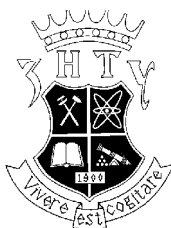


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД В КОЛАХ
ЖИВЛЕННЯ ЦИФРОВИХ СХЕМ

з дисципліни

“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ”

для студентів за напрямком підготовки
6.050902 “Радіоелектронні апарати ”
усіх форм навчання

2009

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи
“Дослідження кондуктивних завад в колах живлення цифрових схем”
з дисципліни “Основи електромагнітної сумісності” для студентів за
напрямком підготовки 6.050902 “Радіоелектронні апарати” усіх форм
навчання. /Уклад. Шинкаренко Е. М., Фарафонов О., Ю.-
Запоріжжя: ЗНТУ, 2009.-20с.

Укладачі: Шинкаренко Едуард Миколайович, ст. викладач;

Фарафонов Олексій Юрьевич, к.т.н., доцент.

Рецензент: Петріщев Олексій Олександрович, к. т. н., доцент.

Відповідальний за випуск Кришук Володимир Миколайович,
к.т.н., проф.

Затверджено
на засіданні кафедри КТВР
“ 6 “_жовтня_2009р.
Протокол №_1__

Лабораторна робота

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД В КОЛАХ
ЖИВЛЕННЯ ЦИФРОВИХ СХЕМ**

Мета роботи – дослідження кондуктивних завад в колах живлення цифрових схем та методів боротьби з ними.

1 СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Одним із найбільш розповсюджених джерел завад є зв'язок через ділянку, загальну для різноманітних кіл: шини живлення; земляні шини; внутрішній опір джерела живлення; загальні пелюстки; загальні ділянки корпусу по яких течуть блукаючі струми.

Паразитний зв'язок через внутрішній опір джерела живлення $Z_{д. ж}$ та опір шин живлення $Z_{ш. ж}$ є найбільш розповсюджений (рис.1.1).

Звичайно, джерело та шина живлення є загальними для цілого ряду схем, які відрізняються потужністю споживання та завадостійкістю. Через опори $Z_{д. ж}$ і $Z_{ш. ж}$ протікають струми однієї чи декількох паралельно ввімкнених схем. Найбільш потужні схеми з більшими струмами споживання, звичайно підключаються ближче до джерела живлення, ніж малопотужні. У цьому випадку завада, яка виникає на внутрішньому опорі джерела та опорі шин живлення, складе:

$$U_{зав} = \Delta I_{зав} (Z_{д. ж} + Z_{ш. ж}),$$

де $\Delta I_{зав}$ – зміна струму споживання потужної схеми (або групи схем, що спрацьовують одночасно), що утворює заваду при переключенні.

Максимальна напруга завади $U_{зав1}$, що виникає на шині живлення при виключенні ключової мікросхеми (коли струм через мікросхему змінюється від номінального значення $I_{ном}$ до нуля $\Delta I_{зав} = I_{ном} - 0$) за законом електромагнітної індукції дорівнює:

$$U_{зав1} = L_{ш.ж} \frac{dI(t)}{dt} \approx L_{ш.ж} \frac{\Delta I_{зав}}{t_c}, \quad (1.1)$$

де $L_{ш.ж}$ – індуктивність шини живлення;

$I(t)$ – миттєве значення струму мікросхеми;

t_c – час виключення схеми (тривалість зрізу імпульсу струму).

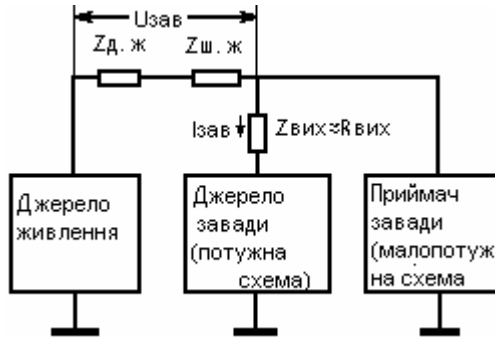


Рисунок 1.1 – Схема паразитного зв'язку крізь джерело та шини живлення

При включенні ключа максимальна напруга завади $U_{зав2}$ складається з падіння напруги на внутрішньому опорі джерела живлення $Z_{д.ж.}$, на шині живлення $Z_{ш.ж.}$ та внутрішньому опорі відкритого ключа $Z_{вих}$ (з урахуванням величини опору, обмежуючого струм через ключову мікросхему) при стрибку струму $\Delta I_{зав}$

$$U_{зав2} = \Delta I_{зав} \frac{(Z_{ш.ж.} + Z_{д.ж.})Z_{вих.}}{Z_{ш.ж.} + Z_{д.ж.} + Z_{вих.}}$$

Тут

$$Z_{ш.ж.} = j\omega L_{ш.ж.} + r_{ш.ж.},$$

де $\omega = \frac{1}{t_\phi}$ – верхня частота спектру сигналу завади;

τ_ϕ – тривалість фронту імпульсу струму; $r_{ш.ж.}$ – активний опір шини живлення.

