

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ

Кафедра телекомунікаційних технологій та автоматики



ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Методичні рекомендації

щодо виконання лабораторних робіт

для студентів спеціальності 7.092507- «Автоматика та автоматизація
на транспорті» денної та заочної форм навчання

КИЇВ · 2008

УДК 656.25

Теорія електричного зв'язку: Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних робіт для студентів вищих навч. закл. залізн. трансп. / С.М. Білан. – К.: ДЕГУТ, 2008. – 50 с.

Методичні рекомендації містять матеріали для вивчення та отримання практичних навичок з сучасної теорії електричного зв'язку, теоретичний матеріал дисципліни «Теорія електричного зв'язку», методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з використанням прикладних програм Electronic Workbench та Multisim, розглядаються питання дослідження характеристик сучасних засобів зв'язку.

Призначені для студентів спеціальності 7.092507 «Автоматика та автоматизація на транспорті» денної та заочної форм навчання і відповідають програмі курсу «Теорія електричного зв'язку».

Методичні рекомендації розглянуті та затверджені на засіданні кафедри (протокол № 2 від 29 вересня 2008 р.) та на засіданні методичної ради факультету (протокол № 3 від 28 жовтня 2008 р.).

Укладачі: Білан С.М., канд. техн. наук, доцент каф. ТТА

Рецензенти: Стасюк О.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційні системи та технології ДЕГУТ;

Сватов В.П., к.т.н., доцент кафедри телекомунікаційних технологій та автоматики ДЕГУТ;

Чановський М.З., к.т.н., доцент каф. радіотехнологій, Державного університету інформаційно – комунікаційних технологій

Зміст

Загальні положення.....	4
Порядок роботи в лабораторії.....	4
Виконання робіт у лабораторії.....	4
Техніка безпеки під час виконання робіт.....	5
Оформлення звіту і захист роботи	6
Рекомендована література.....	6
Лабораторна робота № 1. Дослідження характеристик сигналів при узгодженій фільтрації	8
Лабораторна робота № 2. Дослідження спектрів послідовності відео імпульсів	12
Лабораторна робота № 3. Дослідження процесу дискретизації і квантування сигналу	16
Лабораторна робота № 4. Дослідження сигналів та їх спектрів	22
Лабораторна робота № 5. Дослідження амплітудного модулятора	30
Лабораторна робота № 6. Дослідження амплітудного детектора	35
Лабораторна робота № 7. Дослідження частотного детектора	39
Лабораторна робота № 8. Дослідження фазового детектора	45

Загальні положення

Методичні вказівки містять опис лабораторних робіт, порядок виконання, вимоги до звіту і контрольні питання з дисципліни „Теорія електричного зв'язку” і „Теорія передачі інформації” для студентів 7.092507 – Автоматика та автоматизація на транспорті.

Цикл лабораторних робіт з дисципліни „Теорія електричного зв'язку” призначений для закріплення знань теоретичного курсу, ознайомлення з принципами роботи елементів зв'язаних систем і обробки радіотехнічних сигналів з використання, а також для отримання студентами навичків наукового дослідження в комп'ютерних технологіях.

Методичні вказівки підготовлені на кафедрі телекомунікаційних технологій та автоматики.

Порядок роботи в лабораторії

Під час підготовки до роботи необхідно:

- за конспектами лекцій і рекомендованою літературою вивчити теоретичний матеріал, що стосується лабораторної роботи;
- вивчити обладнання та комп'ютерні програми, які використовуються для проведення лабораторної роботи;
- ознайомитись з описом роботи, що виконується, і продумати відповіді на контрольні запитання.

Виконання робіт у лабораторії

Лабораторні роботи проводяться бригадами з виконанням усіх поставлених вимог.

Робота в лабораторії вважається закінченою лише після перегляду і затвердження отриманих результатів викладачем.

Після закінчення роботи студент зобов'язаний привести робоче місце в порядок.

Техніка безпеки під час виконання робіт

У зв'язку з тим, що електроживлення комп'ютерів здійснюється від мережі змінного струму напругою 220В частотою 50Гц, у процесі виконання лабораторних робіт може виникнути ураження електричним струмом чи пожежа. Тому студенти допускаються до виконання лабораторних робіт лише після проведення інструктажу з техніки безпеки. Інструктаж проводиться викладачем і підтверджується власним підписом студента в спеціальному журналі.

Особи, що не виконують правила з техніки безпеки або порушують їх, від роботи відсторонюються і несуть відповідальність.

Під виконання лабораторних робіт **забороняється**:

- виконувати роботи без інструктажу з техніки безпеки ;
- виконувати роботи без викладача або лаборанта;
- самостійно включати та виключати комп'ютер;
- залишати без догляду включений комп'ютер;
- здійснювати будь-які дії, які можуть призвести до поломки комп'ютера чи пошкодження встановлених програм і файлів;
- копіювати інформацію, що міститься в комп'ютерах на будь-які види власних носіїв.

Студент зобов'язаний

- тримати робоче місце вільним від посторонніх предметів.

При порушенні ізоляції з'єднувальних кабелів комп'ютера чи його „зависанні” потрібно негайно припинити роботу і повідомити лаборанта чи викладача .

Якщо стався нещасний випадок необхідно терміново:

- вимкнути сітку змінного струму;
- повідомити викладача або лаборанта;

- надати першу медичну допомогу потерпілому;
- при необхідності викликати швидку допомогу за телефоном 03.

Оформлення звіту і захист роботи

Звіт щодо оформлення роботи має бути підготовлений індивідуально в електронному вигляді і зберігатися в персональній папці на „жорсткому” диску комп’ютера дисплейного класу.

Захист з лабораторної роботи студент отримує після надання звіту і успішної відповіді на поставленні запитання викладача, які пов’язані з тематикою лабораторної роботи.

Редомендована література

1. *Карлащук В. И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. - М.: Солон-Р, 2003.
2. *Очков В. Ф.* MathCad 7 Pro для студентов и инженеров. - М.: Компьютер Пресс, 1998.
3. *Каганов В. И.* РАДИОТЕХНИКА+КОМПЬЮТЕР+МАТНСАД. - М.: Горячая линия-Телеком, 2001.
4. Теория электрической связи. Под ред. *Кловского Д. Д.* - М.: «РиС», 1999 г.
5. *Зюко А.Г.* и др. Теория передачи сигналов. - М.: «РиС», 1986 г.
6. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы.- М.: «РиС», 1983 г.
7. *Гоноровский П.С.* Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: «РиС», 1986 г.
8. *Игнатъев В.И.* Теория информации и передачи сигналов. - М.: Сов. радио 1979 г.
9. *Бортник Г.Г., Кичак В.М.* Основи теорії передачі інформації. Навчальний посібник . – Вінниця: ВДГУ, 2002. - 128 с.

10. *Тимченко Л.І., Горейко С.М., Білан С.М.* Теорія електрозв'язку. Рекомендації до курсового та дипломного проектування – К.:КУЕТТ,2005 – 49 с.
11. *Павлик В.М.* Завдання на контрольну роботу з методичними вказівками для самостійного вивчення з дисципліни «Теорія електрозв'язку». - Київ.: КУЕТТ, 2002. – 12 с.
12. *Павлик В.М.* Завдання на курсову роботу з методичними вказівками для самостійного вивчення з дисципліни «Теорія електрозв'язку» - К.: КУЕТТ, 2000. – 9 с.
13. *Шалягин Д.В., Цибуля Н.А., Косенко С.С., Волков А.А.* и др. Устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебник для вузов ж.-д. транспорта.: В 2 ч. – М.: Маршрут, 2006.
14. *Танигін Ю.І.* Теоретичні основи передавання інформації: Навч. Посіб. – К.: Університет «Україна», 2007. – 137 с.
15. *Кузьмин И.В., Кедрус В.А.* Основы теории информации и кодирования: Учебник для вузов.- К.: Вища школа, 1986.
16. *Калмыков В.В.* Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1990.
17. *Панфилов И.П., Дырда В.Е.* Теория электрической связи. – М.: Радио и связь, 1991.

