

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХРЕСНИХ ЗАВАД
В ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЯХ**
з дисципліни
«ОСНОВИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ»

для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(спеціалізації «Радіоелектронні апарати та засоби»
та «Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки»)
усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження перехресних завад в цифрових пристроях» з дисципліни «Основи електромагнітної сумісності» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (спеціалізації «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання/
Уклад.: Н.І. Фурманова, О.Ю. Малий, І.Є. Поспеева. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 22 с.

Укладачі: Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук, доцент каф. ІТЕЗ;
Малий Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент каф. ІТЕЗ;
Поспеева Ірина Євгенівна, старший викладач каф. ІТЕЗ.

Рецензент: Фарафонов Олексій Юрійович, доц., канд. техн. наук, доцент каф. ІТЕЗ.

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, доц., канд. техн. наук, в.о. зав. каф. ІТЕЗ.

Розглянуто
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 6 від 23.01.17 р.

Затверджено
на засіданні НМК ФРЕТ
протокол № 5 від 26.01.17 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХРЕСНИХ ЗАВАД В ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЯХ

Мета роботи:

– дослідити залежність амплітуди перехресної завади від конструктивних параметрів ліній зв'язку в друкованому монтажі цифрованих пристроїв;

– дослідити вплив навантаження на виході ліній зв'язку на амплітуду перехресної завади в друкованому монтажі цифрованих пристроїв.

1 СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Працездатність вузлів, побудованих з використанням транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ), в значній мірі залежить від амплітуди перехресних завад між сусідніми електромонтажними лініями зв'язку, що часто виконують друкованим способом. Значний вплив конструктивних параметрів ліній зв'язку на амплітуду завади обумовлений високою щільністю монтажу та такими особливостями ТТЛ-схем, як високоомність схем на передаючому (елемент в стані «І») та прийомному кінцях ліній, досить великою крутизною і амплітудою сигналів напруги та струму, що перемикаються.

Розрахунок перехресних завад грає визначальну роль при виборі типу та допустимої довжини міжсхемних з'єднань, визначає вимоги до основних конструктивних елементів монтажу: друкованих плат, внутрішніх та міжблочних рознімів, переходів друк-кабель і т. ін.

За рівнем швидкодії схеми, що побудовані на елементах типу ТТЛ, знаходяться між відносно повільно діючими МДН-схемами (метал-діелектрик-напівпровідник), що допускають звичайний провідний або друкований монтаж на двосторонніх платах, та швидкодіючими схемами типу ЕЗЛ (емігерно-зв'язана логіка), що потребують застосування повністю або частково екранованих ліній передачі з контрольованим хвильовим опором. Це призводить до необхідності пильного аналізу впливу елементів та зв'язків в кожному конкретному випадку з метою визначення вимог до конструкцій

монтажу пристрою, що проектується. Нераціональний вибір типу і конструкції ліній зв'язку може суттєво вплинути на основні характеристики і вартість пристрою, що розробляється.

В результаті непродуманого використання спрощеної конструкції ліній зв'язку пристрій може виявитись практично непрацездатним через перехресні завади або, при недостатньо аргументованому застосуванні високоякісного монтажу з використанням ліній зв'язку спеціальної конструкції, може не виправдано збільшити вартість пристрою.

Точний розрахунок перехресних завад вельми складний, тому що при цьому потрібно вирішувати диференційні рівняння, що описують перехідні процеси у взаємодіючих лініях зв'язку. Труднощі математичного характеру пов'язані з громіздкістю обчислювань, що враховують розподілені параметри з'єднань, скінченність фронту сигналу та нелінійні граничні умови. Економічно раціональний підхід до проектування пристроїв на схемах ТТЛ припускає значний розкид значень параметрів ліній зв'язку (таких, як хвильовий опір та величина взаємного зв'язку ліній; статичні та динамічні характеристики логічних елементів і т. д.). Тому проведення точного розрахунку не завжди є доцільним. На практиці слід вважати більш доцільним приблизний розрахунок перехресних завад, обґрунтований на розумних припущеннях, що дозволяє відносно просто визначити найбільш критичні варіанти з'єднання, виконати оцінювальний розрахунок амплітуди завади в будь-якому з них, порівняти між собою різні конструкції; при цьому замість нелінійних характеристик логічних елементів використовуються параметри, усереднені в діапазоні зміни діючих напруг. Отримані таким чином лінійні еквіваленти вхідного та вихідного опорів елемента використовують в схемі для розрахунку амплітуди завади в якості закінченого навантаження пасивної лінії.

Підхід до аналізу перехресних завад має відмінності в залежності від електричної довжини лінії зв'язку. Затримка розповсюдження сигналу в лінії складає величину t_3 . Якщо $t_3 < 0,1\tau_\phi$, то така лінія називається електрично короткою, і для її аналізу можна застосувати метод зосереджених параметрів. Якщо $t_3 > 0,1\tau_\phi$, то необхідно застосовувати метод розподілених параметрів. Лінії, для яких виконується дана умова, називаються довгими. Таким чином, поняття електрично довга лінія і електрично коротка є

відносними і цілком залежать від швидкодії схем, що розглядаються і часу затримки розповсюдження сигналу в лінії.