Звичайно $r_{ш.ж.} \ll j\omega L_{ш.ж.}$, тому $Z_{ш.ж.} \approx j\omega L_{ш.ж.}$.

Враховуючи, що $Z_{вих} \approx R_{вих}$, отримаємо значення напруги завади при включенні ключа:

$$U_{зав2} \approx \Delta I_{зав} \frac{(j \frac{L_{ш.ж}}{t_{\phi}} + Z_{\partial.ж}) R_{вих}}{R_{вих} + Z_{\partial.ж} + j \frac{L_{ш.ж}}{t_{\phi}}}, \quad (1.2)$$

де $Z_{д. ж}$ – визначається конструкцією конденсатора блоку живлення, ємністю його фільтра $C_{ф. ж}$, значенням опору в колі обкладинок конденсатора

$$Z_{д. ж} \approx \frac{1}{j\omega C_{ф.ж}} + R_c.$$

Значення модуля опору R_c деяких типів конденсаторів наведені в додатку А.

Індуктивність шини живлення $L_{ш. ж}$ для друкованого провідника відповідно до позначень на рис. 1.2 визначається за формулою:

$$L_{ш. ж} = 0,2 l_{ш} (2,3 \lg \frac{4l_{ш}}{d_0} - 0,75), [\text{мкГн}], \quad (1.3)$$

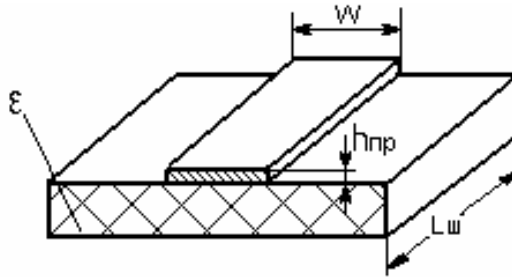
де $l_{ш}$ – довжина шини, м;

d_0 – приведений діаметр провідника,

$$d_0 = 0,67 h_{пр} + 0,567W, [\text{м}].$$

При виборі достатньо великого значення ємності фільтра C_{ϕ} джерела живлення $Z_{д. ж} \ll Z_{ш.ж}$. Тоді формула (1.2) приймає вигляд:

$$U_{зав2} \approx \frac{\Delta I_{зав}}{\sqrt{\frac{1}{Z_{ш.ж}^2} + \frac{1}{R_{вих}^2}}} = \Delta I_{зав} \frac{R_{вих} L_{ш.ж}}{\sqrt{t_{\phi}^2 R_{вих}^2 + L_{ш.ж}^2}}. \quad (1.4)$$



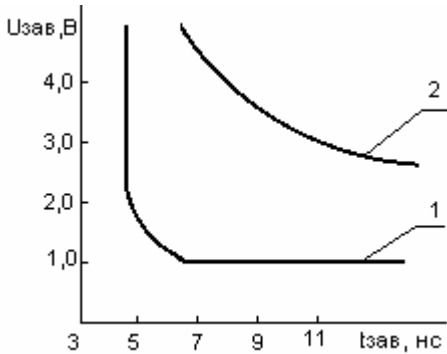
ϵ - діелектрична проникливість основи

Рисунок 1.2 – Друкований провідник шини живлення

Завада може привести до помилкового спрацьовування інших цифрових схем. Це відбудеться у випадку, коли значення завади перевищить значення завадостійкості схем.

Абсолютне значення статичної завадостійкості цифрових (логічних) схем складає для схем МДН – 1 В, ТТЛ – (0,3 – 0,4) В, ЕСЛ – (0,15 – 0,2) В. Для того, щоб виник збій, значення імпульсної завади, як правило, повинно бути більше статичного. На рис.1.3 наведені характеристики імпульсної (динамічної) завадостійкості ТТЛ-схем. Для ЕСЛ-схем завади з тривалістю більше, ніж 2 нс, можливо розглядати як статичні.