Лабораторна робота № 1

Дослідження характеристик сигналів при узгодженій фільтрації

Мета роботи: вивчити властивості і характеристики сигналів при узгодженій фільтрації.

Теоретичні положення

Для заходження комплексного коефіцієнта передачі узгодженого фільтра необхідно знати комплексну спектральну густину сигналу, що пропускається через фільтр. Прямокутний відеоімпульс має комплексну спектральну густину:

$$S(\omega) = \frac{A(1 - e^{-i\omega\tau_i})}{i\omega},$$

де A – амплітуда імпульса.

Узгоджений фільтр повинен мати коефіцієнти передачі K_ϕ , комплексно спряжений із спектральною густиною $S^*(\omega)$ заданого сигналу (в нашому випадку із прямокутним відеоімпульсом):

$$K_\phi(i\omega) = K_0 S^*(\omega) e^{-i\omega\tau_i},$$

де K_0 – постійний коефіцієнт, що має розмірність, спектральної густини сигналу, $[1/S(\omega)]$

$$S^*(\omega) = \frac{A(1 - e^{i\omega\tau_i})}{(-i\omega)} \quad - \quad \text{комплексно спряжена спектральна густина}$$

прямокутного відеоімпульса.

Таким чином,

$$K_\phi(i\omega) = \frac{K_0(1 - e^{i\omega\tau_i})}{(-i\omega)} e^{-i\omega\tau_i} = \frac{K_0 A(1 - e^{-i\omega\tau_i})}{i\omega}.$$

Структурна схема фільтра синтезується до вигляду, поданого на рис.1.

Фільтр містить інтегратор (Інт), пристрій віднімання (ПВ) та лінію затримки (ЛЗ). Інтегратор реалізує множник $1/i\omega$. Затримка на τ_i реалізується ЛЗ.

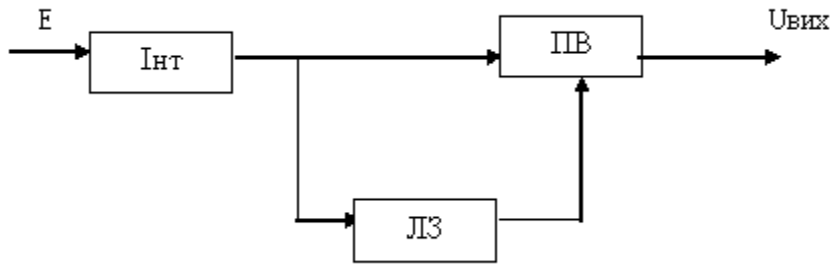


Рис.1. Структурна схема фільтра

Відношення максимуму сигналу на виході до середньоквадратичного значення білого шуму (завади) N_o напрузі рівне:

$$\eta = \frac{c}{u} = \sqrt{\frac{E}{N_o(w)}}$$

де $E = A^2 \tau_i$ – енергія сигналу.

Існує інтегруючий RC- ланцюг; постійна часу ланцюга $T = RC$ (рис.2)

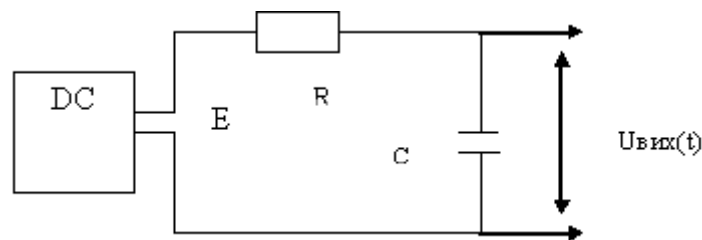


Рис.2. Інтегруючий RC- ланцюг

Інтегруючий RC- ланцюг, як фільтр нижчих частот, подає для відеоімпульсу квазіузгоджений фільтр при отриманому співвідношенні між тривалістю імпульса - τ_i і постійного часу RC- ланцюга- Тц.

Максимальне значення сигналу на виході $U_{вих}(t)$ буде в момент часу $t = \tau_i$, тобто

$$U_{вих}(t) = e(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Спектральна густина потужності білого шуму на виході кола:

$$W_{вих}(w) = N_o(w)K^2(w) = \frac{N_o}{1 + (wT)^2}$$

де $K^2(w)$ – квадрат модуля коефіцієнта передачі інтегруючого RC- ланцюга за напругою.

Середнє квадратичне значення напруги шуму на виході кола:

$$\sigma_{\text{вих}} = \left\{ \frac{N_o}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dw}{1 + (wT_u)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{N_o}{2T_u} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Відношення сигнал/шум на виході кола по напрузі:

$$\eta_2 = \frac{U_{\text{вих}}(t)}{C_{\text{вих}}} = \frac{A(1 - e^{-\frac{\tau_i}{T_u}})}{\sqrt{\frac{N_o}{2T_u}}} = \sqrt{\frac{A^2 \tau_i}{N_o}} \sqrt{\frac{2T_u}{\tau_i}} \left(1 - e^{-\frac{\tau_i}{T_u}} \right).$$

Поділимо обидві частини на першій множник правої частини рівняння і отримаємо:

$$\frac{\eta_2}{\sqrt{\frac{A^2 \tau_i}{N_o}}} = \sqrt{\frac{2T_u}{\tau_i}} \left(1 - e^{-\frac{\tau_i}{T_u}} \right).$$

Залежність від τ_i / T_u подано на рис.3.

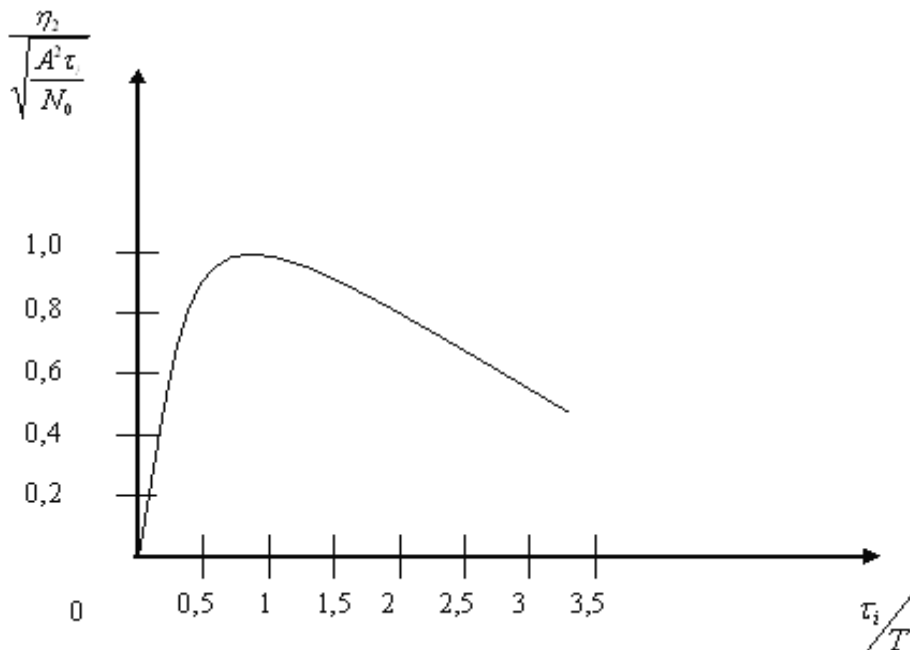


Рис.3. Графік залежності відношення $\frac{\eta_2}{\sqrt{\frac{A^2 \tau_i}{N_o}}}$ від τ_i / T_u

