3, 13818-3, IEC 268-5, 60050-581, 581-5 [7-11].

2. СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота повинна включати:

- завдання на РГР;
- вступ (з викладенням основних технічних характеристик гучномовців та мікрофонів згідно з ISO/IEC 11172, ISO/IEC 13818, IEC 268, 581);
- описання обраних для розрахунку параметрів гучномовця та мікрофона;
- паспортні характеристики гучномовця та мікрофона;
- розрахунок регламентованих технічних параметрів та акустичних характеристик гучномовця та мікрофона згідно з ISO/IEC 11172, 13818, IEC 268, 581;
- висновки щодо якості та особливостей застосування розглянутих пристроїв.

3. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГУЧНОМОВЦІВ ТА МІКРОФОНІВ

3.1. Технічні характеристики гучномовців(акустичних систем)

Технічні характеристики гучномовців та акустичних систем, регламентовані нормативними документами ISO/IEC 11172-3, ISO/IEC 13818-3, ISO/IEC 268-5 [7-9] включають визначення наступних основних параметрів:

1. Номінальний електричний опір.
2. Номінальна потужність.
3. Максимальна шумова потужність.
4. Максимальна синусоїдальна потужність.
5. Максимальна короткочасна потужність.
6. Максимальна довготривала потужність.
7. Частота основного резонансу.
8. Добротність голівки гучномовця:
 - механічна добротність;
 - електрична добротність;
 - повна добротність.
9. Еквівалентний об'єм голівки гучномовця.
10. Номінальний діапазон частот.
11. Частотна характеристика за звуковим тиском.
12. Середній звуковий тиск.
13. Характеристична чутливість.
14. Рівень характеристичної чутливості.
15. Середній стандартний звуковий тиск.
16. Характеристична потужність.

17. Нерівномірність частотної характеристики.
18. Діапазон відтворюваних частот.
19. Діаграма направленості.
20. Коефіцієнт направленості.
21. Індекс направленості.
22. Коефіцієнт осьової концентрації.
23. Індекс осьової концентрації.
24. Середня акустична потужність.
25. Приведений коефіцієнт корисної дії.
26. Коефіцієнт гармонік.

3.2. Технічні характеристики мікрофонів

Технічні характеристики мікрофонів, регламентовані міжнародними нормативними документами ISO/IEC 268.1, ISO/IEC 268.4, ISO/IEC 581-5, 60050-581 [9-11] включають такі параметри:

1. Номінальний діапазон частот.
2. Повний електричний опір на частоті 1 кГц.
3. Номінальний опір навантаження.
4. Чутливість мікрофону:
 - осьова;
 - тилова;
 - у вільному полі;
 - в дифузному полі;
 - середня.
5. Рівень чутливості.
6. Стандартний рівень чутливості.

7. Нерівномірність частотної характеристики.
8. Характеристика направленості.
9. Перепад чутливості «фронт-тил» для напрямків $0^\circ / 180^\circ$ і $0^\circ / 90^\circ$.
10. Коефіцієнт направленості.
11. Індекс направленості.
12. Коефіцієнт гармонік.
13. Рівень максимального звукового тиску.
14. Динамічний діапазон.
15. Рівень власних шумів.
16. Відношення «сигнал-шум» (S/N ratio).
17. Різність рівнів чутливості стереосистеми у вільному полі (для стереофонічних мікрофонів).
18. Маркування.

4. ПАСПОРТНІ ДАНІ ГУЧНОМОВЦІВ ТА МІКРОФОНІВ

Найчастіше в каталогах електроакустичної апаратури вказуються наступні паспортні дані [7-11].

4.1. Паспортні дані гучномовців

1. Максимальна електрична потужність.
2. Номінальна електрична потужність.
3. Номінальна електрична напруга.
4. Номінальний електричний опір.
5. Рівень звукового тиску:
 - номінальний;
 - стандартний.
6. Діапазон частот з заданою нерівномірністю.

7. Кут розкриву діаграми направленості.
8. Розміри.

4.2. Паспортні дані мікрофонів

1. Тип мікрофона (за способом перетворення енергії та способом прийому акустичних хвиль).
2. Характеристика направленості.
3. Частотний діапазон.
4. Частотна характеристика.
5. Чутливість в [мВ/Па] або [дБ SPL].
6. Максимальний рівень звукового тиску.

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

5.1. Розрахунок технічних характеристик гучномовців

1. **Номінальний електричний опір** – активний опір, яким заміщують опір гучномовця при визначенні електричної потужності, що до нього підводиться.

Величина номінального електричного опору вказується в паспортних даних.

2. **Номінальна потужність** – електрична потужність, при якій нелінійні спотворення гучномовця не перевищують припустимих значень.

Номінальна потужність вказується в паспортних даних.

3. **Максимальна шумова потужність** - електрична потужність шумового сигналу в заданому діапазоні частот, яку гучномовець витримує тривалий час без теплових і механічних пошкоджень.

Максимальна шумова потужність має бути не менша за номінальну потужність.

4. Максимальна синусоїдальна потужність - електрична потужність неперервного синусоїдального сигналу в заданому діапазоні частот, яку гучномовець витримує тривалий час без теплових і механічних пошкоджень.

Максимальна синусоїдальна потужність має бути не менша за номінальну потужність.

5. Максимальна короткочасна потужність - електрична потужність шумового сигналу в заданому діапазоні частот, яку гучномовець витримує без необоротних механічних пошкоджень протягом 1с (випробування повторюють 60 разів з інтервалом в 1 хвилину).

Максимальна короткочасна потужність має бути не меншою за максимальну шумову потужність гучномовця.

6. Максимальна довгочасна потужність - електрична потужність шумового сигналу в заданому діапазоні частот, яку гучномовець витримує без необоротних механічних пошкоджень протягом 1 хвилини (випробування повторюють 10 разів з інтервалом в 2 хвилини).

Максимальна довгочасна потужність має бути не меншою за максимальну шумову потужність гучномовця.

7. Частота основного резонансу гучномовця - частота збуджувального синусоїдального сигналу, при якій значення модулю повного електричного опору голівки гучномовця має свій перший максимум:

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{mc}},$$

де m – маса рухомої системи [кг];

c – гнучкість підвісів [м/Н];

Найчастіше слід розраховувати з нижньої частоти робочого діапазону f_H :

- для низькочастотного і широкополосного варіантів, що працюють у закритому зовнішньому оформленні:

$$f_0 \approx f_H;$$

- у відкритому зовнішньому оформленні:

$$f_0 \approx (1,1 \div 1,2) f_H;$$

- у фазоінверторі

$$f_0 \approx (1,2 \div 1,5) f_H;$$

- для високочастотних гучномовців:

$$f_0 \approx (0,5 \div 0,8) f_H;$$

- для рупорних нормального типу:

$$f_0 \approx \sqrt{f_H f_B}.$$

Частота основного резонансу може бути вказана в паспортних даних.

8. Добротність голівки гучномовця - відношення інерційної складової механічного опору рухомої системи голівки гучномовця на частоті основного резонансу до активної складової опору:

$$Q = \frac{\omega_0 m}{r},$$

де m - маса рухомої системи;

r – механічні втрати.