Максимально допустимі сигнали завади на шинах живлення аналогового підсилювача, що використовується в пристрої поряд з цифровими схемами, повинні бути на порядок менше корисного сигналу, величина якого може складати менше 10^{-6} В. Побудова джерела струму з подібним рівнем завад складно та дорого. Тому звичайно джерела живлення проектують зі значенням завад, припустимих для надійної роботи найбільш потужної схеми, а додаткове зменшення завад досягається використанням фільтрів.



1 – відносно-відпираючих завад

2 – відносно-запираючих завад

Рисунок 1.3 – Амплітудно-часові характеристики ТТЛ-схем по напрузі

Для зменшення падіння напруги на фільтрі, найбільш доцільно використовувати LC- фільтри (рис. 1.4), що складаються з елементів L_f та C_f . В якості L_f звичайно використовуються дроселі (з циліндричним або кільцеподібним осердям) або індуктивність самої шини живлення, погонне значення якої складає орієнтовно 1мкГн/м .

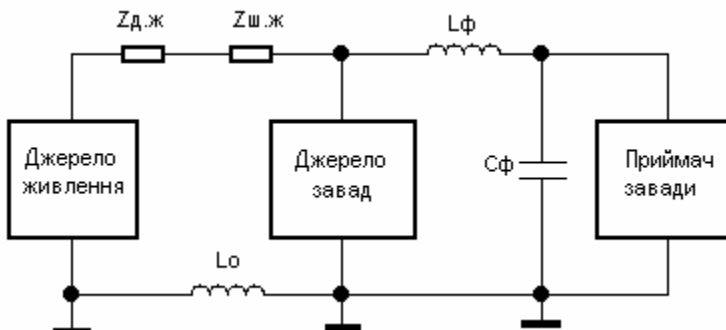


Рисунок 1.4 – Схема включення LC- фільтра

Величина, що вказує, у скільки разів зменшується значення завади на виході фільтра $U_{\text{зав. вих}}$ у порівнянні зі значенням завади на вході фільтра $U_{\text{зав. вх}}$, називається **коефіцієнтом розв'язки**

$$K_p = U_{\text{зав. вх}} / U_{\text{зав. вих}}. \quad (1.5)$$

Для нормальної роботи малопотужних логічних систем, встановлених після фільтра живлення, необхідне виконання умови $U_{\text{зав. вих}} < U_{\text{зав. л}}$ (де $U_{\text{зав. л}}$ – абсолютне значення статичної завадостійкості малопотужної логічної схеми), тоді необхідне забезпечити

$$K_p \geq U_{\text{зав. вх}} / U_{\text{зав. л}}.$$

Коефіцієнт розв'язки фільтра з ємністю C_ϕ та індуктивністю L_ϕ з урахуванням паразитного опору ємності фільтра R_c , можна визначити за формулою:

$$K_p = \frac{wL_\phi}{\sqrt{R_c^2 + (wC_\phi)^{-2}}}. \quad (1.6)$$

Реальне значення K_p звичайно набагато менше значення, отриманого за формулою (1.6), тому що вона не враховує: а) паразитну розподілену ємність котушки дроселя фільтра (рис. 1.5), що залежить від конструкції дроселя; б) присутність паразитної індуктивності загальної шини L_0 (рис. 1.4).

Щоб частотна характеристика фільтруючої комірки була рівномірною на всьому необхідному діапазоні частот, не слід використовувати в ній надто великих індуктивностей, а їх власну резонансну частоту f_0 , підбирають таким чином, щоб вона була вище або не більше ніж на 20-30 % нижче самої високої з подавлених частот.

Наявність паразитної індуктивності загальної шини L_0 (рис.1.4) при індуктивності шини живлення $L_{\text{ш. ж}}$ веде до того, що напруга

завади на загальній шині досягає значення $U_{\text{зав. 0}} \approx \frac{L_0}{L_{\text{ш. ж}}} U_{\text{зав. вх}}$, тоді

максимальне значення коефіцієнта розв'язки можна визначити за формулою:

$$K_p \approx L_{ш. ж} / L_0 . \quad (1.7)$$

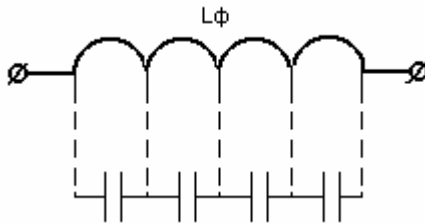


Рисунок 1.5 – Паразитні ємності котушки дроселя фільтра

Все це може призвести до того, що значення K_p , отримане за формулою (1.6), буде відрізнятись від значення, отриманого за формулою (1.7) на декілька порядків.