При $\tau_i = T_u$ коефіцієнт:

$$\sqrt{\frac{2T_u}{\tau_i}} \left(1 - e^{-\frac{\tau_i}{T_u}} \right) = \sqrt{2 \cdot 1} \cdot (1 - e^{-1}) = 0,9 \approx 1\text{дБ}.$$

Характеризується зменшенням відношення с/ш у інтегруючому RC фільтри при проходженні через нього прямокутного відеоімпульсу і при дії „білого” шуму у порівнянні з оптимальним (узгодженим) фільтром.

Завдання і хід роботи

1. Використовуючи генератор прямокутних відеоімпульсів, двопробеневий осцилограф і отримані дані, згідно з варіантом (задається викладачем для кожної бригади), резистор та конденсатор, зібрати схему згідно з рис.2.

Дані по варіантах зведені до таблиці 1.

Таблиця 1. Варіанти початкових даних

	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\tau_i, мс$	0,5	1	3	1,5	2	0,8	2,5	1,6	1	2
A, B	9	7	2	4	5	8	4	6	3	1
$10^{-2} N_0(w), \frac{B^2}{Гц}$	9	5	1	2	4	6	7	5	3	2
$R \cdot 10^3, Ом$	5	1	3	15	1	2	2,5	2	1	3
$C \cdot 10^{-6}, Ф$	0,1	1	1	0,1	2	0,4	1	0,8	1	1

2. Зняти осцилограми на виходах кола та генератора і занести до звіту.

3. Побудувати схему (рис.2) у пакеті Electronic Workbench. Роздрукувати схему і отримані осцилограми та додати до звіту.

4. Визначити коефіцієнт передачі узгодженого фільтра для відеоімпульсу прямокутної форми: синтезувати його структурну схему. На виході фільтра разом з імпульсом діє „білий” шум із спектральною густиною. Обчислити відношення сигнал/шум на виході фільтра.

5. Пропустити відеоімпульс разом через інтегруюче RC - коло і розрахувати відношення сигнал/шум на виході кола. Побудувати графік сигнал/шум від величини τ_i / T і по ньому знайти величину с/ш при $\tau_i = T_{\text{ц}} = RC$.

Визначити втрати в (децибелах) відношення с/ш у порівнянні з попереднім розрахунком.

6. Скласти звіт згідно з завданням.

Контрольні питання

1. Дайте визначення сигналу.
2. Дайте визначення комплексного коефіцієнта передачі.
3. Який фільтр називається узгодженим?
4. Дайте характеристику відношенню сигнал/шум.
5. В яких величинах вимірюються втрати сигналу у лінії зв'язку?

Лабораторна робота №2

Дослідження спектрів послідовності відеоімпульсів

Мета роботи: вивчення основних спектральних характеристик послідовності відеоімпульсів.

Теоретичні положення

Розкладання сигнальної функції на „простіші” складові називається *спектральним аналізом* або *спектральним розкладанням*. У тригонометричному ряді Фур'є замість таких „простіших” функцій використовується синусоїдальне (косинусоїдальне) коливання однієї частоти, яке називається гармонічним.

Ряд Фур'є подається як:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cdot \cos Kw_1 t + \epsilon_k \cdot \sin Kw_1 t),$$

де a_k і ϵ_k - коефіцієнти, які визначаються за такими формулами:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \cos Kw_1 t dt ,$$

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) dt ,$$

$$\epsilon_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \sin Kw_1 t dt .$$

Склад гармонійного розкладання визначають по парних і непарних коефіцієнтах, залежно від виду функції $x(t)$ у межах $\left(-\frac{T}{2}; \frac{T}{2}\right)$.

Для неперервної функції, тобто $x\left(-\frac{T}{2}\right) = -x\left(\frac{T}{2}\right)$, залишаються члени b_k , які визначаються непарною функцією синусу (при цьому $a_k = 0$), а для парної функції визначаються тільки складові a_k ($b_k = 0$). Постійна складова дорівнюється нулю.

Для парної функції

$$b_k = \frac{4K_0}{Kw_1T} \left(1 - \cos K \frac{w_1T}{2}\right).$$

З урахуванням того, що $w_1 = \frac{2\pi}{T}$; $w_1T = 2\pi$; $w = 2\pi f$.

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2x_0}{\pi} \left[\sin 2\pi f_1 t + \frac{1}{3} \sin 2\pi 3 f_1 t + \frac{1}{5} \sin 2\pi 5 f_1 t + \dots \right].$$

Подемо отриманий склад графіком (рис.4).

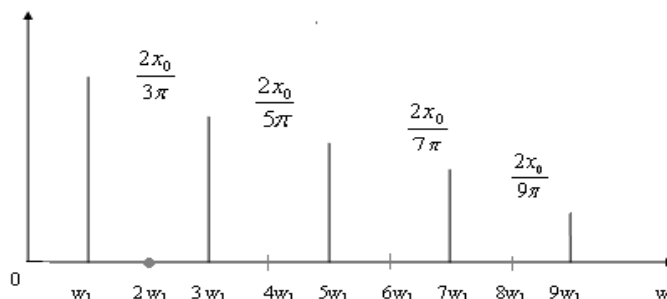


Рис.4. Спектральний склад функції

Ряд Фур'є для парної функції при нескінченій послідовності відеоімпульсів має вигляд:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos Kw_1t = \frac{E}{N} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2E}{k\pi} \sin \frac{kN_1\tau_i}{2} \right] \cdot \cos kw_1t$$

Графічне відображення даного ряду Фур'є має вигляд, поданий на рис. 5.

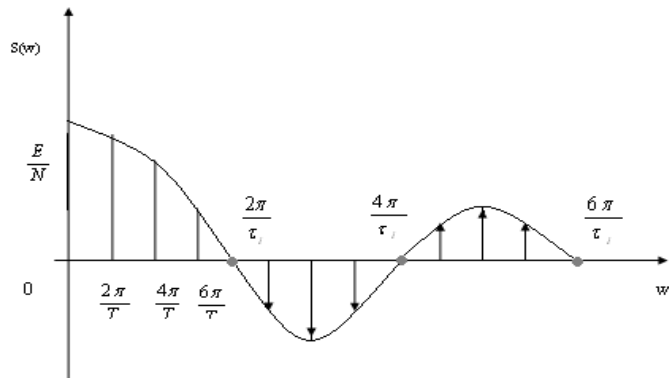


Рис.5. Графічне відображення ряду Фур'є

Розділення загального спектра на амплітудно-частотний і фазо-частотний графіки мають такий вигляд (рис.6.). Врахуємо, що $\omega = 2\pi f$.