Можливо обрахувати з частотної характеристики в області резонансу (Рис.4.1):

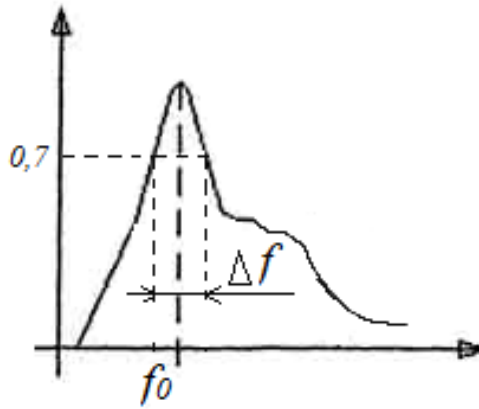


Рис.4.1. Резонансна область частотної характеристики гучномовця:
ширина частотної смуги на рівні 0,7 (або -3 дБ) від максимального значення
звукового тиску $\Delta f = f_2 - f_1$;

$$\text{добротність голівки гучномовця } Q = \frac{\Delta f}{f_0}$$

8.1.Механічна добротність голівки гучномовця - добротність, зумовлена втратами в механічних елементах рухомої системи голівки гучномовця (добротність при відсутності струму в електричному полі голівки гучномовця).

8.2.Електрична добротність гучномовця - добротність, зумовлена наявністю струму проти Е.Р.С. в електричному полі голівки гучномовця.

8.3.Повна добротність голівки гучномовця - добротність голівки гучномовця, зумовлена сумарним впливом механічних втрат і струму проти Е.Р.С. в електричному полі голівки.

9. Еквівалентний об'єм голівки гучномовця - закритий об'єм повітря, який має таку саму гнучкість, як і гнучкість рухомої системи гучномовця $C_{гн}$:

$$C_{гн} = \frac{V_0}{\rho_0 S_0^2 c_0^2}, \text{ або } V_0 = C_{гн} \rho_0 S_0^2 c_0^2,$$

де V_0 - еквівалентний об'єм голівки гучномовця, m^3 ;

$\rho_0 c_0$ - густина та швидкість звуку в повітрі при нормальних атмосферних

умовах $t_0 = 20^\circ\text{C}$; $P = 1$ ат: $\rho_0 = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $c_0 = 330 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

S_∂ – площа дифузора, м^2 .

Гнучкість підвісів дифузора знаходиться за формулою

$$C_{\text{гн}} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 m_\Sigma},$$

де $m_\Sigma = m_\partial + m_{\text{зк}} + m_{\text{пр}}$.

Приєднана маса повітря для $m_{\text{пр}}$:

– для закритого зовнішнього оформлення:

$$m_{\text{пр}} \approx 3\rho_0 r_\partial^3;$$

– для відкритого зовнішнього оформлення:

$$m_{\text{пр}} \approx 5\rho_0 r_\partial^3,$$

де r_∂ - радіус дифузору.

Маса дифузору:

$$m_\partial = \frac{\pi r_\partial^2 \Delta_\partial \rho_\partial}{\sin \alpha}.$$

де Δ_∂ - товщина дифузору, $\Delta_\partial \approx 0,3 \cdot 10^{-2} r_\partial$

Густина матеріалу, з якого виконано дифузор:

$$\rho_\partial = \begin{cases} (0,3 \div 0,5) \cdot 10^3 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] & \text{– для НЧ гучномовців} \\ 0,9 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] & \text{– для ВЧ гучномовців} \end{cases}$$

Маса звукової котушки приблизно дорівнює масі провода котушки:

$$m_{\text{зк}} \approx m_n; m_n \approx l_n S_n \rho_n,$$

де $\rho_n = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - густина для міді.

S_n - площа перетину проводу.

Провід звукової котушки обираємо за стандартними значеннями його діаметру d_n (враховуючи потужність гучномовця і діапазон частот) з таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 Стандартні значення діаметрів проводу звукової котушки

$d_n, \text{м} \cdot 10^{-3}$	$d_n, \text{м} \cdot 10^{-3}$	$d_n, \text{м} \cdot 10^{-3}$	$d_n, \text{м} \cdot 10^{-3}$	$d_n, \text{м} \cdot 10^{-3}$
0,06	0,11	0,16	0,21	0,31
0,07	0,12	0,17	0,23	0,35
0,08	0,13	0,18	0,25	0,38
0,09	0,14	0,19	0,27	0,41
0,1	0,15	0,2	0,29	0,49

Виходячи із заданого номінального електричного опору R :

$$R = \gamma \frac{l_n}{S_n},$$

знаходимо довжину проводу звукової котушки:

$$l_n = \frac{RS_n}{\gamma},$$

де $\gamma = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом · м – для мідного проводу.

Розраховуємо масу проводу, і, відповідно, масу звукової котушки.

10. Номінальний діапазон частот - діапазон частот, в якому задані електричні та електроакустичні характеристики гучномовця.

11. Частотна характеристика за звуковим тиском, при постійному значенні напруги – графічна або чисельна залежність від частоти рівня звукового тиску, що розвивається гучномовцем, в певній точці вільного поля, яка знаходиться на визначеній відстані від робочого центру при сталому значенні напруги на виводах гучномовця.

12. Середній звуковий тиск – середньоквадратичне значення звукового тиску, який розвивається гучномовцем у заданому діапазоні частот і точці вільного поля при підведенні до нього напруги, що відповідає заданій електричній потужності.

Усереднення виконується за значеннями звукового тиску на частотах (або в смугах частот), що розподілені рівномірно в логарифмічному масштабі.

13. Характеристична чутливість – середній звуковий тиск, що розвивається гучномовцем у заданому діапазоні частот на робочій осі на відстані 1 м від робочого центру:

$$E = \frac{P}{\sqrt{P_{el}}} = \frac{\sqrt{P_{el}}}{I},$$

де P_{el} - електрична потужність.

14. Рівень характеристичної чутливості:

$$E_{хар, дБ} = 20 \lg \frac{E_{хар}}{2 \cdot 10^{-5}}.$$

15. Середній стандартний звуковий тиск – середній звуковий тиск, що розвивається гучномовцем у заданому діапазоні частот на робочій осі на відстані 1 м від робочого центру при потужності 0,1 Вт.

$$P_{СТ} = E_{хар} \sqrt{0,1}.$$

16. Характеристична потужність - електрична потужність, яку необхідно підвести до гучномовця, щоб забезпечити номінальний середній тиск 1 Па:

$$\sqrt{P_{ел.хар}} = \frac{P|_{P=1\text{Па}}}{E_{хар}},$$

$$P_{\text{хар}} = \frac{1}{E_{\text{хар}}^2}.$$

17. Нерівномірність частотної характеристики – різниця мінімального та максимального значень рівнів звукового тиску в заданому діапазоні частот. Піки і провали частотної характеристики, вужчі за 1/8 октави, не враховуються.

Нерівномірність частотної характеристики зазвичай вказана в паспортних даних.

18. Діапазон відтворюваних частот – діапазон частот, всередині якого частотна характеристика звукового тиску, усереднена в 1/3-октавних смугах, не виходить за межі допустимих.

Діапазон відтворювальних частот вказується у паспортних даних.