З формули (1.7) виходить, що для збільшення коефіцієнта розв'язки потрібно зменшити довжину загальних ділянок шин живлення L_0 , по яких протікають струми різноманітних схем (рис 1.4). При виборі типу конденсатора фільтра слід враховувати не тільки ємність, але і його індуктивність, включаючи індуктивність виводів, тому що індуктивний опір конденсатора в деяких випадках може перевершувати його ємнісний опір. **Тому найчастіше за все конденсатор фільтра складається з паралельно включеного електролітичного та керамічного (“безіндукційного”) конденсаторів.** Для зменшення завад фільтруючі комірки розташовуються якомога ближче до захищеного каскаду. Індуктивність виводів конденсаторів збільшує $L_{ш. ж}$.

Фільтруючі комірки в шині живлення можуть підключатися як послідовно, так і паралельно (рис. 1.6). При послідовному включенні фільтруючих комірок сумарний коефіцієнт розв'язки дорівнює добутку коефіцієнтів розв'язки окремих фільтруючих комірок K_{pi} :

$$K_{p\Sigma} = K_{p1} K_{p2} \dots K_{pn}.$$

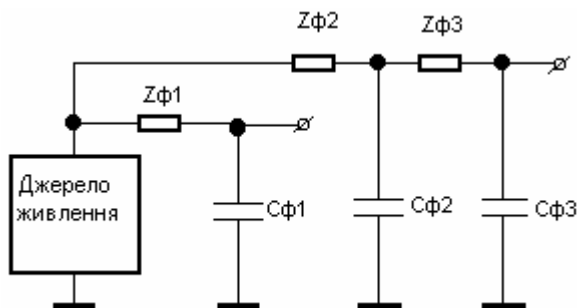


Рисунок 1.6 – Варіанти включення комірок фільтра

Технічні вимоги до цифрових схем, зазвичай, містять вимоги до фільтрів живлення: вказується номінал ємності, що встановлюється між шинами живлення поблизу окремої мікросхеми або групи мікросхем, наприклад, у відповідності з ОСТ 11.6КО.340.004 на платах з мікросхемами встановлюється:

- розв'язувальні електролітичні конденсатори К53-6 або К56-1 з розрахунку 0,1 мкФ на мікросхему для виключення впливу низькочастотних завад;
- керамічний конденсатор КМ-5 або КМ-6 ємністю не менше 0,002 мкФ на мікросхему (для кожної групи мікросхем числом не більше 10) для виключення впливу високочастотних завад. Для потужного логічного елемента (наприклад ІЛБ556) на платі для кожної мікросхеми безпосередньо поблизу неї встановлюється конденсатор типу КМ-5 або КМ-6 ємністю 0,1 мкФ.

2 ОПИС МАКЕТУ

Макет лабораторної роботи виконаний у типовому корпусі. Електрична схема наведена на рис. 2.1, вигляд верхньої панелі – на рис 2.2.

