

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для проведення практичної роботи №13
з навчальної дисципліни
«ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ»

для студентів освітнього рівня «БАКАЛАВР»
денної форми навчання
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Телекомунікації та радіотехніка»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра біомедичної інженерії та телекомунікацій

Розглянуто і рекомендовано
на засіданні кафедри
біомедичної інженерії та телекомунікацій
протокол від «___» _____ 20__ р. №

Розробник: к.т.н., доц. доцент кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій
Дубина О.Ф.

Житомир
2020 – 2021 н.р.

Практична робота №13

Розрахунок показників ефективності екранування приміщень

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Екранування електромагнітних полів

Для запобігання просочуванню інформації по радіоелектронних технічних каналах просочування інформації, викликаних ПЕМІН і радіозаставними пристроями, на небезпечних напрямках застосовують електромагнітні екрани. Фізичні процеси при екрануванні відрізняються залежно від виду поля і частоти його зміни.

Розрізняють електричні екрани для екранування електричного поля, магнітні для екранування магнітного поля і електромагнітні — для екранування електромагнітного поля. Здатність екрану ослабляти енергію полів оцінюється ефективністю екранування (коефіцієнтом ослаблення).

Якщо напруженість поля до екрану рівна E_0 і H_0 , а за екраном — E_e і H_e , то $S_E = E_0/E_e$ і $S_H = H_0/H_e$.

На практиці ефективність екранування вимірюється в децибелах (дБ) і Непері (Нп):

$$S_{e(H)} = -20 \lg \{E_0(H_0)/E_e(H_e)\} \text{ [дБ]} \text{ или } S_{e(H)} = -20 \ln \{E_0(H_0)/E_e(H_e)\} \text{ [Нп]}.$$

Аналітичні залежності ефективності екранування визначені для моделей екранів, що ідеалізуються (гіпотетичних), у вигляді нескінченної плоскої однорідної струмопровідної поверхні, однорідній сферичній струмопровідній поверхні і однорідною нескінченно протяжній циліндровій струмопровідній поверхні. Для інших варіантів ефективність екранування визначається з погрішністю, залежною від ступеня їх подібності гіпотетичним.

1. При екрануванні електричного поля електрони екрану під дією зовнішнього електричного поля перерозподіляються таким чином, що на поверхні екрану, зверненій до джерела поля, зосереджуються заряди, протилежні по знаку зарядам джерела, а на зовнішній (іншій) поверхні екрану концентруються однакові із зарядами джерела поля (мал. 1).

Позитивні заряди на мал. 1 створюють вторинне електричне поле, близьке по напруженості до первинного. З метою виключення вторинного поля, що створюється зарядами на зовнішній поверхні екрану, екран заземляється і його заряди компенсуються зарядами землі. Екрану набуває потенціал, близький потенціалу землі, а електричне поле за екраном істотно зменшується.

Повністю усунути поле за екраном не вдається із-за неповної компенсації зарядів на його зовнішній стороні унаслідок ненульових значень опору в екрані і ланцюгах заземлення, а також із-за розповсюдження силових ліній поза межами екрану.