Розглянемо сусідні лінії зв'язку (рис. 1.1, а). Лінія, в якій розповсюджується сигнал, що наводить заваду, називається активною, а сусідня з нею лінія, в якій виникає при цьому завада, – пасивною.

На одному кінці активної лінії (на її початку) знаходиться передавальна схема (наприклад, генератор), на іншому – навантаження, тобто приймальна схема.

Якщо на початку обох взаємодіючих ліній стоїть передавальна схема, то таке включення називається згідним; якщо на початку одної лінії – приймальна, а на початку іншої передавальна схема – зустрічним.

На практиці в одній системі паралельних ліній може бути як згідне, так і зустрічне включення ліній (відповідно передаванню сигналів у протилежних напрямках).

На рис. 1.1, б наведена спрощена схема зв'язку взаємодіючих ліній, показаних на рис. 1.1, а, в якій взаємодіючі лінії замінені зосередженими еквівалентами. Вплив індуктивної складової можна не враховувати у зв'язку з невеликим значенням струму, що перемикається в активній лінії. Резистори $R_{вх}$ та $R_{вих}$ в пасивній лінії моделюють вхід логічного елемента, що сприймає заваду, та вихід управляючого елемента, тобто приймальної та передавальної схем.

Похибка приблизного розрахунку схеми при заміщенні взаємодіючих ліній зосередженими реактивними елементами складає 20-25%.

Основні припущення, що дозволяють проводити якісний аналіз та кількісну оцінку процесів у зв'язаних лініях, з'єднуючих елементи ТТЛ:

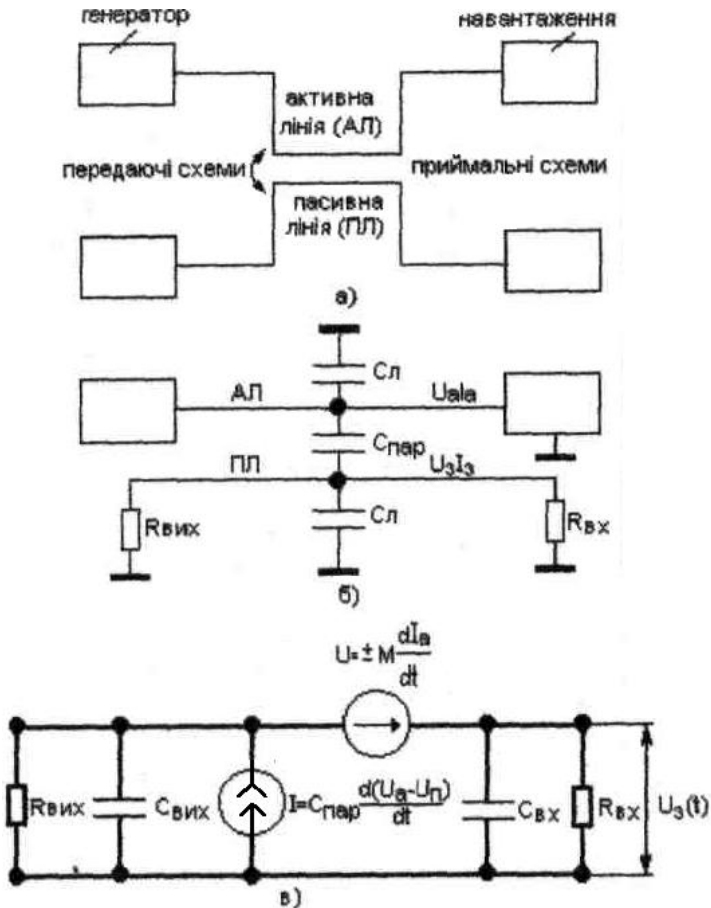
а) взаємний зв'язок між лініями слабкий (рівень напруги завади в пасивній лінії не більше 10-15 % від перепаду сигналу в активній лінії);

б) вхідний та вихідний опори логічних елементів в діапазоні зміни напруги максимальної завади лінійні;

в) лінія зв'язку є електрично короткою, тобто задовольняється умова $t_3 < 0,1 \tau_{\phi}$.

При розрахунку перехресних завод в коротких лініях звичайно виходять з еквівалентної схеми, що наведена на рис. 1.1, в.

При цьому припускають, що перехідні процеси в активній лінії не залежать від перехідних процесів формування завади в пасивній лінії.