19. Діаграма направленості - графічна залежність, одержана в умовах вільного поля, рівня звукового тиску для даних частот (або смуг частот) і відстані від робочого центру гучномовця від кута між робочою віссю і напрямком в точку вимірювання:

а) якщо направленість задана числовими даними (кутом розкриття основної пелюстки на рівні (-3) дБ або (-6) дБ; кутом направленої дії та рівнем додаткових пелюсток), то діаграму направленості можна відновити за цими даними (Рис.4.2)

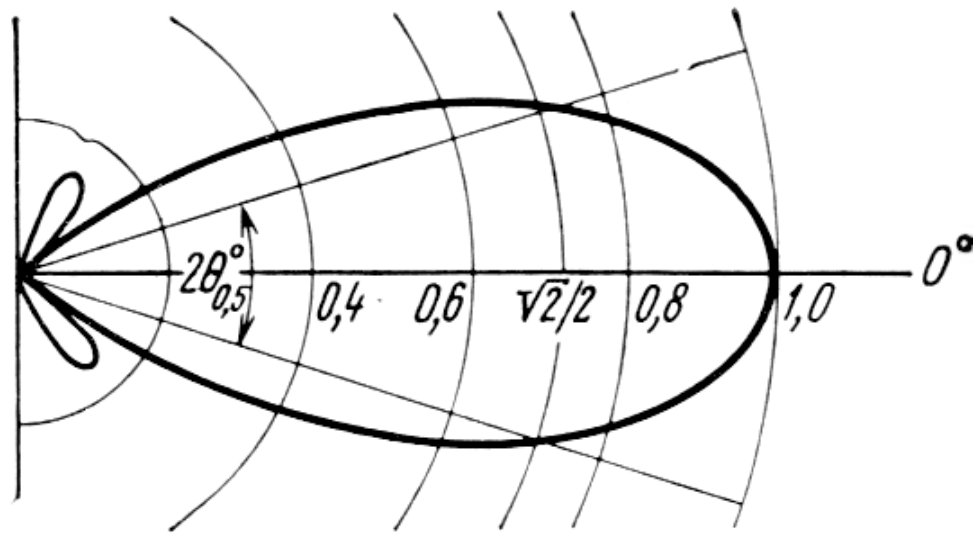


Рис. 4.2. Відновлення графіку характеристики направленості за числовими характеристиками

б) розрахувати і побудувати графічне зображення діаграми направленості, виходячи з розмірів випромінювача, за формулою:

$$R(\theta) = \frac{2I_1(x)}{x}, \quad x = \frac{\pi D}{\lambda} \sin(\theta),$$

де $I_1(x)$ – функція Бесселя першого порядку,

D – діаметр гучномовця.

Для звукової колонки, побудованої з N однакових випромінювачів, діаграму направленості в горизонтальній площині слід розраховувати за формулою:

$$R(\theta) = \frac{2I_1(x)}{x} \cdot \frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}{N \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}, \quad x = \frac{\pi D}{\lambda} \sin(\theta)$$

де функція $\frac{2I_1(x)}{x}$ описує направленість одного гучномовця;

d - відстань між гучномовцями.

В горизонтальній площині діаграма направленості має вигляд $R(\theta)$ для одиничного гучномовця без зовнішнього оформлення:

$$R(\theta) = \frac{2I_1(x)}{x} \cos(\theta),$$

де множник $\cos(\theta)$ враховує осцилюючий характер руху.

20. Коефіцієнт направленості – відношення звукового тиску, виміряного під заданим кутом відносно робочої осі, до звукового тиску на робочій осі, для однієї і тієї ж частоти (смуги частот) і на одній і тій самій відстані від робочого центру гучномовця.

Доцільно вказати $R(90^\circ)$ на частоті 1 кГц.

21. Індекс направленості

$$R_{\partial B} = 20 \lg R(90^\circ).$$

22. Коефіцієнт осьової концентрації – відношення квадрату значення звукового тиску, виміряного на даній частоті (смузі частот) в умовах вільного поля на робочій осі на заданій відстані від робочого центру гучномовця, до середнього значення квадрату звукового тиску, виміряного при тих же умовах і на тій же відстані по поверхні сфери, в центрі якої знаходиться робочий центр гучномовця.

Коефіцієнт осьової концентрації можна розрахувати через апроксимовану діаграму направленості за формулою:

$$\Omega = \frac{2}{\int_0^\pi R^2(\theta) \sin \theta d\theta},$$

де θ – вісь симетрії.

23. Індекс осьової концентрації

$$\Omega_{\partial B} = 10 \lg \Omega.$$

24. Середня акустична потужність – середнє арифметичне значення акустичної потужності, що випромінюється гучномовцем в певному діапазоні частот. Усереднення проводиться за значеннями акустичної потужності на частотах (в смугах частот), розподілених рівномірно в логарифмічному масштабі.

Можна обчислити за значеннями середнього номінального звукового тиску:

$$P_{ак} = P_{НОМ} \nu,$$

де $P_{НОМ}$ - номінальний середній звуковий тиск;

ν – коливальна швидкість.

Сила реакції

$$F_p = \nu z_u,$$

$$\nu = \frac{F_p}{R_g} = \frac{P_{НОМ} S_{\partial}}{R_g},$$

де S_{∂} - площа дифузора.

Активна складова опору випромінювання

$$R_g = \rho_0 c_0 S_{\partial} R_g', \text{ де}$$

$$R_g' = \begin{cases} \text{при } kr_{\partial} < 2: \\ \frac{(kr_{\partial})^2}{2} - \text{відкрите зовнішнє оформлення} \\ \frac{(kr_{\partial})^2}{4} - \text{закрите зовнішнє оформлення} \\ \frac{8(kr_{\partial})^4}{27\pi^2} - \text{без зовнішнього оформлення} \\ \text{при } kr_{\partial} < 2; \\ \approx 1 \text{ для всіх типів зовнішнього оформлення} \end{cases}$$

25. Приведений коефіцієнт корисної дії - відношення акустичної потужності, що випромінюється гучномовцем на даній частоті (смузі частот), до електричної потужності, що підводиться:

$$\eta = \frac{P_{ак}}{P_{ел}}.$$

26. Коефіцієнт гармонік n-ого порядку - відношення, виражене у відсотках ефективного значення звукового тиску сигналу, що містить частоту збудження і всі її гармоніки при збудженні гучномовця синусоїдальним сигналом:

$$K\% = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1}$$

де A_n – амплітуди складових відповідних гармонік;

A_1 – амплітуда основного сигналу.

5.2. Розрахунок технічних характеристик мікрофонів

1. Номінальний діапазон частот – діапазон частот, в якому виконуються всі задані параметри мікрофону.

Регламентується в залежності від класу мікрофона:

- «нульовий» клас (вища група, студійні мікрофони): $f \in [20\text{Гц} \div 20\text{кГц}]$
- «перший» клас: $f \in [31,5\text{Гц} \div 18\text{кГц}]$
- «другий» клас: $f \in [50\text{Гц} \div 15\text{кГц}]$
- «третій» клас: $f \in [63\text{Гц} \div 12,5\text{кГц}]$

2. Повний електричний опір – модуль вхідного опору (внутрішній опір) на частоті 1 кГц визначається класом мікрофону:

- «0» клас – $R \leq 50 \text{ Ом}$
- «1» клас – $R = 100 \text{ Ом}; 200 \text{ Ом}$
- «II - III» клас – $R = 2 \text{ кОм}$

3. Номінальний опір навантаження.

Опір навантаження обирають таким, що в декілька разів перевищує внутрішній вхідний опір мікрофона:

$$R_H = 5R_i \text{ (режим близький до Х.Х.)}$$

При цьому напруга на навантаженні приблизно в 2 рази вища, ніж в режимі узгодженого навантаження.