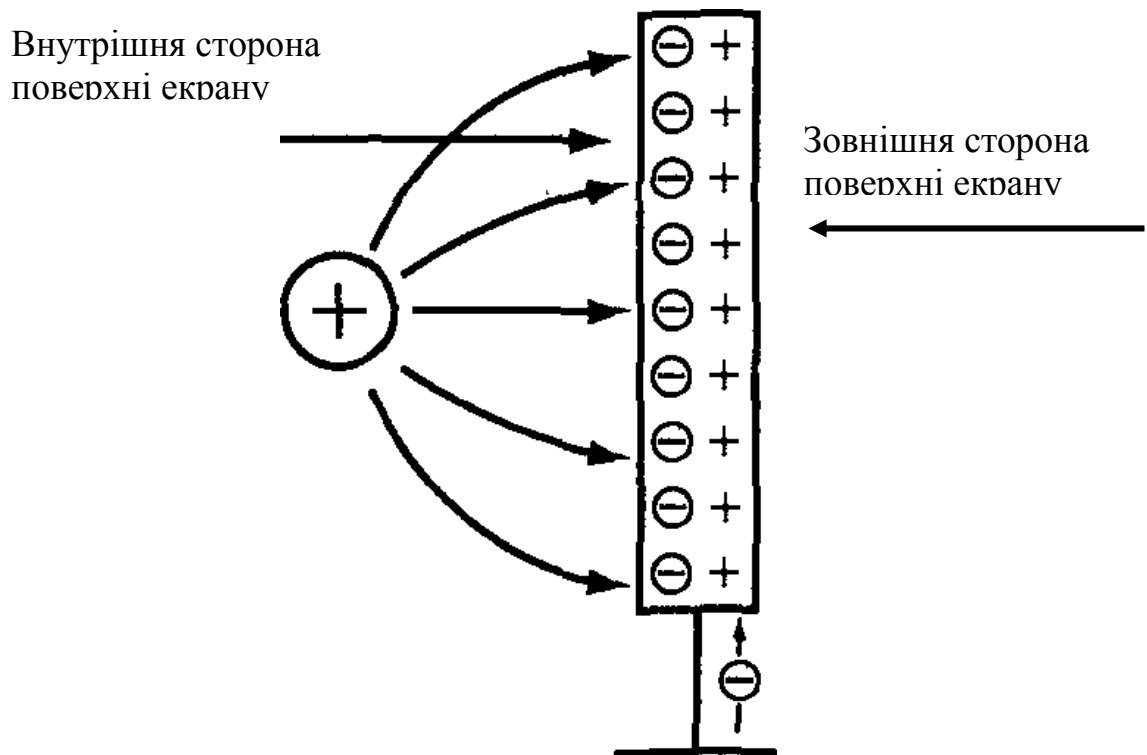


Рис.1. Екранування електричного поля

Ефективність екранування залежить від електропровідності екрану і опору заземлення. Чим вище провідність екрану і ланцюгів заземлення, тим вище ефективність електричного екранування. Товщина екрану і його магнітні властивості на ефективність екранування практично не впливають.

2. Екранування магнітного поля досягається в результаті дії двох фізичних явищ:

- «втягивания» (шунтування) магнітних силових ліній поля в екран з феромагнітних матеріалів ($\mu \gg 1$), обумовленого істотно меншим магнітним опором матеріалу екрану, чим навколишнього повітря;

- виникненням під дією змінного поля, що екранується, в струмопровідному середовищі екрану індукційних вихрових струмів, що створюють вторинне магнітне поле, силові лінії якого протилежні магнітним силовим первинного поля.

Магнітний опір пропорційний довжині магнітних силових ліній і обернено пропорційно до площі поперечного перетину даної ділянки і величини магнітної проникності середовища (матеріалу), в якому розповсюджуються магнітні силові лінії. При втягуванні магнітних силових ліній в екран зменшується їх напруженість за екраном. В результаті цього підвищується коефіцієнт екранування.

При дії на екран змінного магнітного поля в матеріалі екрану виникають також ЕДС, що створюють в матеріалі екрану вихрові струми у вигляді безлічі замкнених кілець. Кільцеві вихрові струми створюють вторинні магнітні поля, які витісняють основне і перешкоджає його проникненню углиб металу екрану. Екрануючий ефект вихрових струмів тим вище, чим вище частота поля і більше сила вихрових струмів.

Коефіцієнт екранування магнітною складовою поля є сумою коефіцієнтів екранування, обумовленого розглянутими фізичними явищами. Але частка доданків залежить від частоти коливань поля. При $f = 0$ екранування забезпечується тільки за рахунок шунтування магнітного поля середовищем екрану. Але з підвищенням частоти поля все сильніше виявляється вплив на ефективність екранування вторинного поля, обумовленого вихровими струмами в поверхні екрану. Чим вище частота, тим більше вплив на ефективність екранування вихрових струмів.

Через різний вплив розглянутих фізичних явищ магнітного екранування відрізняються вимоги до екранів на низьких і високих частотах. На низьких частотах (приблизно до одиниць кГц), коли переважає вплив першого явища, ефективність екранування залежить в основному від магнітної проникності матеріалу екрану і його товщини. Чим більше значення цих характеристик, тим вище ефективність магнітного екранування. Для екрану, наприклад, у вигляді куба ефективність магнітного екрану можна оцінити по формулі:

$$S_n \sim 1 - \mu d/D$$

де d — товщина стінок екрану; D — розмір сторони екрану кубічної форми.