- а – взаємодіючі схеми з ТТЛ-схемами на кінцях;
 б – схема заміщення зв'язку взаємодіючих ліній елементами з зосередженими параметрами;
 в – еквівалентна схема для розрахунку завад (АЛ – активна лінія; ПЛ – пасивна лінія)

Рисунок 1.1 – Схема взаємодіючих ліній зв'язку

З еквівалентної схеми на рис. 1.1, в в припущенні, що власною індуктивністю лінії можна знехтувати, вхідний опір та фронти – лінійні, для інтервалу часу $0 < t < \tau_\phi$ маємо:

$$U_3(t) = \pm \frac{R_{ex} \| R_{вих}}{\tau_\phi} \left(C_{нар} \Delta U \pm \frac{M \Delta I}{R_{вих}} \right) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right], \quad (1.1)$$

де $U_3(t)$ – напруга завади, відрахована від статичного рівня в лінії;

ΔI – перепад струму в лінії, що наводить заваду;

ΔU – перепад напруги в лінії, що наводить заваду;

τ – стала часу;

M – взаємна індуктивність;

$$\tau = CR_{вих}R_{ex} / (R_{вих} + R_{ex}),$$

$$C = C_{нар} + C_{вих} + C_{ex} + C_l,$$

де C – сумарна ємність схеми;

$C_{нар}$ – величина паразитної ємності між лініями;

C_l – ємність лінії;

$C_{вих} C_{ex}$ – ємності схем.

З розглянутої формули (1.1) постає, що ємнісна завада переважає, якщо

$$R_{вих}C_{нар}\Delta U \gg M\Delta I.$$

Таким чином, ємнісна завада суттєва при великих перепадах напруги, великих вихідних опорах та великому значенні ємнісного зв'язку. Індуктивна завада суттєва при великих перепадах струмів в лініях, що можливо при роботі ліній на значну кількість навантажень N_a в активній лінії, малих вихідних опорах схем та великих хвильових опорах ліній (тобто великих погонних індуктивностях $L_{ло}$ та малих погонних ємностях $C_{ло}$).

З врахуванням вищевказаного, співвідношення між ємнісною та індуктивною завадою:

$$\frac{U_c}{U_L} \approx \frac{C_{ло} R_{вих}}{L_{ло} N_a} \left[\frac{n\Phi / \text{см}, \text{Ом}}{n\Gamma_H / \text{см}} \right].$$

Звідси видно, що співвідношення між амплітудою ємнісної та індуктивної завади залежить як від параметрів ліній зв'язку $C_{ло}$, $L_{ло}$, так і від числа навантажень в активній лінії та вихідного опору управляючого елемента в пасивній лінії.

Аналіз роботи взаємодіючих ліній показує, що сумарна амплітуда завади при зустрічному включенні більша, ніж при згідному, тому що полярність ємнісної та індуктивної завади при зустрічному включенні завжди співпадають з полярністю перепаду напруги в активній лінії, в той час як при згідному включенні вона (при індуктивному зв'язку) може змінюватись на протилежну.

Від'ємна завада максимальна при роботі на максимальне число навантажень $N_{a \max}$ і стані логічної одиниці. Додатна завада максимальна при $N_{a \max}$ і стані логічного нуля. Незважаючи на меншу амплітуду, додатна завада являє серйозну небезпеку через знижену завадостійкість елементів ТТЛ до додатних завад.

При переключенні сигналу в активній лінії, в сусідніх з нею пасивних лініях виникають завади. Найбільша завада, очевидно, буде наводитись в лінії зв'язку, сусідньою з активною. Амплітуда сумарної завади визначається коефіцієнтом ємнісного K_c та індуктивного K_L зв'язку. Форма сигналу завади наведена на рис. 1.2, б та описується виразом (1.1).

При малому значенні перепаду струму в активній лінії, що має місце в реальних ТТЛ-схемах, переважне значення має ємнісна складова завади. Відповідно до (1.1), максимальне значення ємнісної завади

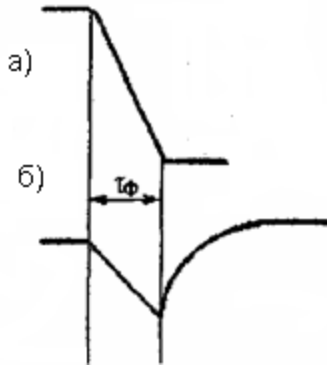
$$U_z = \frac{C_{nap}}{C} \Delta U = K_c \Delta U = K_c U_a,$$

де $\Delta U = U_a$ – перепад напруги в активній лінії;

K_c – коефіцієнт ємнісного зв'язку:

$$K_c = \frac{C_{нар}}{C_{нар} + C_{сх} + C_{вих} + C_l} = \frac{U_3}{U_a},$$

де C_l – ємність між лінією та заземленою шиною.



а – сигнал, що наводить заваду;
б – завада від фронту.

Рисунок 1.2 – Форма сигналів

Позначимо $C_{сх} = C_{сх} + C_{вих}$ – схемні ємності пасивної лінії.