4. Чутливість мікрофона – відношення напруги U на виході мікрофона до звукового тиску P , що діє на нього:

$$E = \frac{U}{P} \left[\frac{\text{мВ}}{\text{Па}} \right]$$

Визначають осьову (за фронтом) і тилову (за протилежним напрямом) чутливості та чутливості у вільному і дифузному полі.

Середня чутливість розраховується як середньоквадратичне значення в номінальному діапазоні частот мікрофона на стандартних частотах: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000 Гц:

$$E_{сер} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N E_n^2},$$

де E_n – чутливості на стандартних частотах, що знаходяться в межах номінального діапазону частот.

Осьова чутливість у вільному полі (звуковий тиск вимірюється за відсутності мікрофону) для професійних конденсаторних мікрофонів «нульового» та «першого» класу, при модулі повного електричного опору 200 Ом, має бути не меншою за 10 мВ/Па, а для динамічних мікрофонів першої групи складності – 1 мВ/Па.

Відхилення чутливості на частоті 1 кГц, від мінімального значення, вказаного в технічних умовах для даного типу мікрофону, не повинно перевищувати 2,5 дБ для мікрофонів «нульового» класу і 6 дБ для мікрофонів «першого» і «другого» класу.

5. Рівень чутливості – чутливість, що виражається в дБ відносно величини $E_0 = 1 \frac{мВ}{Па}$:

$$L_M = 20 \lg \frac{E}{E_0} = 20 \lg E - 60 \text{ дБ}.$$

6. Стандартний рівень чутливості – відношення (в дБ) напруги U_H на номінальному опорі навантаження $R_{НОМ}$ при звуковому тиску 1 Па до напруги, що відповідає потужності 1 мВт:

$$L_{СТ} = 10 \lg \left(\frac{U_H^2}{R_{НОМ} \cdot 10^{-3}} \right),$$

або через чутливість $E_H = \frac{U_H}{1\text{Па}}$:

$$L_{CT} = 20\lg \frac{E_H}{\sqrt{R_{НОМ}} \cdot 10^{-3}}.$$

7. Нерівномірність частотної характеристики визначається як різниця між максимальним і мінімальним рівнями чутливості мікрофона в номінальному діапазоні частот:

$$\Delta L = L_{max} - L_{min}.$$

Регламентується в залежності від класу мікрофону. Відхилення від типової форми частотної характеристики не повинно перевищувати:

- «0» клас – $\Delta L = \pm 2\text{дБ}$;
- «1» клас – $\Delta L = \pm 2,5\text{дБ}$;
- «II-III» клас – $\Delta L = \pm 3\text{дБ}$.

8. Характеристика направленості – нормована залежність чутливості мікрофона у вільному полі на певній частоті f (або у смузі з середньгеометричною частотою $f_{сер}$) від кута θ між акустичною віссю мікрофона і напрямком на джерело звуку:

$$R(\theta) = \frac{E(\theta)}{E_{oc}}.$$

Вигляд діаграми направленості (в полярних координатах) наводиться у паспортних даних, або витікає з типу мікрофону: мікрофони тиску – ненаправлені; градієнту тиску – двонаправлені (асиметричні – однонаправлені).

9. Перепад чутливості «фронт-тил» в дБ.

Нормується для випадків: $0^\circ/180^\circ$ та $0^\circ/90^\circ$.

Для ненаправлених мікрофонів перепад чутливості $0^\circ/90^\circ$ (у вільному полі)

не повинен перевищувати значень:

$f = 1 \text{ кГц}$	до 2 дБ
$f = (1 \div 5) \text{ кГц}$	до 4 дБ
$f = (5 \div 8) \text{ кГц}$	До 8 дБ

Для однонаправлених мікрофонів в діапазоні частот:

$f = (250 \div 5000) \text{ кГц}$	до 4 дБ
-----------------------------------	---------

(для мікрофонів нульової групи – не менше 20 дБ).

Перепад чутливості “фронт-тил” знаходиться з графіка діаграми направленості, як:

$$20 \lg \frac{R(0^\circ)}{R(180^\circ)} \text{ і } 20 \lg \frac{R(0^\circ)}{R(90^\circ)}.$$

10. Коефіцієнт направленості – відношення квадрату чутливості мікрофону у вільному полі в напрямку акустичної осі до середнього (за всіма напрямками) значення квадрату чутливості на певній частоті (або в смузі частот з середньгеометричною частотою $f_{сер}$).

Через характеристику направленості вираз коефіцієнту направленості знаходиться як:

$$\Omega = \frac{2}{\int_0^\pi R^2(\theta) \sin \theta d\theta}.$$

Для його обрахування вид діаграми направленості можна задати відповідною формулою; $R(\theta) = 1$; $R(\theta) = \cos \theta$ або $R(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2}$, або діаграму направленості, задану графіком, апроксимувати за шириною основної пелюстки $2\theta_0$ ($2\theta_0$ - кут розкриття на рівні (-3) дБ або 0,707 від максимального значення):

$$R(\theta) = \begin{cases} 1, & \text{при } \theta \in [0; \theta_0] \\ 0, & \text{при } \theta \in [\theta_0; \pi] \end{cases}.$$

11. Індекс направленості визначається як коефіцієнт направленості в дБ:

$$Q = 10 \lg \Omega.$$

12. Коефіцієнт гармонік мікрофона (не вимірюють і не нормують). Цей коефіцієнт зазвичай невеликий – до 0,5% при рівні звукового тиску 120 дБ.

13. Рівень граничного звукового тиску – нормується в діапазоні 250-8000 Гц як такий, при якому коефіцієнт гармонік не перевищує 0,5%. Такий коефіцієнт може утримуватися у мікрофонів різних класів:

- нульового – при 140 дБ;
- першого – 120 дБ;
- другого та третього – 114 дБ.

14. Динамічний діапазон – різниця між рівнями граничного звукового тиску

L_{gp} і власних шумів $L_{шуму}$:

$$D = L_{gp} - L_{шуму}, \text{ дБ.}$$

15. Рівень власних шумів вимірюють на виході мікрофону за відсутності акустичного сигналу. Власні шуми виникають як наслідок теплових шумів резисторів і підсилювальних елементів електричної частини мікрофона.

Рівень власного шуму визначають, як рівень еквівалентного звукового тиску $P_{ш}$, при дії якого на мікрофон утвориться така сама напруга, що і внаслідок дії власного шуму:

$$L_{ш} = 20 \lg \frac{P_{ш}}{P_0}, \text{ дБ,}$$

$$\text{де } P_{ш} = \frac{U_{ш}^2}{E_0}; \quad P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па;}$$

E_0 - осьова чутливість мікрофону.

Рівень власного шуму L_{III} не повинен перевищувати 18 - 20 дБА:

- для нульового та першого класу (для конденсаторних мікрофонів – в межах 14 - 25 дБА);
- для другого і третього класу: (35 - 38) дБА.

16. Відношення «сигнал-шум» (S/Nratio, SNR, Signal-to-NoiseRatio) – різниця між рівнем опорного звукового тиску 94 дБ (1 Па) та рівнем власного шуму:

$$S / N \text{ ratio} = 94\text{дБ} - L_{III}.$$

Для студійних мікрофонів («0» класу) SNR знаходиться в межах 74-84 дБ.