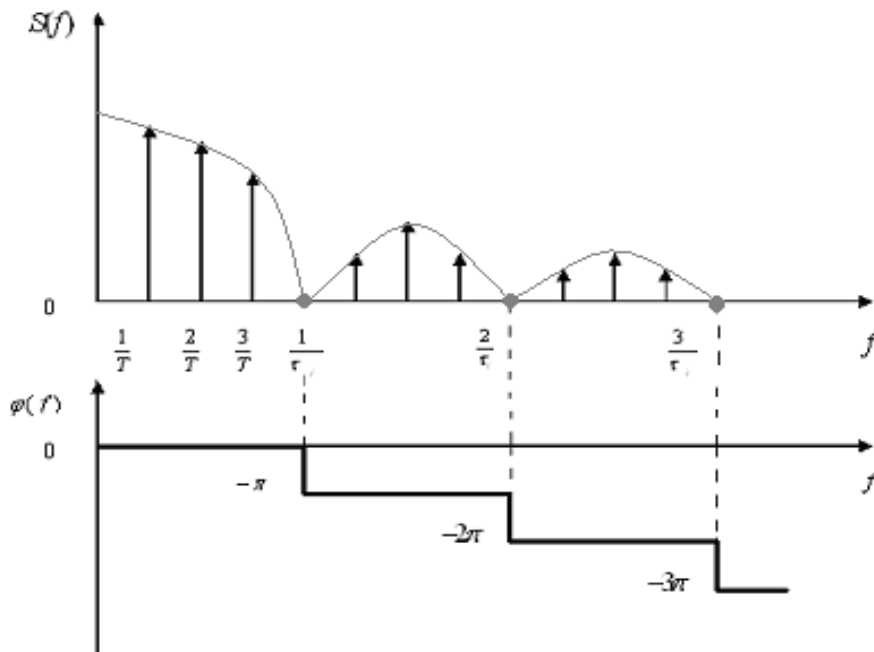


Рис.6. Амплітудно-частотний і фазо-частотний графіки

Завдання і хід роботи

1. Використовуючи генератор імпульсів, спектроаналізатор і осцилограф скласти схему, згідно з рис.7.

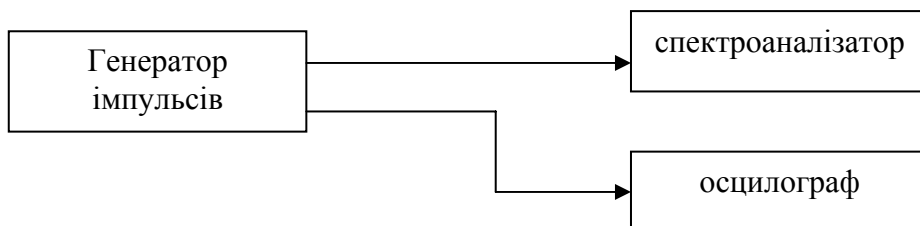


Рис.7. Схема лабораторної установки

2. Встановити на генераторі імпульсів параметри імпульсної послідовності відповідно з табл. 2.

Таблиця 2. Початкові дані для виконання завдання

№ бригади	1	2	3	4	5	6
Тривалість імпульса	10 мкс	9 мкс	8 мкс	7 мкс	6 мкс	5 мкс
Періодичність $T_{\text{п}}$	5 кГц	6 кГц	7 кГц	8 кГц	9 кГц	10 кГц

3. Для даної послідовності розрахувати амплітудно-частотний спектр.

4. Підібрати рівень відеоімпульсів відповідно до чутливості спектроаналізатора і замірити амплітуду імпульсів по осцилографу.

5. Встановити на аналізаторі початок шкали частот ручкою „несущая”, підібрати необхідний масштаб сканування і швидкість, постійну інтегрування детектора, „вузьку” смугу аналізуючого фільтра і спостерігати спектральний склад послідовності відеоімпульсів.

6. Змінювати тривалість імпульсу і оцінити зміни першого „лепестка” спектра.

7. Змінюючи частоту надходження імпульсів оцінити зміни першого „лепестка” спектра. Розгортку осцилографа зменшити для можливості спостереження за змінами періоду імпульсів.

8. Зробити висновки по отриманих результатах і проведених дослідженнях.

9. Скласти звіт.

Контрольні питання

1. Наведіть основні спектральні характеристики послідовності відеоімпульсів.

2. Що таке спектральний аналіз?

3. Які коефіцієнти називають парними і непарними?

4. Який спектр називається амплітудно - частотним?

5. Які функції називаються парними і непарними?

Лабораторна робота №3

Дослідження процесу дискретизації і квантування сигналу

Мета роботи: Дослідження процесу дискретизації і квантування сигналу.

Опис схеми

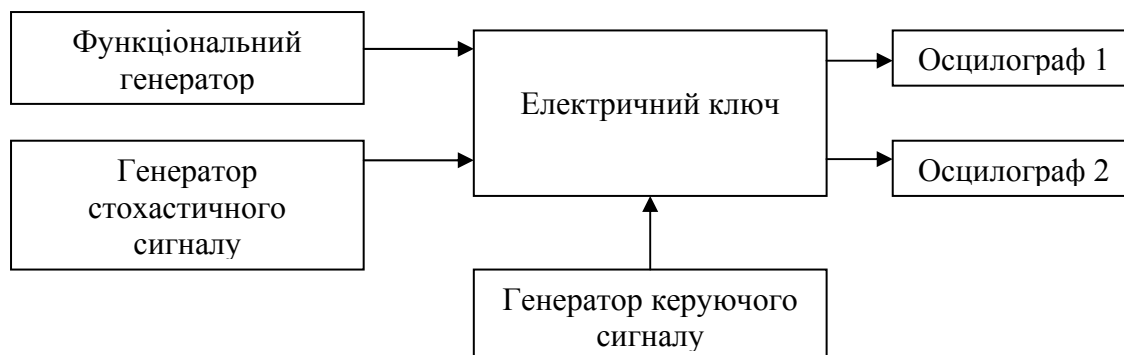


Рис.8. Структурна схема дослідження процесу

Функціональний генератор – створює гармонійний сигнал, а також сигнали трикутної та прямокутної форми.

Генератор стохастичного сигналу – створює стохастичний сигнал, зосереджений на джерелі поліноміального сигналу, в якому моделюється взаємодія АН, ЧН і гармонійного коливання.

Генератор керуючого сигналу - створює послідовність прямокутних імпульсів із заданою шпаруватістю.

Період дослідження даних імпульсів є періодом дискретизації Δt , а їх тривалість T_i визначає відносну похибку перетворення δ .

Згідно з теоремою Котельникова значення періоду дискретизації має задовольняти умову:

$$\Delta t \leq 1 / 2\pi f_g,$$

де f_g - верхня частота перетворення сигналу.

Відносна похибка перетворення визначається виразом:

$$\delta, \% = 200\pi f_g T_i.$$

Електричний ключ – на польовому транзисторі типу BF245A.

Осцилограф – застосовується віртуальний двопроменевий осцилограф. В даній роботі рекомендується установлювати параметри розгортки дільників

наруги так, щоб на його екрані реєструвалися від 1 до 2 періодів сигналу без обмежень по амплітуді.

Методичні вказівки

1. Перед виконанням роботи підготувати проект звіту по лабораторній роботі, яка включає в себе:

- титульний лист із зазначенням найменування роботи, номера роботи завдання, ПІБ студента, номер групи і дати виконання роботи;
- листи для копіювання вимірювальних схем, реєстрації результатів вимірів, розрахункових даних і висновків.

Варіант завдання визначається викладачем.