Розглянемо вплив екрану та нульового проводу на значення завади в пасивній лінії зв'язку (рис. 1.3). **Введемо коефіцієнт екранування K_e , який вказує, в скільки разів зменшується коефіцієнт ємнісного зв'язку K_c при наявності нульового проводу чи екрану.**

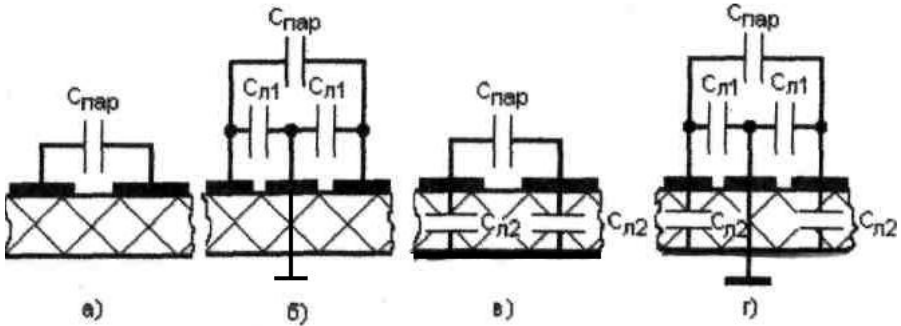
Для конструкції без екрану (рис 1.3, а) коефіцієнт ємнісного зв'язку K_c визначається за формулою:

$$K_c = \frac{C_{нар}}{C_{нар} + C_{сх}}.$$

При введенні нульового проводу та екрану (рис 1.3, г) коефіцієнт ємнісного зв'язку K_c визначається за формулою:

$$K_c = \frac{C_{нар}}{C_{нар} + C_{cx} + C_l},$$

де $C_l = C_{л1} + C_{л2}$.



а – за відсутності екрану; б – з нульовим проводом;
в – з екраном; г – з екраном та нульовим проводом.

Рисунок 1.3 – До розрахунку коефіцієнта екранування

Тоді коефіцієнт екранування K_e буде дорівнювати:

$$K_e = \frac{C_{нар} + C_{cx}}{C_{нар} + C_{cx} + C_l} = 1 - \frac{C_l}{C},$$

де $C = C_{нар} + C_{cx} + C_l$.

Часткове екранування сигнальних провідників з допомогою розташованих між ними заземлених провідників значно зменшує ємність зв'язку $C_{нар}$ (ємності $C_{л1}$ включені послідовно).

Формули для оцінки значення ємності між півковими провідниками та металевим екраном наведені в ОСТ 1.073.021-74 «Микросхеми интегральные гибридные. Общие методы конструирования».

Формули справедливі при наступних обмеженнях: товщина плівкових провідників набагато менша за їхню ширину, а ширина – набагато менша за довжину плівкових провідників.

Часткові ємності C_{ij} між паралельними плівковими провідниками, розташованими на платі в оточенні інших паралельних плівкових провідників (рис. 1.4), можуть бути визначені за наступною формулою:

$$C_{ij} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} l C'_{ij}, \text{ пФ}$$

де i, j – номери провідників;

l – довжина провідників, см;

C'_{ij} – ємнісний коефіцієнт i та j провідників;

ε_1 – діелектрична проникливість повітря ($\varepsilon_1=1$);

ε_2 – діелектрична проникливість матеріалу плати.

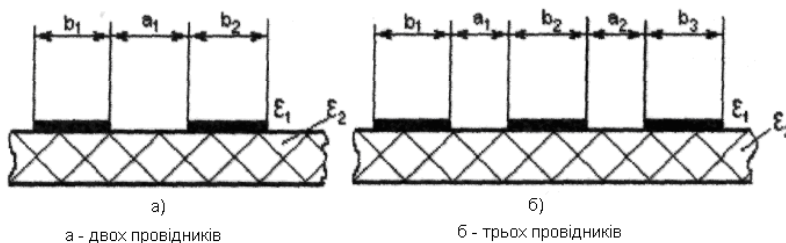


Рисунок 1.4 – Системи паралельних плівкових провідників

Ємнісні коефіцієнти C'_{ij} для системи паралельних плівкових провідників розраховують наступним чином:

для системи на рис. 1.4, а

$$C'_{12} = 1,56 + 0,41g \frac{b_1 b_2}{a_1^2},$$

для системи на рис. 1.4,б

$$C'_{12} = 1,18 + 0,311 \lg \frac{b_1 b_2^2}{a_1^3},$$

$$C'_{13} = 0,58 + 0,271 \lg \frac{b_1^{13/12} b_3^{13/12}}{a_1^{1/3} b_2^{3/2} a_2^{1/3}}.$$

Розрахунок ємнісного коефіцієнта зв'язку K_c може також бути виконаний за допомогою графіків (рис. 1.5) та спрощених формул, наведених в додатку Б.