Ефективність екранування за рахунок вихрових струмів залежить від їх сили, на величину якої впливає електрична провідність екрану. У свою чергу це опір прямо пропорціонально електричному опору матеріалу екрану і обернено пропорційно до його товщини. Проте у міру підвищення частоти поля товщина матеріалу екрану, в якій протікають вихрові струми зменшуються із-за так званого поверхневого або скін-ефекту.

Суть його обумовлена тим, що зовнішнє (первинне) магнітне поле слабшає у міру поглиблення в матеріал екрану, оскільки йому протистоїть зростаюче вторинне магнітне поле вихрових струмів. Напруженість змінного магнітного поля зменшується у міру проникнення його в метал екрану на глибину x від його поверхні по експоненціальному закону:

$$H_x = H_0 \exp(-x/\sigma)$$

де σ — еквівалентна глибина проникнення, відповідна ослабленню напруженості магнітного поля в 2,72 рази і обчислювана за формулою:

$$\sigma = 503 \sqrt{\rho/(f\mu)},$$

де ρ — питомий електричний опір матеріалу екрану в Ом • мм²/м; f — частота магнітного поля в Гц; μ — відносна магнітна проникність матеріалу екрану.

Зменшення еквівалентної глибини проникнення при збільшенні μ обумовлено тим, що феромагнітні матеріали «втягують» силові магнітні лінії первинного поля, внаслідок чого підвищуються концентрація магнітних силових ліній і, отже, напруженість магнітного поля усередині матеріалу екрану. В результаті цього підвищуються рівні індукованих в ній зарядів, слідством чого є збільшення значень вихрових струмів і напруженості вторинного магнітного поля. Таким чином, глибина проникнення тим менше, чим вище частота поля, питома магнітна проникність і електрична провідність металу екрану.

На високих частотах ефективність магнітного екранування в дБ екраном товщиною d в мм можна визначити, підставивши в $S_n = 20 Lg (H_x/H_0)$ вираз для H_x . В результаті такої підстановки і перетворення легко отримати, що

$$S_n = 0,0173 d \sqrt{f \mu} / ?$$

Проте цей вираз може використовуватися для наближеної оцінки ефективності екранування за умови, що значення d сумірно з λ .

Якщо $d \gg \lambda$, то із-за поверхневого ефекту збільшення d слабо впливає на ефективність екранування, та як вторинне магнітне поле створюють вихрові струми в поверхневому шарі екрану.

Отже, для забезпечення ефективного магнітного екранування на високих частотах слід для екранів використовувати матеріали з найбільшим відношенням μ / ρ , враховуючи при цьому, що з підвищенням f опір із-за поверхневого ефекту зростає в експоненціальній залежності. На високих частотах глибина проникнення може бути такою малою, а опір такий великий, що застосування матеріалів з високомагнітною проникливістю, наприклад пермалою, стає недоцільним. Для $f > 10$ МГц значний екрануючий ефект забезпечує мідний екран завтовшки всього 0,1 мм. Для екранування магнітних полів високочастотних контурів підсилювачів проміжної частоти побутових радио- і телевізійних приймачів широко застосовують алюмінієві екрани, які трохи поступаються міддю по питомому електричному опору, але істотно їх легше. Для високих частот товщина екрану визначається в основному вимогами до міцності конструкції.

Крім того, на ефективність магнітних екранів впливає конструкція самого екрану. Вона не повинна містити ділянок з отворами, прорізами, швів на шляху магнітних силових ліній і вихрових струмів, що створюють їм додатковий опір.

Оскільки магнітне екранування забезпечується за рахунок те ков, а не зарядів, магнітні екрани не потребують заземлення.

3. Фізичні процеси при електромагнітному екрануванні розглядаються на моделі, представлений на рис. 2.