17. Різниця рівнів чутливості визначається для стереосистеми у вільному полі в діапазоні 250 – 8000 Гц.

Для мікрофонів нульового класу не повинна перевищувати 1,5 дБ; для всіх інших – не більше 3 дБ.

18. Маркування. Умовні позначення:

- МД – динамічний мікрофон
- МП – плівковий мікрофон
- МК – конденсаторний мікрофон
- МЕ – електретний мікрофон

Цифрове позначення: перша цифра вказує на клас складності; останні цифри – порядковий номер розробки моделі; позначення літерами: С – стереофонічний мікрофон, літери А, Б, В, Г – кількість вдосконалень конструкції.

6. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Графічна частина роботи включає побудову частотної характеристики гучномовця і мікрофона, а також побудову їх характеристик направленості.

Частотна характеристика приладів являє собою залежність звукового тиску (Па) від частоти, а також рівня звукового тиску (дБ) від частоти.

Частотна шкала подається виключно в логарифмічному масштабі з позначенням стандартних частот, які є середніми значеннями октавних частотних смуг: 31,25 Гц; 62,5 Гц; 125 Гц; 250 Гц; 500 Гц; 1000 Гц; 2000 Гц; 4000 Гц; 8000 Гц; 16000 Гц.

На графіку залежності звукового тиску від частоти має бути позначене середнє значення звукового тиску і номінальний діапазон частот. На графіку залежності рівня звукового тиску від частоти потрібно позначити номінальний діапазон частот, а також максимальні і мінімальні значення рівнів звукового тиску з указанням нерівномірності частотної характеристики в межах робочого діапазону частот.

Діаграми направленості гучномовців і мікрофонів представляють просторовий розподіл нормованого звукового тиску випромінювача і нормованої чутливості приймача у дальньому полі. Діаграми направленості будуються в полярних координатах в горизонтальній площині випромінювальної або приймальної діафрагми відповідного пристрою.

Діаграми направленості подаються на низьких, середніх і високих частотах (125 Гц; 500 Гц; 4000 Гц). Для низькочастотних гучномовців – на стандартних частотах в межах робочого діапазону.

Для гучномовців діаграма направленості може бути відновлена за числовими характеристиками, вказаними в паспортних даних, або побудована за формулами, наведеними у п.4.1, з урахуванням зовнішнього оформлення.

Для мікрофонів діаграма направленості будується за формулами [1,3] у відповідності з типом мікрофону в залежності від вказаного у паспортних даних способу прийому акустичних хвиль: мікрофон тиску – ненаправлений; мікрофон градієнту тиску – двонаправлений або одно направлений (кардіоїдний,

суперкардіоїдний, гіперкардіоїдний).

Виходячи з побудованих графіків діаграми направленості, слід зробити висновок щодо зміни направлених властивостей приладу в залежності від частоти.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Анерт А.** Основы техники звукоусиления/ А.Анерт, В.Райхардт; пер. с нем. Б.Белкина – М.; Радио и связь, 1984. - 320с. – Библиогр.: с.302-311.
2. **Вахитов Я.Ш.** Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. – М.: Искусство, 1982. – 460с. – Библиогр.: с.411-413.
3. **Ковалгин Ю.А.** Электроакустика и звуковое вещание/ под ред. Ковалгина Ю.А. – М.: Горячая линия –Телеком, 2007. – 845с. – Библиогр.: с.864-865.
4. **Акустика:** Справочник/ под ред. Сапожкова М.А. – М.: Радио и связь, 1988. – 340с. – Библиогр.: с. 333-335.
5. **Бытовая** электроакустическая аппаратура: Справочник / И.А. Алдошина, В.Б.Бревдо, Г.Н. Веселов и др. – М.: Радио и Связь, 1992. – 177с.- Библиогр.: с.172-173.
6. **Микрофоны** и телефоны: Справочник / Сидоров И.Н., Димитров А.А. – М.: Радио и связь, 1993. – 120с. – Библиогр.: с.116-117.

Стандарты

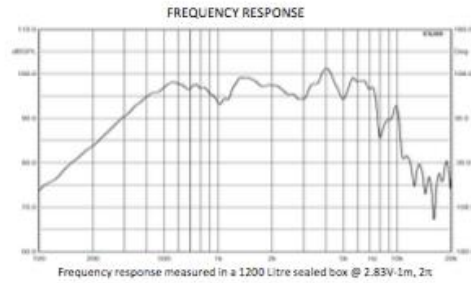
7. **Generic** coding of moving pictures and associated audio information: ISO/IEC 13818-3:1995-Information technology.-Part 3: Audio. - Technical committee ISO/IECjTC1/SC29.-p.150.
8. **Coding** of moving pictures and associated audio for digital storage media: ISO/IEC 11172-3:1993-Information technology.-Part 3: Audio. - Technical committee ISO/IECjTC1/SC29.-p.140.
9. **The power** handing capacity of a loudspeaker: IEC 268-5:2008 – Second Edition 1989-07 - International Standard.-Part 5. - Technical committee ISO/IEC. - p.138.
- 10.**Electromechanical** components for electronic equipment: IEC 60050-581:2008-International Standard. – Part 581. - Technical committee ISO/IEC. - p.146.
- 11.**High fidelity** audio equipment and systems: IEC 581-5:1985 - International Standard. - Part 5: Microfones. - Technical committee ISO/IEC. - p.18.

Інформаційні ресурси

12. **Каталог** продукції фірми MAG-Audio: <https://mag-audio.com/ru/>.
13. **Каталог** продукції фірми PHILIPS: <https://www.philips.ua/> ru;
<https://audiomania.ru/jbl.html>
14. **Каталог** продукції фірми JBL: www.jbl.com
15. **Каталог** продукції фірми NEUMANN: <http://www.neumann.com>
16. **Каталог** продукції фірми BRUEL and KJAER: tecon.com.ua/bruel-and-kjaer.html; www.istcgroup.com/bruel.php

Додаток А

Приклади з каталогу MAG Speakers



Specifications

Nominal diameter, inches (mm)	6,5 (165)
Nominal impedance, Ohm	8/16
Rated power (AES), W	100
Frequency range, Hz	400-7000
Sensitivity (1W / 1m), dB	98
Minimum impedance, Ohm	7@750Hz
Bl product, Tm	10,9
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,48
Moving mass Mms, g	9,8
Voice coil	
Diameter, inches (mm)	1,5(38)
Winding material	CCAR
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	8,5
Magnetic system	
Magnetic gap depth, mm	6,5
Flux density, T	1,28

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	290
Vas, l	0,9
Qts	0,59
Qes	0,94
Qms	1,62
Re, Ohm	6,18
Sd cm ²	143
Xmax, mm	2,6
η, %	2,2
Mounting information	
Overall diameter, mm	164/188
Baffle cutout diameter, mm	148
Bolt hole diameter, mm	5,5
Bolt circle diameter, mm	172
Height, mm	77
Net weight, kg	1,9



M0612

Product description

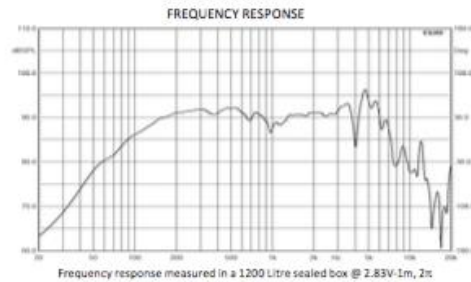
Mid frequency transducer for horn and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast frame;
- removable self-centering ferrite magnet system;
- edgewound copper clad aluminum voice coil.