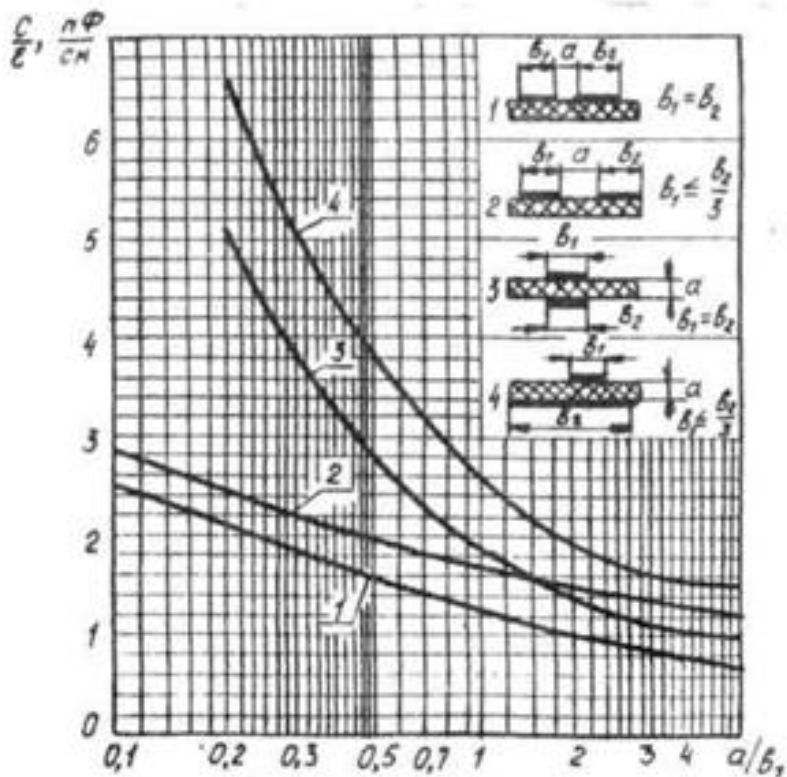


Рисунок 1.5 – Графік для визначення величини ємнісних зв'язків

2 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТУ

Лабораторний макет зібраний в прямокутному корпусі і складається з генератора і набору змінних взаємодіючих ліній зв'язку. Набір складається з восьми ліній зв'язку.

Принципова електрична схема макета наведена на рис. 2.1.

Генератор живиться від лабораторного стенду СИВД-2 через рознім ШІ «ПИТАНИЕ» ($U_{ном} = 5В$) і виробляє прямокутні імпульси, які подаються на одну з восьми активних ліній набору, підключену до макета за допомогою розніму ШІІ "ЛИНИЯ". Цим же рознімом здійснюється підключення відповідної взаємодіючої пасивної лінії.

Набором ліній є вісім систем паралельних друкованих провідників, кожна з яких включає активну і пасивну лінію, виконану на окремій друкованій платі. Конфігурація і конструктивні параметри ліній приведені в додатку А.

Для спостереження форми і амплітуди сигнал активної лінії через рознім ШІІІ «СИГНАЛ АКТИВНОЙ ЛИНИИ» подається на один з входів осцилографа.

Сигнал пасивної лінії (завада) через рознім ШІІІІ «СИГНАЛ ПАССИВНОЙ ЛИНИИ» подається на інший вхід осцилографа, що дозволяє спостерігати одночасно на екрані сигнал в активній і заваду в пасивній лініях.

Синхронізація осцилографа здійснюється з макету через рознім ШІІІІІ «СИНХРОНИЗАЦИЯ». Клавішний перемикач ШІІІІІ «СОПРОТИВЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, Ом» дозволяє змінювати навантаження (що імітує вихідні опори) пасивні лінії і має положення: 15 Ом, 22 Ом, 33 Ом, 75 Ом. У вимкненому стані ШІІІІІ до пасивної лінії підключений опір навантаження 33 Ом.

Всі активні лінії навантажені на однакові опори навантаження 10 кОм.

Генератор призначений для отримання прямокутних імпульсів напруги живлення активних ліній досліджуваних систем зв'язаних ліній і для вироблення імпульсів синхронізації.