2. В програмі Multisim створити модель для дослідження процесу дискретизації і квантування сигналів згідно з принциповою електричною схемою, яка наведена на рис.9.

3. Визначити параметри генератора керуючого сигналу V4 відповідно з варіантом завдання, вказаним викладачем і таблицею 3.

Таблиця 3. Варіанти завдання параметрів генератора керуючого сигналу V4

Номер варіанту	Частота (Frequency), Гц	Амплітуда (Amplitude), В	Коефіцієнт заповнення (Duty Cycle),%
1	1000	5	20
2	1100	5	25
3	1300	5	15
4	900	5	30
5	1050	5	10
6	950	5	10
7	1150	5	20
8	1200	5	25
9	1250	5	30
10	1350	5	15

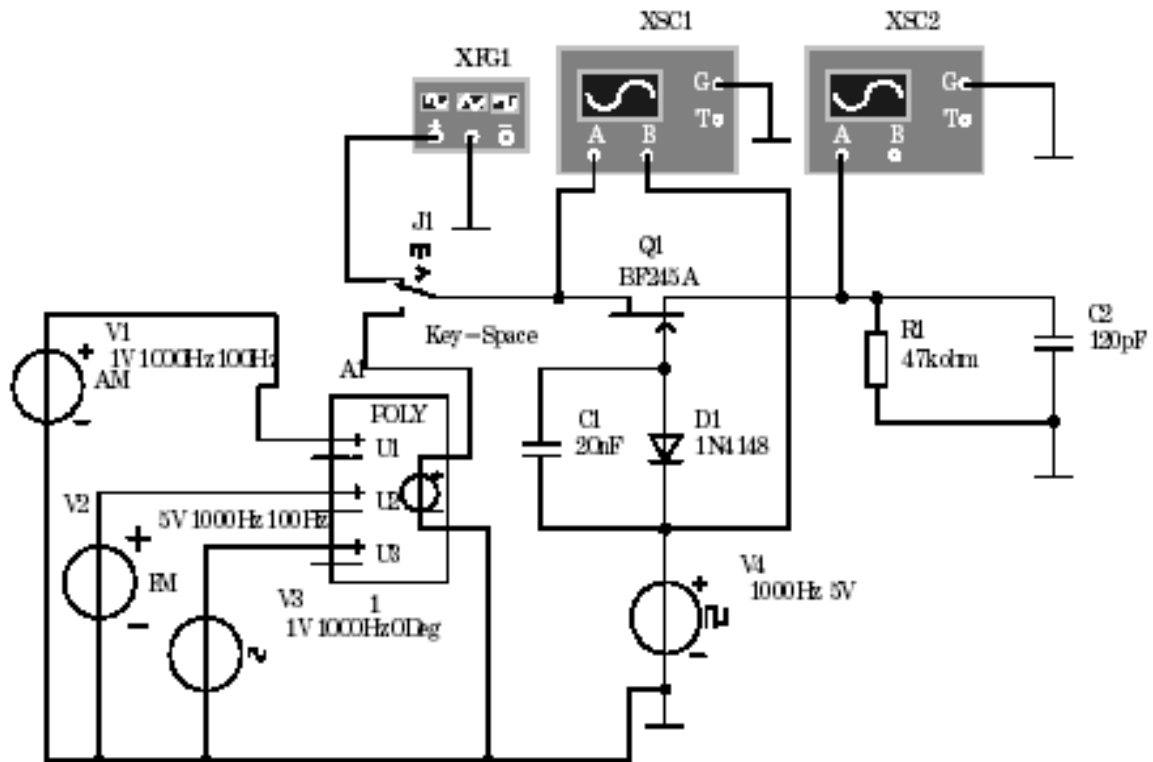


Рис. 9. Принципова електрична схема дослідження процесу дискретизації і квантування сигналів

4. Визначити частоту функціонального генератора XFG1, що дорівнює 100 Гц, а амплітуду - 1 В в режимі гармонійного сигналу.
5. Визначити такі параметри джерела V1 АМ – сигналів:
 - амплітуда $V_C = 0,5\text{В}$;
 - несуча частота $F_C = 100$ Гц;
 - частота модуляції $F_M = 10$ Гц.
6. Визначити такі параметри джерела V2 ЧМ – сигналів:
 - амплітуда Voltage Amplitude = 0,5 В;
 - несуча частота Carrier Frequency = 100 Гц;
 - частота девіації Signal Frequency = 10 Гц.
7. Визначити такі параметри джерела гармонічних сигналів V3:
 - амплітуда Voltage Amplitude = 0,5 В;
 - частота Frequency = 100 Гц;
 - фазовий зсув Phase = 90^0 .
8. Визначити коефіцієнти поліноміального джерела $F = 1, G = 1, I = 1$.

9. Показати зібрану модель викладачу для перевірки.

10. Натисканням правої кнопки миші на чорному полі моделі викликати відповідну вкладку і встановити колір всіх відповідних компонентів моделі – червоний. Копіювати принципову електричну схему моделі у відповідний розділ звіту.

Визначення процесу дискретизації гармонійного сигналу

11. Включити модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа 1, а також на вході А осцилографа 2 (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

12. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

14. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

Визначення процесу дискретизації сигналу трикутної форми

15. Встановити функціональний генератор XFG1 в режим сигналу трикутної форми.

16. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа 1, а також на вході А осцилографа 2 (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

17. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

19. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

Вивчення процесу дискретизації сигналу прямокутної форми

20. Встановити функціональний генератор XFG1 в режим сигналу прямокутної форми.

21. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа 1, а також на вході А осцилографа 2 (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

22. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

24. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

Вивчення впливу частоти вибірки на процес дискретизації

25. Встановити частоту генератора керуючого сигналу V4 рівний 100 Гц.

26. Встановити функціональний генератор XFG1 в режимі гармонійного сигналу.

27. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа 1, а також на вході А осцилографа 2 (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

28. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

30. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

Вивчення процесу дискретизації стохастичного сигналу

31. Підключити генератор стохастичного сигналу натискання клавіші на клавіатурі комп'ютера.

32. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа 1, а також на вході А осцилографа 2 (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale). Час спостереження повинен становити не менше 2 хвилин.

33. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

35. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

36. Встановити частоту генератора керуючого сигналу V4 відповідно до відповідного варіанту завдання (табл.3.).

37. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа 1, а також на вході А осцилографа 2 (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale). Час спостереження повинен становити не менше 2 хвилин.

38. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

40. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

41. Представити результати вимірів викладачу для перевірки.

42. Закрити вікна програми Multisim без збереження змін в файлі Circuit 1.

43. Використати отримані дані, підготувати звіт в редакторі Word, в який входить:

- титульний лист;
- мета роботи;
- принципову електричну схему вимірів;
- графіки осцилограм;
- розрахунки максимального періоду дискретизації Δt і відносної похибки перетворення δ для конкретного варіанту завдання параметрів генератора керуючого сигналу V_4 ;
- висновки.

44. Зберегти звіт у персональній папці, застосовуючи виключно шлях Файл – Зберегти як... Ім'я збереженого файлу має містити номер варіанта завдання.

45. Показати звіт до зарахування викладачу.

Контрольні питання

1. У чому полягає процес дискретизації неперервних сигналів? Як його записати аналітично.

2. Як змінюється спектр сигналу в результаті його дискретизації?

3. Наведіть приклади практичного дослідження дискретизації сигналів в системах зв'язку.

4. Сформулюйте теорему відліків.