Product specification

- 6.5" nominal diameter;
- 200 W AES program power;
- 98 dB 1W/1m sensitivity;
- 1.5" CCAR voice coil;
- 1.9 kg weight.



Specifications

Nominal diameter, inches (mm)	6,5 (165)
Nominal impedance, Ohm	8/16
Rated power (AES), W	130
Frequency range, Hz	70-6000
Sensitivity (1W / 1m), dB	92,5
Minimum impedance, Ohm	6,9@350Hz
Bl product, Tm	11,2
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,9
Moving mass Mms, g	15,2
Voice coil	
Diameter, inches (mm)	1,75 (44)
Winding material	copper
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	12,5
Magnetic system	
Magnetic gap depth, mm	7
Flux density, T	1,1

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	58
Vas, l	11,2
Qts	0,24
Qes	0,26
Qms	4,5
Re, Ohm	5,8
Sd cm ²	127
Xmax, mm	4,5
η, %	0,82
Mounting information	
Overall diameter, mm	164/188
Baffle cutout diameter, mm	148
Bolt hole diameter, mm	5,5
Bolt circle diameter, mm	172
Height, mm	83
Net weight, kg	2,5



M0615

Product description

Mid bass transducer for compact two-way and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast frame with improved voice coil ventilation;
- removable self-centering ferrite magnet system;
- inside-outside copper voice coil.

Product specification

- 6.5" nominal diameter;
- 260 W AES program power;
- 92.5 dB 1W/1m sensitivity;
- 1.75" copper voice coil;
- 2.5 kg weight.

6N100

**Product description**

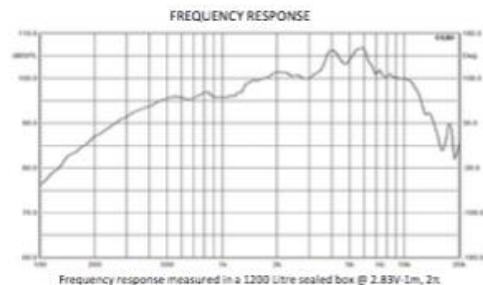
High output mid frequency transducer for horn and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast frame;
- removable self-centering neodymium magnet system;
- edgewound copper clad aluminum voice coil;
- aluminum phase plug for improve dispersion control.

Product specification

- 6.5" nominal diameter;
- 200 W AES program power;
- 101 dB 1W/1m sensitivity;
- 1.5" CCAR voice coil;
- 1.5 kg weight.

**Specifications**

Nominal diameter, inches (mm)	6,5(165)
Nominal impedance, Ohm	8/16
Rated power (AES), W	100
Frequency range, Hz	400-8000
Sensitivity (1W / 1m), dB	101
Minimum impedance, Ohm	15,1@800Hz
Bl product, Tm	19,3
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,32
Moving mass Mms, g	7,3

Voice coil

Diameter, inches (mm)	1,5(38)
Winding material	CCAR
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	8,5

Magnetic system

Magnetic gap depth, mm	6,5
Flux density, T	1,7

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	320
Vas, l	1
Qts	0,38
Qes	0,49
Qms	1,75
Re, Ohm	12,7
Sd cm ²	143
Xmax, mm	2,6
η, %	6,5

Mounting information

Overall diameter, mm	164/188
Baffle cutout diameter, mm	148
Bolt hole diameter, mm	5,5
Bolt circle diameter, mm	172
Height, mm	68
Net weight, kg	1,5

6N101

**Product description**

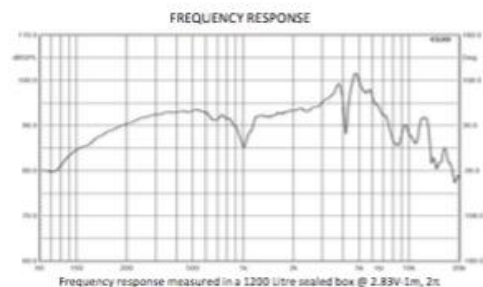
Mid bass transducer for compact two-way and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast frame with improved voice coil ventilation;
- removable self-centering neodymium magnet system;
- inside-outside copper voice coil;
- shorting copper cap.

Product specification

- 6.5" nominal diameter;
- 260 W AES program power;
- 93 dB 1W/1m sensitivity;
- 1.75" copper voice coil;
- 1.5 kg weight.

**Specifications**

Nominal diameter, inches (mm)	6,5(165)
Nominal impedance, Ohm	8/16
Rated power (AES), W	130
Frequency range, Hz	70-6000
Sensitivity (1W / 1m), dB	93
Minimum impedance, Ohm	13,8@360Hz
Bl product, Tm	15
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,16
Moving mass Mms, g	11,7

Voice coil

Diameter, inches (mm)	1,75(44)
Winding material	copper
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	12,5

Magnetic system

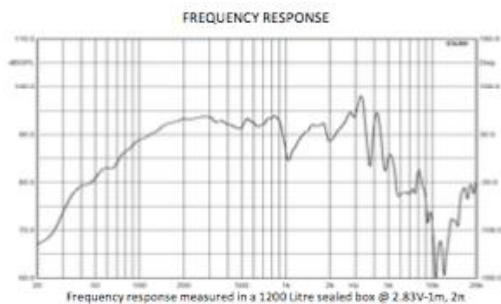
Magnetic gap depth, mm	6
Flux density, T	1,4

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	66,3
Vas, l	11,3
Qts	0,23
Qes	0,24
Qms	4,58
Re, Ohm	11,3
Sd cm ²	127
Xmax, mm	5
η, %	1,32

Mounting information

Overall diameter, mm	164/188
Baffle cutout diameter, mm	148
Bolt hole diameter, mm	5,5
Bolt circle diameter, mm	172
Height, mm	78
Net weight, kg	1,5



Specifications

Nominal diameter, inches (mm)	8(200)
Nominal impedance, Ohm	16
Rated power (AES), W	200
Frequency range, Hz	65-4000
Sensitivity (1W / 1m), dB	94
Minimum impedance, Ohm	13,2@310Hz
BI product, Tm	20,0
Voice coil inductance, mH (1kHz)	1,8
Moving mass Mms, g	30,3
Voice coil	
Diameter, inches (mm)	2(51)
Winding material	copper
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	19
Magnetic system	
Magnetic gap depth, mm	8
Flux density, T	1,23

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	59,7
Vas, l	15,7
Qts	0,3
Qes	0,31
Qms	8,4
Re, Ohm	11,0
Sd cm ²	219
Xmax, mm	7,5
η, %	1,03

Mounting information

Overall diameter, mm	206/236
Baffle cutout diameter, mm	185
Bolt hole diameter, mm	5,5
Bolt circle diameter, mm	217
Height, mm	102
Net weight, kg	1,8



Product description

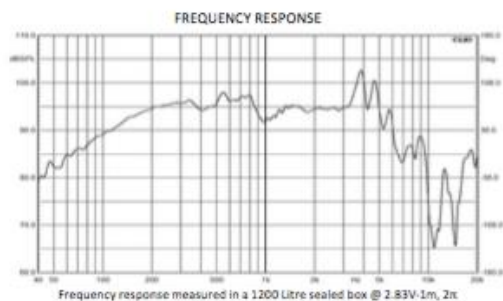
Mid bass transducer for compact two-way and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast frame with improved voice coil ventilation;
- removable self-centering neodymium magnet system;
- inside-outside copper voice coil;
- treated cone for water protection.