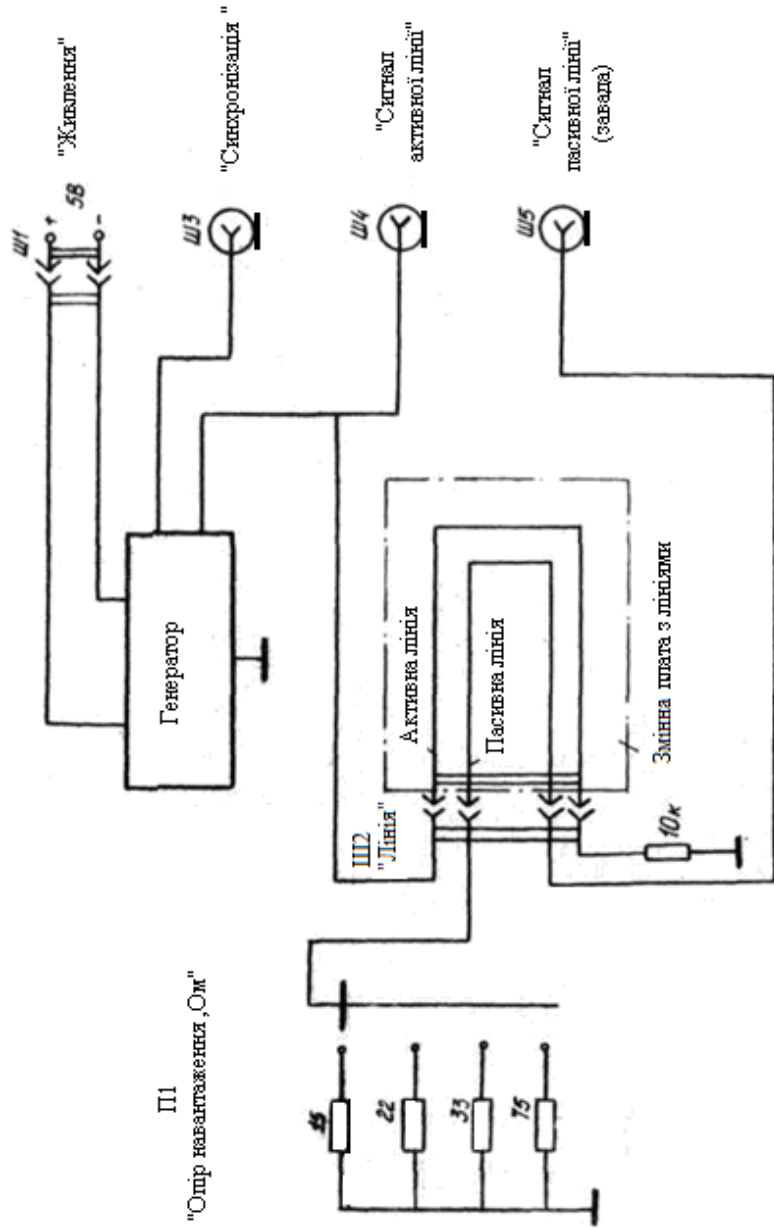


Рисунок 2.1 - Схема лабораторного маєуту

3 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

3.1 Ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи та літературою, що рекомендується.

3.2 Розрахувати коефіцієнт ємнісного зв'язку K_c в залежності від конструктивних параметрів ліній за формулами, наведеними в Додатку Б та за графіком рис. 1.5. Конструктивні параметри ліній зв'язку наведені в Додатку А. Результати розрахунків занести до табл. 5.3.

3.3 Для ліній 6÷8 розрахувати коефіцієнт екранування K_e .

3.4 Підготуватися до відповідей на контрольні питання.

4 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

4.1 Виміряти параметри імпульсів сигналу на початку активної лінії зв'язку.

4.2 Дослідити залежність амплітуди завади від величини навантаження на кінці пасивної лінії $U_z = f(R_H)$ для 1 і 2 ліній зв'язку. Побудувати графіки $U_z = f(R_H)$ для 1 і 2 ліній.

4.3 Дослідити вплив конструктивних параметрів ліній зв'язку (довжини ліній, відстані між провідниками, наявність екрану, нульового проводу) на амплітуду завади для 1÷8 ліній. Порівняти розрахункові і вимірні дані.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему для вимірювань згідно з рис. 5.1.

5.2 Виміряти параметри імпульсів на початку активної лінії зв'язку, для чого:

а) клавіші перемикача на макеті П1 «СОПРОТИВЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, ОМ» у вихідному положенні мають бути віджаті;

б) вставити плату з лініями в рознім Ш2 «ЛИНИЯ»;

в) отримати стійке зображення фронту імпульсу сигналу активної лінії на екрані осцилографа (канал 1);

г) виміряти тривалість імпульсу τ_u , фронту імпульсу τ_ϕ , амплітуду імпульсу U_a та період проходження імпульсу T_u сигналу активній лінії;

д) результати вимірювань занести до табл.5.1.