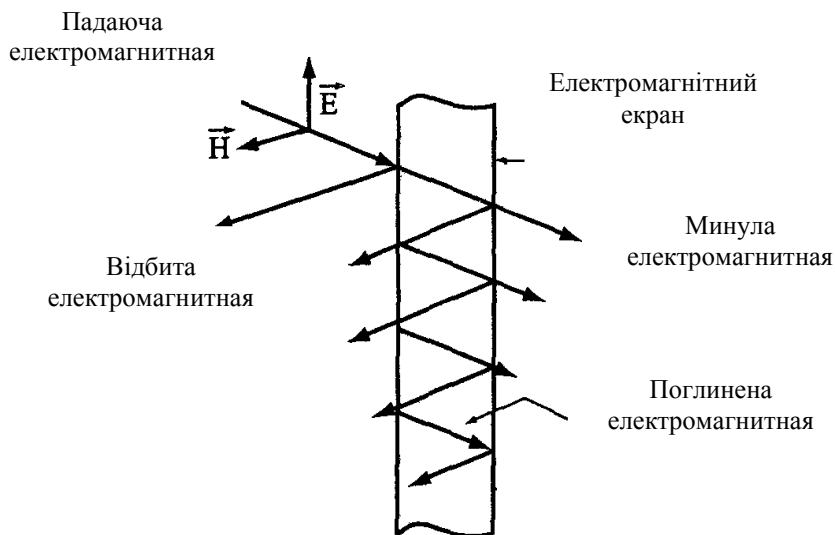


Рис. 2. Електромагнітне екранування

Електромагнітне екранування забезпечується за рахунок віддзеркалення частини від екрану і поглинання частини, що проникла в екран електромагнітного поля.

Отже, ефективність екранування

$S_e = S_{e,отр} + S_{e,погл}$, де $S_{e,отр} = S_{e,отр,i}$ — ефективність екранування за рахунок віддзеркалення електромагнітної хвилі від поверхні екрану;

$S_{e,погл} =$

Ефективність екранування в дБ за рахунок віддзеркалення електромагнітного поля розраховується по формулі:

$$S_{e,отр} = 151 - 10L_g \mu H.$$

Величина ефективності екранування в дБ за рахунок поглинання в екрані товщиною d мм оцінюється по формулі

$$S_{e,погл} = 0,0173 d \nu \{ (f \mu)^{1/2} \}.$$

Останній вираз співпадає з приблизною формулою, що визначає ефективність магнітного екранування за рахунок вторинного поля. Це підтверджує твердження, що поглинання електромагнітного поля обумовлене, перш за все, втратами енергії вихрових струмів в матеріалі екрану. Як впливає з приведених формул, залежно від частоти, показників магнітних і електричних властивостей матеріалу екрану вплив віддзеркалення і поглинання на різних частотах істотно відрізняється. На низьких частотах найбільший внесок в ефективність екранування вносить віддзеркалення від екрану електромагнітної хвилі, на високих — її поглинання в екрані. Частка цих складових в сумарній величині ефективності електромагнітного екранування однакова для немагнітних ($\mu \approx 1$) екранів на частотах в сотні кГц (для міді — 500 кГц), для магнітних ($\mu \gg 1$) — на частотах в долі і одиниці кГц, наприклад для пермаллоя — 200 Гц. Магнітні матеріали забезпечують краще екранування електромагнітної хвилі

за рахунок поглинання, а не магнітні, але з малим значенням питомого опору — за рахунок віддзеркалення.

Крім того, враховуючи, що електромагнітна хвиля містить електричну і магнітну складові, то при електромагнітному екрануванні виявляються явища, характерні для електричного і магнітного екранування.

Отже, на низьких частотах матеріал для екрану повинен бути товстим, мати високі значення магнітної проникності і електропровідності.

На високих частотах екран повинен мати малі значення електричного опору, а вимоги до його товщини і магнітної проникності матеріалу істотно знижуються. Для забезпечення екранування електричне складовою електромагнітний екран треба заземляти.

2. Екранування електричних проводів

Екрануванням проводів вирішуються 2 завдання:

зменшення наведень на дроти, що виходять за межі контрольованої зони, від електромагнітних випромінювань основних допоміжних технічних засобів і систем; зниження рівня електромагнітних випромінювань проводів інформаційних ліній основних і допоміжних технічних засобів і систем.