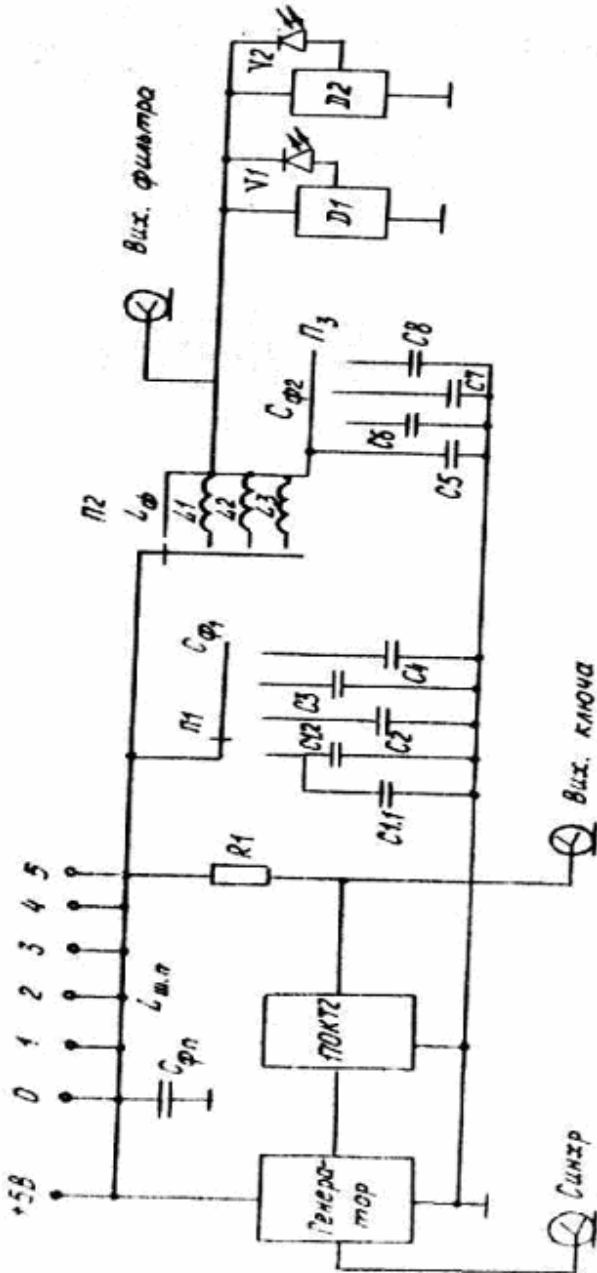


Рисунок 2.1 – Схема лабораторного макета

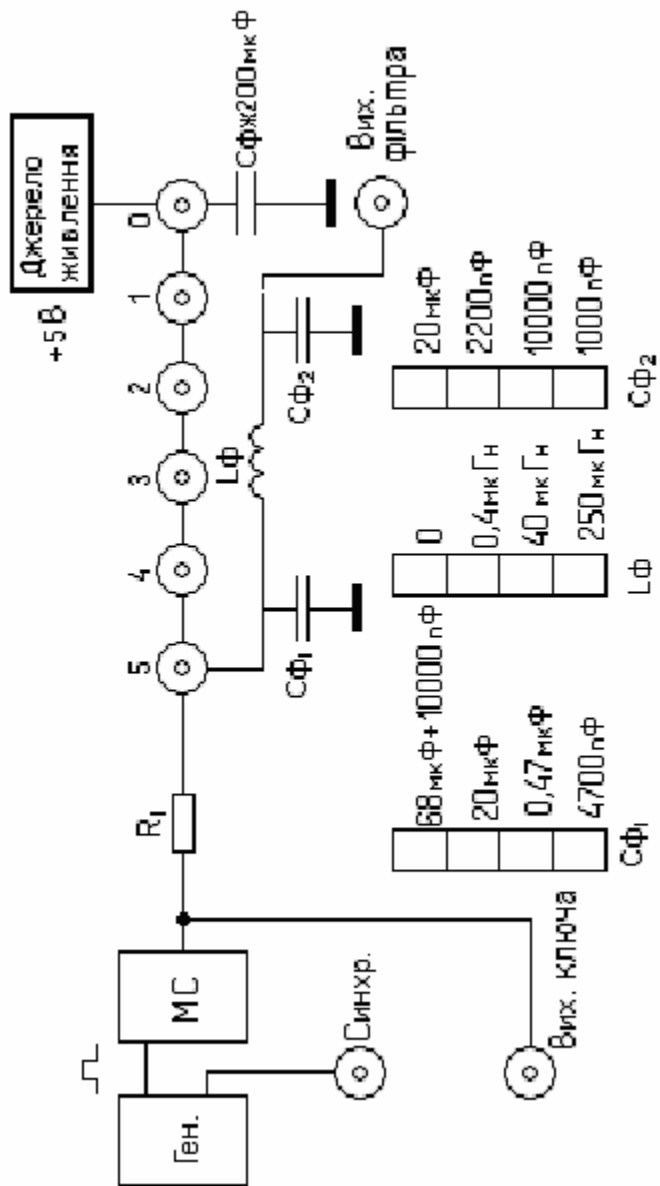


Рисунок 2.2 - Передня панель лабораторного макету

Схема макету містить:

а) генератор задаючих імпульсів („ГЕН”), що виробляє синхроімпульси для запуску розгортки осцилографа (гніздо „СИНХР” на рис. 2.2) та імпульси управління мікросхемою 170КТ2;

б) шину живлення (довжиною $l_{ш}$), на якій наводяться завади при спрацьовуванні ІС типу 170КТ2; шина живлення має відводи (точки 0...5 на рис.2.2) для вимірювання напруги завод;

в) фільтри живлення, що складаються з ємнісного фільтра $C_{\phi 1}$ та LC- фільтра (L_{ϕ} , $C_{\phi 2}$), що підключаються до шини живлення за допомогою перемикачів П1-П3; на виході LC- фільтра встановлений з'єднувач „ВИХ. ФИЛЬТРА”;

г) фільтр живлення $C_{\phi ж}=200$ мкФ.