5. З яких міркувань вибирається частота дискретизації неперервних сигналів?

6. Яким чином за допомогою якого функціонального приладу забезпечується відновлення сигналу?

7. Вказати принципи похибок відновлення неперервного сигналу.

8. Напишіть вирази сигналу у вигляді ряду Котельникова.

9. Який базис використовується при розкладі сигналів в ряд Котельникова.

10. Як визначається коефіцієнт розкладу сигналів в ряд Котельникова?

Рекомендована література

1. *Теория электрической связи* / Под ред. проф. Д.Д. Кловського. - М.: Радио и связь, 1998. - С. 88-94.

2. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высш. шк., 2000. С.294-300.

Довідникові дані про сигнальний діод типу 1N4148:

$U_{зв.макс} = 75 \text{ В}$; $I_{зв} = 5 \text{ мкА}$; $U_{пр} = 0,6 \text{ В}$; $I_{пр} = 10 \text{ мА}$; $t_{пост.Рзв} = 4 \text{ нс}$; $C = 1,3 \text{ пФ}$.

Довідкові дані про польовий транзистор типу BF245A:

$U_{зи\ пор} = 40 \text{ В}$; $I_{поч.мін} = 2,5 \text{ мА}$; $I_{поч.макс} = 7,5 \text{ мА}$; $U_{відс.мін} = 1,8 \text{ В}$; $U_{відс.макс} = 5 \text{ В}$;

$C_{зі} = 5 \text{ В}$; $C_{зі} = 25 \text{ пФ}$; $C_{зс} = 5 \text{ пФ}$.

Лабораторна робота № 4

Дослідження сигналів та їх спектрів

Мета роботи: Дослідження неперервних і Т-фінітних сигналів та їх спектрів.

Опис схеми

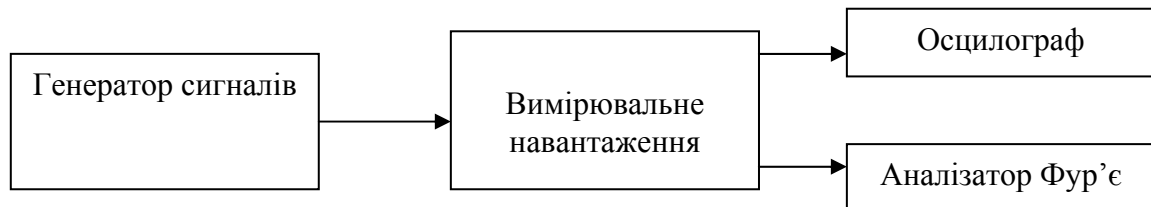


Рис.10. Структурна схема дослідження сигналів і їх спектрів

Генератор сигналів – створює гармонічний сигнал, а також сигнал трикутної та прямокутної форми.

Вимірювальне навантаження – резистор або напівпровідниковий діод з резистором.

Осцилограф – застосовується віртуальний двопроменевий осцилограф. В даній роботі рекомендується встановити параметри розгортки і дільників напруги так, щоб на його екрані реєструвалося від 1 до 2 періодів сигналу без обмежень по амплітуді.

Аналізатор Фур'є – застосовується віртуальний аналізатор Фур'є програми Multisim.

Для періодичної функції виду:

$$\phi(t) = \phi(t \pm nT),$$

де $T = 2\pi/\omega$ - період коливань; n – будь-яке додатне ціле число; ω – кутова частота, використовується ряд Фур'є, утворений із ортогональних тригонометричних функцій:

$$\phi(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t),$$

де

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \phi(t) dt;$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \phi(t) \cos k\omega t dt;$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \phi(t) \sin k\omega t dt.$$

Для одиночного імпульсу ($T \rightarrow \infty$);

$$\phi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega,$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Комплексне вираження для спектральної щільності:

$$S(\omega) = A(\omega) - jB(\omega) = |S(\omega)| e^{j(\varphi)},$$

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) \cos \omega t dt;$$

$$B(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) \sin \omega t dt.$$

Амплітуда і фаза спектральної щільності:

$$|S(\omega)| = \sqrt{[A(\omega)]^2 + [B(\omega)]^2},$$

$$\varphi(w) = -\operatorname{arctg} [B(w) / A(w)].$$

Методичні вказівки

1. Перед виконанням роботи підготувати проект звіту по лабораторній роботі, яка включає в себе:

- титульний лист із зазначенням найменування роботи, номера роботи, завдання, ПІБ студента, номера групи і дати виконання роботи;
- листи для копіювання вимірювальних схем, реєстрації результатів вимірів, розрахункових даних і висновків.

Варіант завдання визначається викладачем.

2. В програмі Multisim створити модель для дослідження процесу дискретизації і квантування сигналів згідно з принциповою електричною схемою, яка наведена на рис.11.

3. Натиснути лівою кнопкою миші на табло Options і на вкладці, яка з'явиться, клацнути лівою кнопкою миші на табло Preferences.

4. На вкладці Preferences встановити прапорець в рядку Show node names і натиснути кнопку ОК.

5. Натиснути лівою кнопкою миші на табло Simulate і на вкладці, яка з'явиться, вибрати шлях Analyses – Fourier analyses. Після цього натиснення на останньому табло повинна з'явиться папка установок Фур'є - аналізу.

6. Встановити на вкладці Analysis Parameters частоту (Frequency resolution) і число гармонік (Number of harmonics) відповідно до варіанту завдання, вказаним викладачем і табл.4.

7. Встановити на вкладці Analysis Parameters час аналізу, рівний 0,1с.

8. В рядку Display встановити режим Graph.

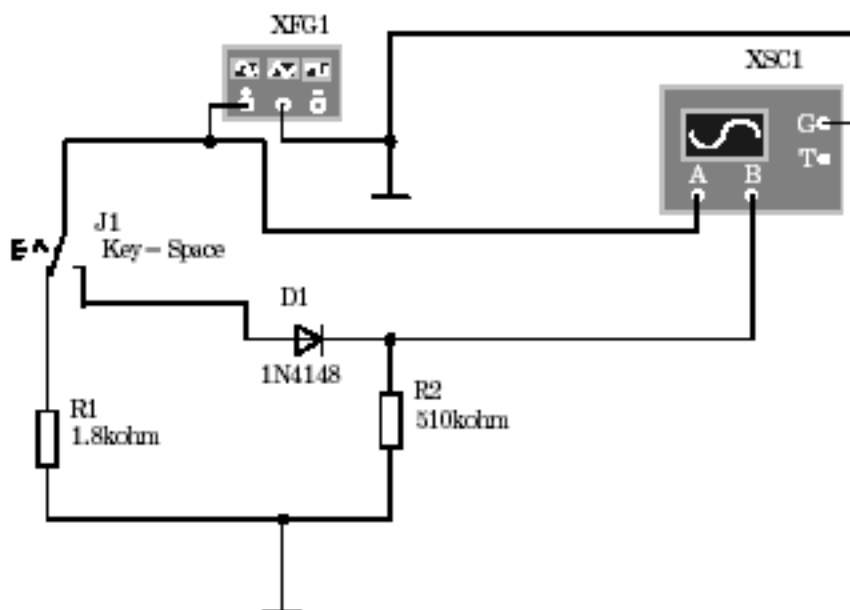


Рис. 11. Принципова електрична схема дослідження сигналів та їх спектрів

9. Відкрити вкладку Output variables і у лівому вікні, яке з'явиться виділити номер досліджуваного вузла схеми, до якого підключено «+» генератора XFG1. Перенести вказаний номер в праве вікно натисненням кнопки Plot during simulation.