Product specification

- 8" nominal diameter;
- 400 W AES program power;
- 94 dB 1W/1m sensitivity;
- 2" copper voice coil;
- 1.8 kg weight.



Specifications

Nominal diameter, inches (mm)	8(200)
Nominal impedance, Ohm	8
Rated power (AES), W	300
Frequency range, Hz	60-4000
Sensitivity (1W / 1m), dB	95,5
Minimum impedance, Ohm	7,1@380Hz
BI product, Tm	14,6
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,7
Moving mass Mms, g	23,6
Voice coil	
Diameter, inches (mm)	2,5(64)
Winding material	CCAW
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	16,3
Magnetic system	
Magnetic gap depth, mm	8
Flux density, T	1,3

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	59,5
Vas, l	18,5
Qts	0,23
Qes	0,24
Qms	5,9
Re, Ohm	5,7
Sd cm ²	210
Xmax, mm	6
η, %	1,6

Mounting information

Overall diameter, mm	208/255
Baffle cutout diameter, mm	184
Bolt hole diameter, mm	8x5
Bolt circle diameter, mm	207
Height, mm	108
Net weight, kg	2,3



Product description

Mid bass transducer for line array modules and compact 2-way and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast octagonal frame with small installation dimensions;
- removable self-centering neodymium magnet system;
- inside-outside CCAW clad aluminum voice coil;
- ventilated voice coil gap;

Product specification

- 8" nominal diameter;
- 600 W AES program power;
- 95.5 dB 1W/1m sensitivity;
- 2.5" CCAW voice coil;
- 2.3 kg weight.

10N321



Product description

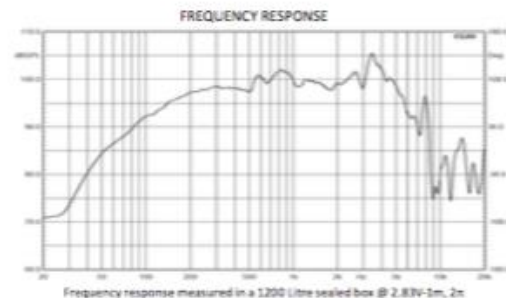
High output mid bass transducer for horn and multi-way speakers.

Main features:

- aluminum die-cast octagonal frame with small installation dimensions;
- removable self-centering neodymium magnet system;
- high-temperature inside-outside aluminum voice coil.

Product specification

- 10" nominal diameter;
- 600 W AES program power;
- 100 dB 1W/1m sensitivity;
- 3" voice coil;
- 3.7 kg weight.



Specifications

Nominal diameter, inches (mm)	10(250)
Nominal impedance, Ohm	8
Rated power (AES), W	300
Frequency range, Hz	80-5000
Sensitivity (1W / 1m), dB	100
Minimum impedance, Ohm	7@410Hz
Bl product, Tm	20,2
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,44
Moving mass Mms, g	34,2
Voice coil	
Diameter, inches (mm)	3(76)
Winding material	aluminum
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	11
Magnetic system	
Magnetic gap depth, mm	8
Flux density, T	1,45

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	75,1
Vas, l	22
Qts	0,21
Qes	0,22
Qms	6,6
Re, Ohm	5,5
Sd cm²	346
Xmax, mm	3,5
η, %	4,1

Mounting information

Overall diameter, mm	264/285
Baffle cutout diameter, mm	233
Bolt hole diameter, mm	6x8
Bolt circle diameter, mm	263
Height, mm	122
Net weight, kg	3,7

10N500



Product description

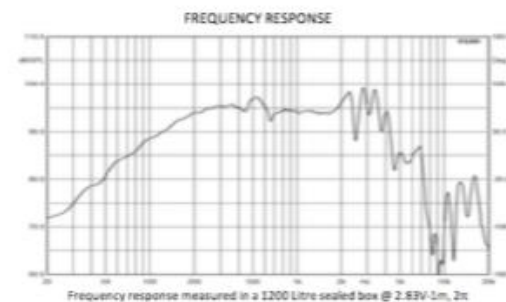
High output low frequency transducer for line array modules, horn and compact bass-reflex enclosures.

Main features:

- aluminum die-cast octagonal frame with small installation dimensions;
- removable self-centering neodymium magnet system;
- inside-outside copper voice coil;
- ventilated voice coil gap;
- aluminum demodulation ring.

Product specification

- 10" nominal diameter;
- 1000 W AES program power;
- 96 dB 1W/1m sensitivity;
- 3" copper voice coil;
- 3.9 kg weight.



Specifications

Nominal diameter, inches (mm)	10(250)
Nominal impedance, Ohm	8/16
Rated power (AES), W	500
Frequency range, Hz	60-2200
Sensitivity (1W / 1m), dB	96
Minimum impedance, Ohm	4,3@300Hz
Bl product, Tm	21,6
Voice coil inductance, mH (1kHz)	0,6
Moving mass Mms, g	48,8
Voice coil	
Diameter, inches (mm)	3(76)
Winding material	copper
Former material	glass fiber
Winding depth, mm	19
Magnetic system	
Magnetic gap depth, mm	10
Flux density, T	1,35

Thiele-Small parameters

Fs, Hz	63
Vas, l	21,5
Qts	0,22
Qes	0,23
Qms	5,7
Re, Ohm	3,2
Sd cm²	346
Xmax, mm	7
η, %	2,3

Mounting information

Overall diameter, mm	264/285
Baffle cutout diameter, mm	233
Bolt hole diameter, mm	6x8
Bolt circle diameter, mm	263
Height, mm	130
Net weight, kg	3,9

Додаток Б

Приклади з каталогу Georg Neumann GmbH



Features

- Variable large diaphragm microphone
- Pressure-gradient transducer with double membrane capsule
- The studio microphone classic
- Three directional characteristics: omni, cardioid, figure-8
- Switchable low frequency roll-off
- Switchable 10 dB pre-attenuation
- Ideal as main and as support microphone in the most differing recording situations

The U 87 is probably the best known and most widely used Neumann studio microphone. It is equipped with a large dual-diaphragm capsule with three directional patterns: omnidirectional, cardioid and figure-8. These are selectable with a switch below the headgrille.

A 10 dB attenuation switch is located on the rear. It enables the microphone to handle sound pressure levels up to 127 dB without distortion.

Furthermore, the low frequency response can be reduced to compensate for proximity effect.



Applications

The U 87 Ai condenser microphone is a large diaphragm microphone with three polar patterns and a unique frequency and transient response characteristic.

Users recognize the microphone immediately by its distinctive design. It is a good choice for most general purpose applications in studios, for broadcasting, film and television.

The U 87 Ai is used as a main microphone for orchestra recordings, as a spot mic for single instruments, and extensively as a vocal microphone for all types of music and speech.

Acoustic features

The U 87 Ai is addressed from the front, marked with the Neumann logo.

The frequency response of the cardioid and figure-8 directional characteristics are very flat for frontal sound incidence, even in the upper frequency range.

The microphone can be used very close to a sound source without the sound becoming unnaturally harsh.