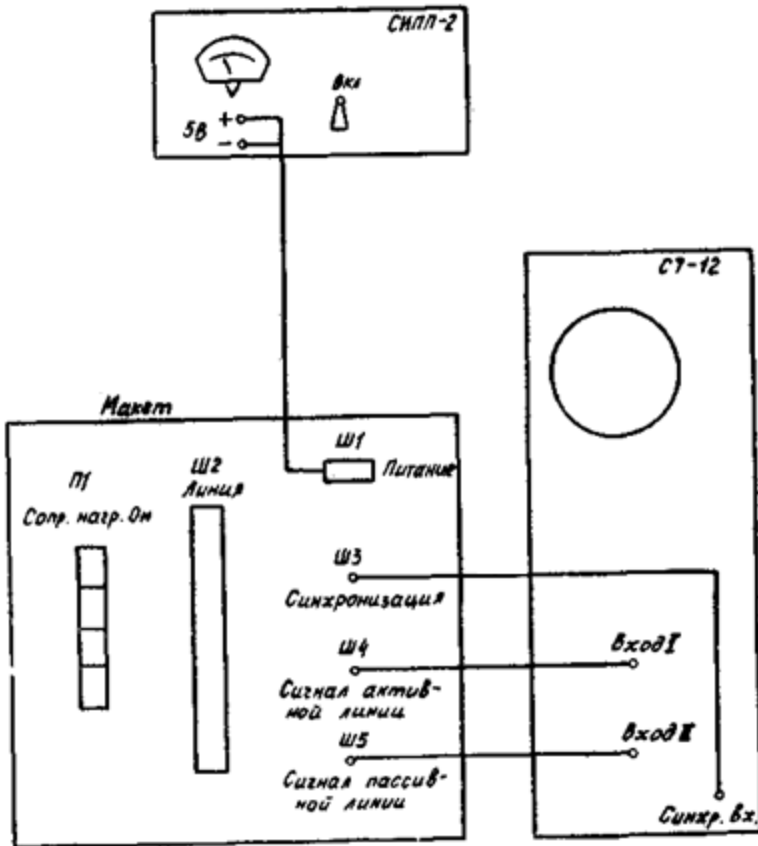


Рисунок. 5.1 – Схема вимірювань

5.3 Дослідити залежність амплітуди завади від величини навантаження на кінці пасивної лінії $U_3=f(R_H)$ для 1 і 2 лінії зв'язку. Для цього необхідно:

а) встановити перемикач ПІ «СОПРОТИВЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, ОМ» в положення «15 Ом»;

б) спостерігати зображення завади в ІІ каналі осцилографа від фронту імпульсу позитивної полярності сигналу активної лінії. Завада

від фронту починається з позитивного викиду, від зрізу – з негативного. На рис. 5.2 наведена осцилограма завади від фронту і зрізу імпульсу. Фронт імпульсів в активній лінії триваліший, ніж зріз. При $t_i \leq 0,1 \tau_\phi$ для розрахунку амплітуди завади в пасивній лінії від фронту можна скористатися формулами для електрично коротких ліній;

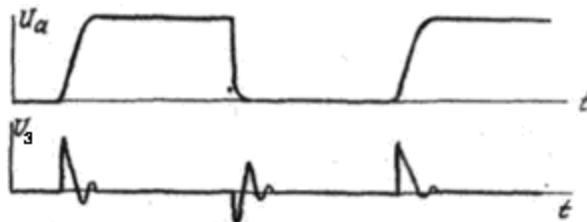


Рисунок.5.2 – Осцилограма завади від фронту і зрізу імпульсу

в) виміряти амплітуду імпульсу завади в пасивній лінії від фронту по першому позитивному викиду;

г) повторити виміри для $R_H = 22 \text{ Ом}, 33 \text{ Ом}, 75 \text{ Ом}$, для чого натискувати відповідні клавіші перемикача ПІ «СОПРОТИВЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, Ом» і повторити п. 5.3, б, в;

д) виміряти амплітуду завади для 2 ліній, для чого встановити плату № 2 в рознім Ш2 «ЛИНИЯ» і повторити виміри згідно п.5.3 б, в. Результати досліджень занести до табл. 5.2;

е) побудувати графіки $U_z = f(R_H)$ для ліній 1 і 2.

5.4 Дослідити залежність амплітуди завади від конструктивних параметрів (довжини ліній, відстані між провідниками, ширини провідників, наявності екрану і нульового проводу) для восьми ліній при $R_H = const$. Для цього необхідно:

а) встановити перемикач ПІ «СОПРОТИВЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, Ом» в положення 33 Ом;

б) встановити по черзі в рознім Ш2 «ЛИНИЯ» плати з лініями 1÷8 та виміряти амплітуду завади в пасивній лінії від фронту імпульсу згідно з п.5.3 б,в;

ж) Результати вимірювань занести до табл. 5.3.

Таблиця 5.1 – Результати вимірювань параметрів імпульсу

Амплітуда сигналу в а.л. U_a , В	Тривалість фронту τ_f , нс	Тривалість імпульсу τ_i , мкс	Період проходження імпульсу T_i , мкс