10. Натиснути кнопку Асепт.

Таблиця 4. Варіанти завдань

Номер варіанта	Частота (Frequency), Гц	Амплітуда (Amplitude), В	Число гармонік (Number of harmonics)
1	100	6	9
2	250	8	5
3	125	7	7
4	150	11	9
5	80	9	5
6	110	10	7
7	280	12	9
8	420	15	5
9	500	14	7
10	350	16	9

11. Встановити частоту і амплітуду генератора сигналів XFG1 відповідно до табл. 4.

12. Представити зібрану модель викладачу для перевірки.

13. Натисканням правої кнопки миші на чорному полі моделі викликати відповідну вкладку і встановити колір всіх відповідних компонентів моделі – червоний. Копіювати принципову електричну схему моделі у відповідний розділ звіту.

Вивчення гармонійного сигналу та його спектра

14. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на вході А осцилографа (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

15. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

17. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

18. Натиснути лівою кнопкою миші на табло Simulate і на вкладку, яка з'явиться, вибрати шлях Analyses – Fourier analyses. Після цього натиснення на останньому табло має з'явитися папка установок Фур'є - аналізу.

19. Натиснути кнопку Simulate. Протягом однієї хвилини на моніторі мають з'явитися результати моделювання у вигляді графіків. Якщо це не відбудеться слід звернутися до викладача.

20. Копіювати графік амплітудного спектра у відповідний розділ звіту.

21. Закрити вікно Analysis Graph.

Вивчення сигналу колоподібної форми і його спектра.

22. Підключити до виходу генератора діод натисненням клавіші Space на клавіатурі комп'ютера.

23. Увімкнути модель і спостерігати сигнали колоподібної форми на вході осцилографа В (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

24. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

26. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

27. Натиснути лівою кнопкою миші на табло Simulate і на вкладку, яка з'явиться, вибрати шлях Analyses – Fourier analyses. Після цього натиснення на останньому табло має з'явиться папка установок Фур'є - аналізу.

28. Відкрити вкладку Output variables і у правому вікні, яке з'явиться, виділити номер досліджуваного вузла схеми. Перенести вказаний номер в праве вікно натисненням кнопки Remove.

29. У правому вікні, яке з'явиться, виділити номер досліджуваного вузла схеми, до якого підключений анод діода D1. Перенести вказаний номер в праве вікно натисненням кнопки Plot during simulation.

30. Натиснути кнопку Simulate. Протягом однієї хвилини на моніторі повинні з'явитися результати моделювання у вигляді графіків.

31. Копіювати графік амплітудного спектра у відповідний розділ звіту.

Вивчення сигналу трикутної форми і його спектра

32. Переключити генератор в режим сигналу трикутної форми.

33. Встановити коефіцієнт заповнення генератора сигналу трикутної форми у співвідношенні з варіантом завдання, вказаним викладачем і табл.5.

Таблиця 5. Варіанти завдань коефіцієнта заповнення сигналів

Номер варіанту	Коефіцієнт заповнення (Duty Cycle), %
1	50
2	30
3	25
4	35
5	65
6	70
7	45
8	20
9	40
10	60

34. Натиснути лівою кнопкою миші на чорному полі моделі, вільному від будь-яких компонентів.

35. Увімкнути модель і спостерігати сигнали трикутної форми на вході осцилографа В (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

36. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

38. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

39. Натиснути лівою кнопкою миші на табло Simulate і на вкладку, яка з'явиться вибрати шлях Analyses – Fourier Analyses. Після цього натиснення на останньому табло повинна з'явиться папка установок Фур'є - аналізу.

40. Натиснути кнопку Simulate. Протягом однієї хвилини на моніторі повинні з'явитися результати моделювання у вигляді графіків.

41. Копіювати графік амплітудного спектра у відповідний розділ звіту.

Вивчення сигналу прямокутної форми та його спектра

42. Переключити генератор в режим сигналу прямокутної форми.

43. Натиснути лівою кнопкою миші на чорному полі моделі, вільному від будь-яких компонентів.

44. Включити модель і спостерігати сигнали прямокутної форми на вході осцилографа В (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

45. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

47. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

48. Натиснути лівою кнопкою миші на табло Simulate і на вкладку, яка з'явиться, вибрати шлях Analyses – Fourier Analyses. Після цього натиснення на останньому табло має з'явиться папка установок Фур'є - аналізу.

49. Натиснути кнопку Simulate. Протягом однієї хвилини на моніторі повинні з'явитися результати моделювання у вигляді графіків.

50. Копіювати графік амплітудного спектра у відповідний розділ звіту.

51. Представити зібрану модель викладу для перевірки.

52. Закрити вікна програми Multisim без збереження змін в файлі Circuit 1.

53. Використати отримані дані, підготувати звіт в редакторі Word, в який входить:

- титульний лист;

- мета роботи;
- принципова електрична схема дослідження спектрів сигналів;
- графіки осцилограм;
- розрахунки і графіки спектрів одиничних імпульсів прямокутної, колоподібної і трикутної форми, застосовуючи програму MathCad, наведену у файлі Spectr.med;
- висновки.

53. Зберегти звіт у персональній папці, застосовуючи виключно шлях Файл – Зберегти як.... Ім'я збереженого файлу має містити номер варіанта завдання.

54. Показати звіт до зарахування викладачу.

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняття періодичного сигналу. Наведіть приклади фізичних процесів, для яких модель періодичного сигналу є точним способом описання.
2. Як виникає поняття „від’ємної” частоти?
3. Які властивості має спектральна щільність речового сигналу?
4. Як зміниться спектр періодичного сигналу, якщо період дослідження прямує до нескінченості?
5. Як знайти розподіл потужності і енергії у спектрі періодичного сигналу?
6. Як впливає зміна тривалості імпульсу і періоду повторення на спектр періодичної послідовності імпульсів?
7. Які особливості спектра δ - імпульсу?
8. Який зв’язок між тривалістю імпульсу і шириною його спектра?
9. Як визначити число гармонічних складових в спектрі імпульсного сигналу?
10. Як знайти розподіл потужності і енергії в спектрі неперіодичного сигналу?
11. Яка частка загальної енергії прямокутного імпульсу затримується в межах основного „лепестка” спектральної діаграми?

Рекомендована література

1. *Теория электрической связи* / Под ред. проф. Д.Д. Кловського. М.: - Радио и связь, 1998. - С.88-94.

2. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2000. С.294- 300.

Довідникові дані про сигнальний діод типу 1N4148:

$$U_{зв.макс} = 75 \text{ В}; I_{зв} = 5 \text{ мкА}; U_{пр} = 0,6 \text{ В}; I_{пр} = 10 \text{ мА}; t_{пост.зв} = 4 \text{ нс}; C = 1,3 \text{ пФ}$$

Лабораторна робота № 5

Дослідження амплітудного модулятора

Мета роботи: Дослідження амплітудного модулятора в різних режимах роботи.