При подачі напруги на з'єднувач „+5В” від джерела, змонтованого в стійці лабораторного столу, генератор „ГЕН” видає серію синхроімпульсів для запуску розгортки осцилографа, та імпульси, що викликають спрацьовування потужної ІС типу 170КТ2.

Напруга на виході ІС типу 170КТ2 змінюється від +5В до +(0,1-0,2В) та зворотно, за час 150-200 нс. Струм крізь ІС 170КТ2 обмежений опором $R1=15$ Ом, імпульси з ІС 170КТ2 виведені на клему „ВИХ. КЛЮЧА” макету (рис. 2.2). При спрацьовуванні ІС 170 КТ2 на шині живлення виникають завади, що фільтруються ємнісним фільтром $C_{\phi 1}$ (вихід його – точка 5 макету) та LC- фільтром ($L_{\phi}C_{\phi 2}$). Перемикачі П1-П3 призначені для зміни параметрів елементів фільтрів.

Визначення форми та амплітуди імпульсів здійснюється за допомогою імпульсного осцилографа с виносним високоомним пробником шляхом підключення його до точок „0 – 5” та „ВЫХ. ФИЛЬТРА” макету.

На передній панелі макету встановлені перемикачі П1 – П3, виведені точки „0 – 5”, „ВИХ. ФИЛЬТРА”, встановлені розніми „СИНХР” та „+5В” для підключення осцилографа та блока живлення.

Макет має мікросхеми D1 та D2, що є навантаженням LC-фільтра; D1 – схема ТТЛ – 155ЛА3; D2 – схема ЕСЛ – типу 138ЛА3. Якщо схеми спрацьовують від завод в шині живлення, то включаються встановлені на передній панелі світлодіоди V1 та V2 відповідно.

3 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

3.1 Ознайомитись з методичними вказівками до лабораторної роботи та рекомендованою літературою.

3.2 Розрахувати індуктивність шини живлення $L_{ш.ж.}$ та загальної шини L_0 .

Розрахунок вести за формулою (1.3) при $l_{ш}=0.5$ м, $W_{ш}=3 \cdot 10^{-3}$ м, $h_{пр}=5 \cdot 10^{-5}$ м – для шини живлення; $l_0=0,03$ м, $W_0=2 \cdot 10^{-2}$ м, $h_{пр}=5 \cdot 10^{-5}$ м – для загальної шини.

Використовуючи отримані дані, розрахувати напруги завади $U_{зав1}$ та $U_{зав2}$, що виникають на кожній з цих шин, при спрацьовуванні ключового елемента. Розрахунок вести за формулам (1.1) та (1.4) при $\Delta I_{зав}=0,3$ А та $\tau_c = \tau_\phi = 20 \cdot 10^{-9}$ с;

$R_{вих} = R_1 = 15$ Ом.

3.3 Розрахувати коефіцієнти розв'язки LC-фільтра з параметрами:

- а) $C_{\phi 2} = 1000$ пФ типу КМ; $L_\phi = 0,4$ мкГн при $\tau_\phi = 20$ нс;
- б) $C_{\phi 2} = 10000$ пФ типу КН; $L_\phi = 40$ мкГн при $\tau_\phi = 20$ нс;
- в) $C_{\phi 2} = 20$ мкФ типу К53-4; $L_\phi = 250$ мкГн при $\tau_\phi = 20$ нс.

Розрахунок вести за формулою (1.6). Значення R_c конденсаторів фільтрів наведені в додатку А. Результати розрахунків занести до табл. 5.1.

3.4 Розрахувати коефіцієнт розв'язки K_ϕ при значеннях $L_{ш.ж.}$ та L_0 , отриманих в п. 3.2. Розрахунок вести за формулою (1.7). Результати розрахунків занести до табл. 5.1.

4 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

4.1 Визначити залежність значення напруги завади від відстані $X_{ш}$ від точки „0” макету до точки вимірювання $U_{зав} = f(X_{ш})$ при $C_{\phi 1} = 0$ та відключеному LC- фільтрі.

4.2 Дослідити вплив ємності фільтра ($C_{\phi 1}$) на значення та форму завад; для цього необхідно замалювати осцилограми в точці "5" макету при відключеному LC- фільтрі та підключених ємностях:

- а) $C_{\phi 1} = 0$ (віджаті всі кнопки перемикача „ C_ϕ ”);
- б) $C_{\phi 1} = 68$ мкФ + 10000 пФ;
- в) $C_{\phi 1} = 20$ мкФ;

г) $C_{\phi 1}=0,47 \text{ мкФ}$;

д) $C_{\phi 1}=4700 \text{ пФ}$.