Таблиця 5.2 – Результати досліджень $U_3=f(R_H)$

Опір навантаження R , Ом	15	22	33	75
Амплітуда завади, В	1 лінія			
	2 лінія			

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків та вимірювань

№ лінії	Результати розрахунків				Результати вимірювань		
	Ємність зв'язку $C_{нар}$, пФ	Ємність між лінією і екраном $C_{л2}$, пФ	Ємність між лінією і нульовим проводом, $C_{л1}$, пФ	Розрахунковий коефіцієнт зв'язку $K_{сроз}$	Амплітуда сигналу в а.л. U_a , В	Амплітуда завади в п.л. U_3 , В	Вимірний коефіцієнт зв'язку $K_{свим}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;
 - схему електричну принципову макету (рис. 5.1);
 - розрахунки за формулами, наведеними у Додатку Б, та за графіком рис. 1.5;
 - результати розрахунків і вимірів зведені до табл. 5.1 ÷ 5.3;
 - графіки $U_s = f(R_H)$ для 1 і 2 ліній;
 - результати розрахунків коефіцієнт екранування K_e для ліній 6÷8
- на підставі вимірювань зробити висновки про залежність амплітуди завади від довжини лінії, ширини провідників, відстані між провідниками, введення нульового проводу, екрану, екрану і нульового проводу; залежність завади від навантаження на кінці пасивної лінії (1-2).

7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Причини впливу конструктивних параметрів ліній зв'язку на амплітуду перехресних завад.
- 2 Яка лінія називається електрично довгою, яка – електрично короткою?
- 3 Що таке згідне і зустрічне включення ліній?
- 4 При яких припущеннях можливий наближений розрахунок зв'язку між взаємодіючими лініями?
- 5 За яких умов в сусідніх лініях зв'язку переважає ємнісна або індуктивна завада?
- 6 Від яких параметрів залежить співвідношення між ємнісною і індуктивною завадою?
- 7 При якому включенні ліній (згідному або зустрічному) завада більше і чому?
- 8 Дати визначення коефіцієнту ємнісного зв'язку. Як він визначається?
- 9 Дати визначення коефіцієнту екранування. Як він визначається?
- 10 Як зміниться коефіцієнт екранування лінії при введенні нульового проводу, екрану, нульового проводу та екрану?

ЛИТЕРАТУРА

1. Наумов Ю. Е., Аваев Н. А., Бедрековский М. А. Помехоустойчивость устройств на интегральных схемах. М.: Сов. радио, 1975. – 216 с.
2. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов – М.: Высш. школа., 1990. – 432 с.
3. ОСТ 11073.021 – 74 Микросхемы интегральные гибридные. Конструирование.
4. Першин В. Т. Основы радиоэлектроники и схемотехники. – М.: «Феникс», 2006. – 544 с.
5. Ивахненко А. Г., Степашко В. С. Помехоустойчивость моделирования. – К.: Наук. Думка, 1985. – 216 с.

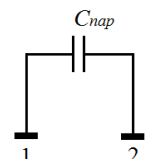
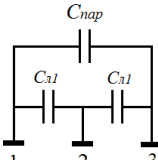
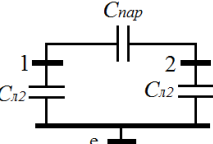
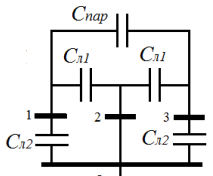
Додаток А

Таблиця А.1 – Конструктивні параметри лінії зв'язку

№ лінії	Ескіз (поперечний переріз)	Схема	b , мм	a , мм	l , см
1			1	0,5	25
2			1	0,5	50
3		$\epsilon_1=1$ $\epsilon_2=5$	1	2	50
4		$h=1,5$ мм $C_{cx}=240$ пФ	2	0,5	50
5			2	2	50
6			1	0,5	50
7			1	0,5	50
8			1	0,5	50

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Формули для розрахунків параметрів ліній зв'язку

№ лінії	Схема	Розрахункові формули
1-5		$C'_{12} = 1,56 + 0,411g \frac{b^2}{a^2} \text{ або виз. за графіком}$ <p>рис.1.5</p> $C_{nap(1-5)} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} l C'_{12}, \text{ пФ}$ $K_c = \frac{C_{nap}}{C_{nap} + C_{cx}}$
6		$C'_{12} = 1,18 + 0,311g \frac{b^3}{a^3}$ $C'_{13} = 0,58 + 0,271g \frac{b^{2/3}}{a^{2/3}}$ $C_{nap(6)} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} l C'_{13}, \text{ пФ}$ $C_{л1(6)} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} l C'_{12}, \text{ пФ}$ $K_c = \frac{C_{nap}}{C_{nap} + C_{cx} + C_{л1}}$
7		$C'_{12} = 1,56 + 0,0411g \frac{b^2}{a^2}$ $C'_{13} \text{ виз. за графіком рис. 1.5}$ $C_{nap(7)} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} l C'_{12}, \text{ пФ}$ $C_{л2(7)} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} l C'_{13}, \text{ пФ}$ $K_c = \frac{C_{nap}}{C_{nap} + C_{cx} + C_{л2}}$
8		$C_{nap(8)} = C_{nap(6)}$ $C_{л1(8)} = C_{л1(6)}$ $C_{л2(8)} = C_{л2(7)}$ $K_c = \frac{C_{nap}}{C_{nap} + C_{cx} + C_{л2} + C_{л1}}$