Фізичні основи екранування з метою зниження паразитних наведень на дроти розглянуті в попередньому параграфі.

3. Виконання практичної роботи

3.1. Розрахунок показників ефективності екранування приміщень суцільним екраном.

Розрахувати ефективність екранування приміщень, якщо екрануюча сітка виконана із міді (сталі, алюмінію), f -частота сигналів випромінювання, R_z — опір дроту змінному струму; R_0 — опір дроту постійному струму; μ -магнітна проникність (для сталі 100–200); S — ширина щілини (вічка); r_0 — радіус дроту; δ — коефіцієнт вихрових струмів; V — об'єм приміщення задані таблицею 1.

Таблиця 1. Значення параметрів для розрахунку

№ з/п	R_z (Ом)	R_0 (Ом)	μ	V (М ³)	S (мм)	r_0 (мм)	δ	f (МГц)	Тип матеріалу
1	120	30	1,000023	75	3	0,2		0,1	Алюміній
2	100	25	1,000023	100	5	0,3		0,2	Алюміній
3	90	20	1,000023	125	7	0,4		0,5	Алюміній
4	80	15	1,000023	150	9	0,5		1	Алюміній
5	70	10	1,000023	175	11	0,6		10	Алюміній
6	60	5	1,000023	200	13	0,7		100	Алюміній
7	50	2,5	1,000023	225	15	0,8		0,1	Алюміній
8	120	20	0,999912	75	3	0,2		0,2	Мідь

9	100	17	0,999912	100	5	0,3		0,5	Мідь
10	90	15	0,999912	125	7	0,4		1	Мідь
11	80	12	0,999912	150	9	0,5		10	Мідь
12	70	10	0,999912	175	11	0,6		100	Мідь
13	60	8	0,999912	200	13	0,7		0,1	Мідь
14	50	5	0,999912	225	15	0,8		0,2	Мідь
15	120	50	100	75	3	0,2		0,5	Сталь
16	100	40	110	100	5	0,3		1	Сталь
17	90	30	120	125	7	0,4		10	Сталь
18	80	20	130	150	9	0,5		100	Сталь
19	70	10	140	175	11	0,6		0,1	Сталь
20	60	5	150	200	13	0,7		0,2	Сталь
21	50	3	160	225	15	0,8		0,5	Сталь
22	40	2	170	250	17	0,9		1	Сталь

Значення коефіцієнта вихрових струмів для міді, сталі і алюмінію залежно від частоти представлені в таблиці. 2.

Таблиця 2. Значення коефіцієнта вихрових струмів для деяких матеріалів

Частота, МГц	Мідь	Сталь	Алюміній
0,10	6,709	23,92	5,17
0,20	9,487	33,82	7,32
0,50	15,00	53,47	11,56
1,00	21,21	75,61	16,35
10,00	67,09	239,20	51,72
100,00	212,10	756,10	163,50

3.2. Розрахунок показників ефективності екранування приміщень подвійним сітчатим екраном

Розрахувати ефективність екранування приміщень, якщо екрануюча сітка подвійна і виконана із міді (сталі, алюмінію) згідно варіанту завдання. Розрахунок додаткового екрану здійснюється у відповідності до параметрів заданих таблицею 3.

Таблиця 1. Значення параметрів для розрахунку

№ з/п	R _з (Ом)	R _о (Ом)	μ	V (М ³)	S (мм)	r ₀ (мм)	δ	f (МГц)	Тип матеріалу
1	120	19	0,999912	75	3	0,2		0,2	Мідь
2	100	11	0,999912	100	5	0,3		0,5	Мідь
3	90	16	0,999912	125	7	0,4		1	Мідь
4	80	24	0,999912	150	9	0,5		10	Мідь
5	70	16	0,999912	175	11	0,6		100	Мідь
6	60	7	0,999912	200	13	0,7		0,1	Мідь
7	50	9	0,999912	225	15	0,8		0,2	Мідь
8	120	38	130	75	3	0,2		0,5	Сталь
9	100	25	120	100	5	0,3		1	Сталь
10	90	30	110	125	7	0,4		0,2	Сталь
11	80	44	140	150	9	0,5		0,5	Сталь
12	70	22	150	175	11	0,6		1	Сталь
13	60	5	160	200	13	0,7		10	Сталь