4.3 Дослідити вплив параметрів LC- фільтра (L_{ϕ} , $C_{\phi 1}$, $C_{\phi 2}$) на значення та форму завад; для цього необхідно замалювати осцилограми в точці „ВИХ. ФИЛЬТРА” макету при:

а) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=1000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=0,4 \text{ мкГн}$;

б) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=1000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=40 \text{ мкГн}$;

в) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=1000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=250 \text{ мкГн}$;

г) $C_{\phi 1}=4700 \text{ пФ}$; $C_{\phi 2}=1000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=250 \text{ мкГн}$;

д) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=0$; $L_{\phi}=40 \text{ мкГн}$.

Дослідити вплив завад в шині живлення на спрацьовування схем ТТЛ та ЕСЛ при кожній комбінації $C_{\phi 1}$, L_{ϕ} , $C_{\phi 2}$.

4.4 Визначити експериментально коефіцієнт розв'язки K_p

LC- фільтра (L_{ϕ} , $C_{\phi 1}$, $C_{\phi 2}$) з параметрами

а) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=1000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=0,4 \text{ мкГн}$;

б) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=10000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=40 \text{ мкГн}$;

в) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=20 \text{ мкФ}$; $L_{\phi}=250 \text{ мкГн}$;

г) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=2200 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=40 \text{ мкГн}$;

д) $C_{\phi 1}=0$; $C_{\phi 2}=20 \text{ мкФ}$; $L_{\phi}=40 \text{ мкГн}$;

ж) $C_{\phi 1}=4700 \text{ пФ}$; $C_{\phi 2}=10000 \text{ пФ}$; $L_{\phi}=250 \text{ мкГн}$.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему вимірювання згідно з рис.5.1

5.2 Встановити за допомогою перемикачів П1-П3 потрібне значення $C_{\phi 1}=0$, віджати усі кнопки, $L_{\phi}=0$, $C_{\phi 2}=0$;

5.3 Торкаючись пробником осцилографа точок „0-5” макету, визначити напругу завади $U_{\text{зав}}$ як значення максимального викиду на осцилограмі (відносно лінії розгортки) з урахуванням масштабу за вертикаллю осцилографа ; результати занести до таблиці 5.2, побудувати графік $U_{\text{зав}}=f(X_{\text{ш}})$.

5.4 Дослідити вплив ємнісного фільтра $C_{\phi 1}$ на величину та форму завад; для цього необхідно замалювати осцилограми в точці „5” макету при відключеному LC- фільтрі (" L_{ϕ} " і " $C_{\phi 2}$ " встановити в положення "0") та значення ємності $C_{\phi 1}$, вказаних в п. 4.2 та встановлюваних за допомогою перемикача П1 (" $C_{\phi 1}$ ").

Відзначити спрацьовування схеми ТТЛ (світлодіод V1) та ЕСЛ (світлодіод V2) при кожній комбінації $C_{\phi 1}$, L_{ϕ} , $C_{\phi 2}$.

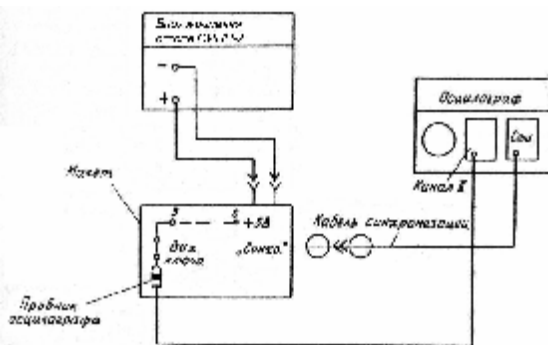


Рисунок 5.1 - Схема вимірювань

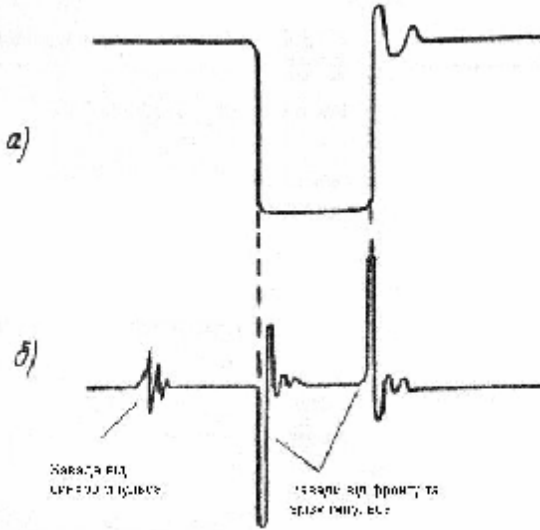
5.5 Дослідити вплив параметрів LC- фільтра (C_{ϕ} , $C_{\phi 2}$) на величину та форму завад; для цього необхідно замалювати осцилограми в точці "ВИХ. ФІЛЬТРА" макета при значеннях $C_{\phi 1}$, L_{ϕ} , $C_{\phi 2}$, вказаних в п. 4.3.