By means of a high-pass filter interferences through subsonic and low frequencies are reduced remarkably.



U 87 Ai

Large Diaphragm Microphone

Polar patterns

The dual-diaphragm capsule is elastically mounted and protected by a large headgrille.

A switch below the headgrille selects the three directional patterns: omnidirectional, cardioid and figure-8.

A window above this switch shows the symbol of the selected characteristic.



Electrical features

The letter A in the name indicates a more recent generation, as compared to the U 87 i microphones that were built from 1967 to 1986. Modifications apply to the electronic components of the microphone only; the capsule remained unchanged.

The present-day circuitry increases the operational headroom of the U 87 Ai by supplying the bias voltages for the capsule through a reduced resistance. The result is a higher sensitivity of 10 dB for identical sound pressure levels, and an improved S/N ratio of 3 dB.

Filter and attenuation

A switch located at the rear attenuates the sensitivity by 10 dB. When this switch is activated, the microphone accepts sound pressure levels up to 127 dB (equivalent to a sound pressure of 45 Pa) without distortion.

An additional switch at the rear allows to change the microphone's cutoff frequency. This reduces low frequency interference directly at the input of the microphone amplifier.

This setting also compensates for the unavoidable bass boost that occurs with all pressure gradient transducers when they are used at close distance (proximity effect).

The cardioid characteristic maintains a smooth frequency response at a distance of 30 to 40 cm, the figure-8 characteristic even at a distance of 15 to 20 cm.



Application Hints

- For universal use
- The classical studio mic for vocalists (soloists and background vocalists)
- Announcer's mic for broadcasting, dubbing, voice-over
- Overhead
- Spot mic for
 - wind instruments
 - strings (especially cello and double bass)
 - piano
 - percussion
- Note: To record instruments with very high sound pressure levels we recommend our mics with TLM circuitry

These are just some of the most common applications. We recommend additional experimentation to gain maximum use from this microphone.

Delivery Range

Microphone U 87 Ai (mt)
Wooden box

Catalog No.

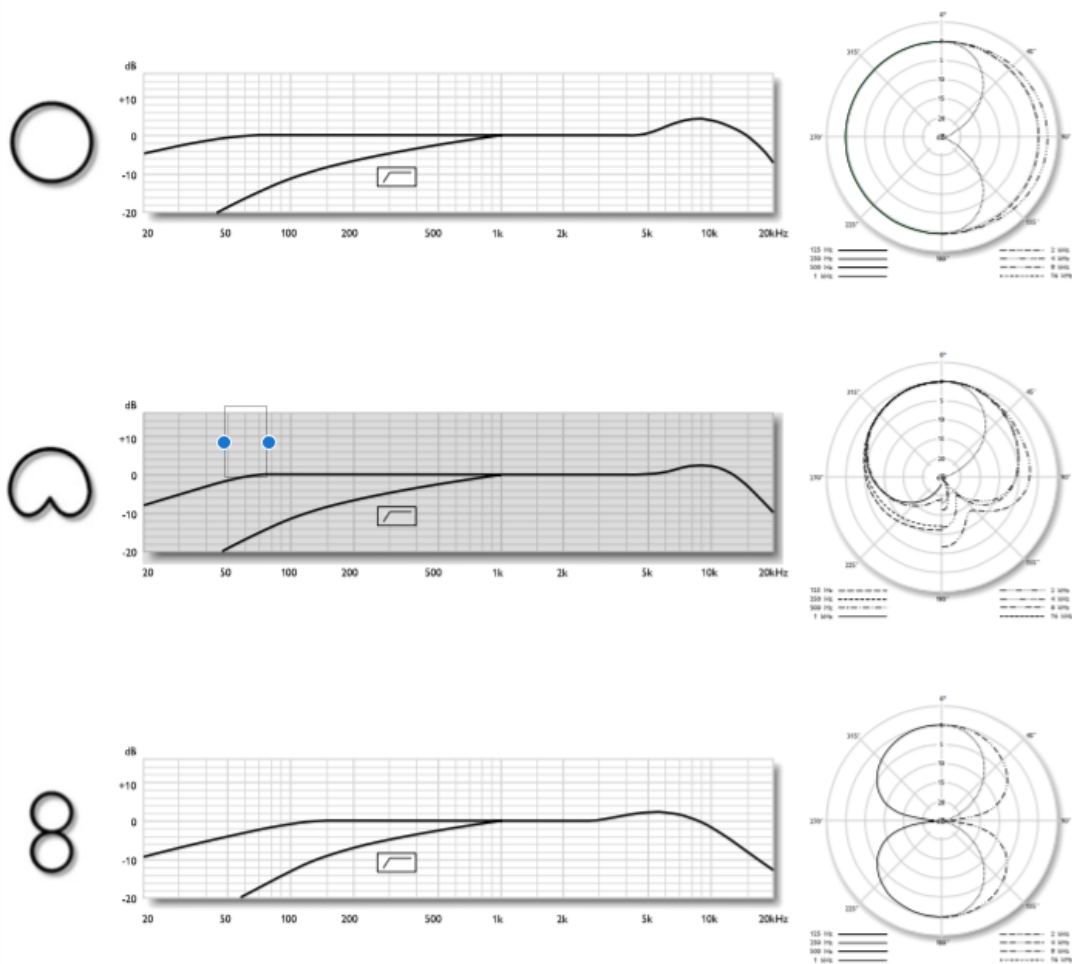
U 87 Ai ni 07022
U 87 Ai mt blk 07023

Selection of Accessories

Battery supply, BS 48 i blk 06494
Power supply, N 48 I-2 (230 V) blk 06500
Power supply, N 48 I-2 (117 V) blk 06502
Power supply, N 48 I-2
(without plug-in mains unit) blk 06504
Auditorium hanger, MNV 87 ni 06804
Auditorium hanger, MNV 87 mt blk 06806
Elastic suspension, EA 87 ni 07297
Elastic suspension, EA 87 mt blk 07298
Stand mount swivel, SG 367 mt blk 06145
Popscreen, PS 20 blk 07346
Windscreens, WS 87 blk 06753
Microphone cable, IC 4 mt
(with stand mount swivel) blk 06557

A complete survey and detailed descriptions of all accessories are contained in the accessories catalog.

Meaning of color codes:
blk = black
ni = nickel



Technical Data

Acoustical operating principle Pressure gradient transducer
 Directional pattern Omnidirectional, cardioid, figure-8
 Frequency range 20 Hz..20 kHz
 Sensitivity at 1 kHz into 1 kohm 20/28/22 mV/Pa*
 Rated impedance 200 ohms
 Rated load impedance 1000 ohms
 Equivalent SPL CCIR 486-3 26/23/25 dB*
 Equivalent SPL DIN/IEC 651 15/12/14 dB-A*
 S/N ratio CCIR 486-3 68/71/69 dB*
 S/N ratio DIN/IEC 651 79/82/80 dB*
 Maximum SPL for THD 0.5% 117 dB (cardioid)

Maximum SPL for THD 0.5% with preattenuation 127 dB
 Maximum output voltage 390 mV
 Dynamic range of the microphone amplifier DIN/IEC 651 105 dB
 Supply voltage 48 V $\pm$ 4 V
 Current consumption 0.8 mA
 Matching connector XLR3F
 Weight 500 g
 Diameter 56 mm
 Length 200 mm

* Omni-directional / cardioid / figure-8