14	50	8	170	225	15	0,8		100	Сталь
15	40	9	190	250	17	0,9		0,1	Сталь
16	120	27	1,000023	75	3	0,2		0,2	Алюміній
17	100	25	1,000023	100	5	0,3		0,5	Алюміній
18	90	22	1,000023	125	7	0,4		1	Алюміній
19	80	15	1,000023	150	9	0,5		0,2	Алюміній
20	70	10	1,000023	175	11	0,6		0,5	Алюміній
21	60	5	1,000023	200	13	0,7		1	Алюміній
22	50	3,3	1,000023	225	15	0,8		10	Алюміній

3.3. Побудувати графіки залежності \mathcal{E} від f для суцільного і подвійного екранів.

Рішення

Ефективність екранування приміщень може бути розрахована точно по формулі:

$$\mathcal{E} = 1 + [(2\pi R_e)/3S] * [1/\{Lg(S/r_0) - 1,5 + \mu/(\sqrt{2}\delta r_0)\},$$

де R_z — опір дроту змінному струму; R_0 — опір дроту постійному струму; μ — магнітна проникність (для сталі 100–200); S — ширина щілини (вічка); r_0 — радіус дроту; δ — коефіцієнт вихрових струмів; R_e — радіус екрану.

Для прямокутного екрану R_e визначається з виразом:

$$R_e = \sqrt{\frac{3V}{4\pi}}.$$

Коефіцієнт вихрових струмів визначається з виразу:

$$\text{для міді } \delta = 21,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{f};$$

$$\text{для сталі } \delta = 75,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{f};$$

$$\text{для алюмінію } \delta = 16,35 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}.$$

Значення коефіцієнта вихрових струмів для міді, сталі і алюмінію залежно від частоти представлені в таблиці. 2.

Таблиця 2. Значення коефіцієнта вихрових струмів для деяких матеріалів

Частота, Мгц	Мідь	Сталь	Алюміній
0,10	6,709	23,92	5,17
0,20	9,487	33,82	7,32
0,50	15,00	53,47	11,56
1,00	21,21	75,61	16,35
10,00	67,09	239,20	51,72
100,00	212,10	756,10	163,50

Ефективність екранування з подвійним сітчастим екраном визначається по формулі:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2 \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{\mathcal{E}_1}\right) \left(1 - \frac{1}{\mathcal{E}_2}\right)},$$

де \mathcal{E}_1 і \mathcal{E}_2 — ефективності екранування внутрішнього і зовнішнього екранів, які обчислюються по приведених вище формулах.

Розміри екранованого приміщення вибирають, виходячи з його призначення, вартості і наявності вільного майдану для його розміщення. Зазвичай екрановані приміщення будують 6–8 м² при висоті 2,5–3 м.

5. Контрольні запитання

1. Назвіть методи екранування приміщень?
2. Особливості вибору листового матеріалу для екранування приміщень.
3. Особливості застосування листового матеріалу для екранування приміщень.
4. Особливості вибору сітки для екранування приміщень
5. Особливості застосування сітки для екранування приміщень
6. Вплив залізобетонних конструкцій будівель на екрануючі властивості приміщень
7. Чинники будівельних матеріалів, що впливають на звукоізоляційні властивості приміщень. Їх характеристика
8. Параметри звукоізоляції будівельних матеріалів

6. Обробка результатів вимірювань та зміст звіту:

мета лабораторної роботи;
 результати теоретичних розрахунків;
 графічні залежності ;
 відповіді на контрольні питання;
 висновки.

Звіт оформляється згідно ДСТУ та надається викладачу у вигляді роздрукованих та зброшурованих аркушів на наступному за розкладом занятті для захисту (в години консультацій).

<https://studizba.com/lectures/129-inzhenerija/1861-konstruirovanie-i-tehnologija-proizvodstva-ktop/36380-24-raschet-jelektromagnitnogo-jekrana.html> - розрахунок ЕМ екрана.