5.6 Визначити експериментально коефіцієнт розв'язки K_p LC- фільтра ($C_{\phi 1}$, L_{ϕ} , $C_{\phi 2}$) з параметрами, вказаними у п. 4.4. Для цього необхідно:

а) встановити потрібні значення $C_{\phi 1}$, L_{ϕ} , $C_{\phi 2}$ за допомогою перемикачів П1-ПЗ;

б) торкаючись пробником точки „5” макету визначити $U_{\text{зав. вх.}}$, а в точці „ВИХ. ФІЛЬТРА” визначити $U_{\text{зав. вих.}}$, як значення максимального викиду на осцилограмі відносно лінії розгортки з урахуванням масштабу за вертикаллю.

На осцилограмі, поряд з зображенням завад від фронту та зрізу імпульсу струму крізь ключову мікросхему, може бути видна завада, наведена від синхроімпульсу задаючого генератора макету. Необхідно, торкнувшись пробником осцилографа точки „ВИХ. КЛЮЧА” макету, визначити положення фронту та зрізу імпульсу (рис. 5.2,а), а потім в точці „ВИХ. ФІЛЬТРА”, визначити напругу завади як максимальний викид, що співпадає за часом з фронтом або зрізом імпульсу (рис. 5.2,б), не враховуючи завади від синхроімпульсу. Результати занести до таблиці 5.1.



а – осцилограма в точці “Вих. ключа”

б – осцилограма в точці “Вих. фільтра”

Рисунок 5.2 – Приклад осцилограм

в) за формулою (1.5) розрахувати коефіцієнт розв’язки K_p ; результати занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків та вимірювань

$C_{\phi 1}$	L_{ϕ}	$C_{\phi 2}$	$U_{\text{зав. вх.}}$ В	$U_{\text{зав. вих.}}$ В	K_p ф. 1.6	K_p ф. 1.7	K_p експ.

Таблиця 5.2 – Результати досліджень $U_{\text{зав}}=f(X_{\text{ш}})$

Параметр	N точки на макеті					
	0	1	2	3	4	5
$X_{\text{ш}}, \text{ см}$	0	10	20	30	40	50
$U_{\text{зав}}, \text{ В}$						

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;
- результати розрахунків та експериментальні дані, зведені до табл..5.1 та 5.2;
- осцилограми згідно п. 4.2 - 4.4;
- висновки до роботи.

7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 7.1 Причини виникнення завад в колах живлення.
- 7.2 Методи боротьби з завадами в колах живлення.
- 7.3 Що таке статична та динамічна завадостійкість логічних схем?
- 7.4 Що таке завадостійкість аналогових схем?
- 7.5 Що таке коефіцієнт розв'язки? Його визначення.
- 7.6 Як здійснюється вибір конденсаторів фільтра?
- 7.7 Які наслідки появи завад в колах живлення?
- 7.8 Як збільшити коефіцієнт розв'язки фільтра живлення?
- 7.9 Поясніть вид залежності $U_{\text{зав.}} = f(X_{\text{ш.}})$.
- 7.10 Поясніть вид осцилограм.
- 7.11 Чим обмежується значення коефіцієнту розв'язки K_p LC-фільтра зверху при необмеженому збільшенні $L_{\text{ф.}}$, $C_{\text{ф.}}$?

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для радиотех. спец. ВУЗов – М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
- 2 Ненашев А.П., Колядов Л.А. Особенности конструирования электромагнитных связей МЭА – МИЭТ, 1977.

Додаток А

Таблиця А1 – Модуль величини паразитного опору R_C конденсаторів

Тип конденсатора	Параметри	
	С, мкФ	R_C , Ом
К53-4	20	1,6
	68	1,8
КМ-6	1000 пФ	2,8
	2200 пФ	2,25
	0,1	2,0
	0,47	2,0
К50-6	200	3,0
КН	10000 пФ	