Опис схеми

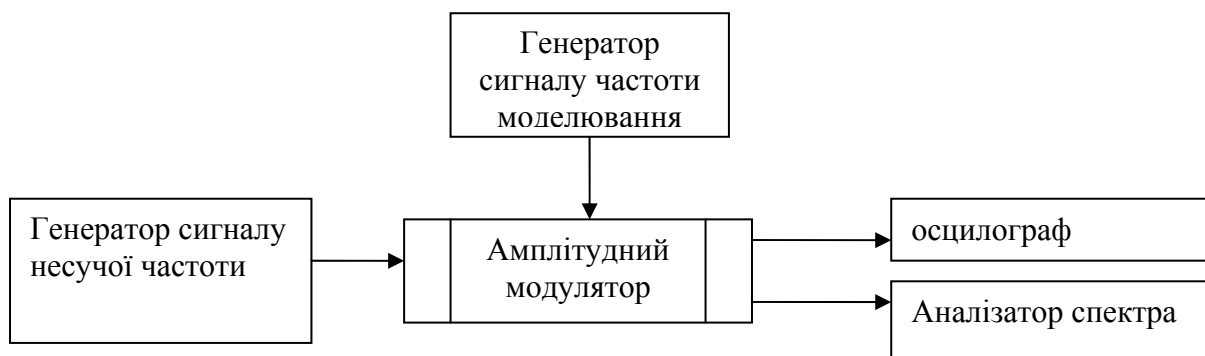


Рис.12. Структурна схема дослідження амплітудного модулятора

Джерело сигналів несучої і частоти модуляції – створюють гармонійні сигнали виду:

$$S_{нес} = A_o \cos w_o t$$

$$S_{мод} = A_{мод} \cos \Omega t$$

Амплітудний модулятор – на основі біполярного транзистора типу 2N2222A, включеного за схемою зі спільним емітером:

$$\begin{aligned} S_{AM} &= A_o (1 + M \cos \Omega t) \cos w_o t = \\ &= A_o [\cos w_o t + 0,5 M \cos (w_o + \Omega) t + 0,5 M \cos (w_o - \Omega) t] \end{aligned}$$

Повна ширина спектра сигналу = 2Ω .

Коефіцієнт модуляції,

$$\% = 100 M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \times 100 \%$$

Осцилограф – застосовується віртуальний двопробеневий осцилограф. Рекомендується встановити параметри розгортки і дільників напруги так, щоб на його екрані реєструвалося більше 2 періодів сигналу без обмежень по амплітуді.

Аналізатор спектра – застосовується віртуальний аналізатор спектра.

Методичні вказівки

1. Перед виконанням роботи підготувати проект звіту по лабораторній роботі, яка включає в себе:

- титульний лист із зазначенням найменування роботи, номер роботи завдання, ПІБ студента, номер групи і дата виконання роботи;
- листи для копіювання вимірювальних схем, реєстрації результатів вимірів, розрахункових даних і висновків.

Варіант завдання визначається викладачем.

При підготовці проекту звіту використовувати форму із файлу otchet.doc.

2.В програмі Multisim створити модель для дослідження процесу дискретизації і квантування сигналів згідно з принциповою електричною схемою, яка наведена на рис.12.

3.Встановити параметри джерел сигналів V1, V2 і значень L1, C2, R5 відповідно до варіанту завдання, вказаним викладачем і табл.6.

Таблиця 6. *Варіанти завдань*

Номер варіанта	Амплітуда джерела V1, В	Частота джерела V1, кГц	Амплітуда джерела V2, В	Частота джерела V2, кГц	L1, мкГн	C2, мФ	R5, Ом
1	0,5	155	0,1	3	300	3,6	12
2	0,5	200	0,1	5	620	1,0	51
3	0,5	450	0,1	7	62	2,0	3
4	0,5	610	0,1	3	30	2,2	1
5	0,5	255	0,1	7	300	1,3	27
6	0,5	185	0,1	4	620	1,2	47
7	0,5	515	0,1	8	62	1,5	2

8	0,5	405	0,1	6	150	1,0	6,2
9	0,5	180	0,1	2,5	150	5,1	1,5
10	0,5	295	0,1	2	62	4,7	1

4. Представити зібрану модель викладу для перевірки.

5. Натисканням правої кнопки миші на чорному полі моделі викликати відповідну вкладку і встановити колір всіх відповідних компонентів моделі – червоний. Копіювати принципову електричну схему моделі у відповідний розділ звіту.

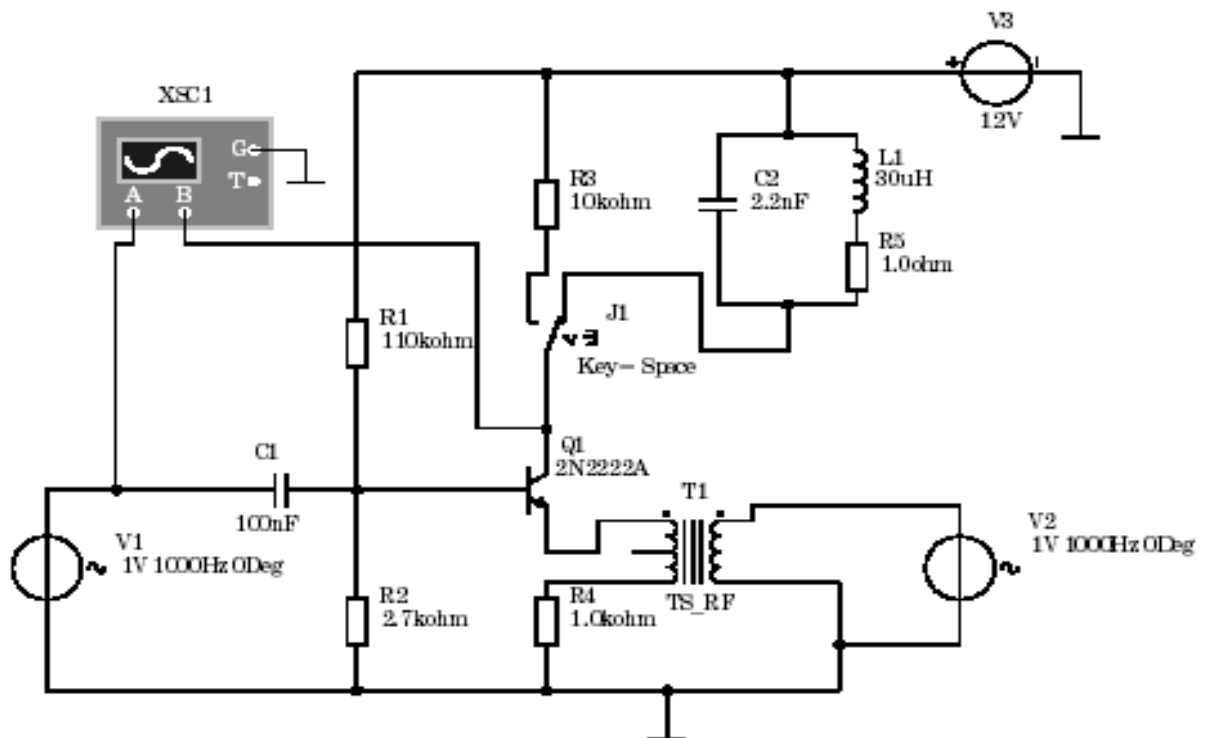


Рис. 12. Принципова електрична схема досліджувань амплітудного модулятора

Визначення впливу амплітуди джерела V2 на коефіцієнт модуляції

6. Увімкнути модель і спостерігати АМ сигнал на вході В осцилографа (в режимі АС), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

7. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

9. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

10. Повторити виміри, збільшуючи амплітуду джерела V_2 для таких значень: $V_2 = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ і 5 В.

Визначення впливу амплітуди джерела V_1 на форму АМ сигналу

11. Встановити амплітуду гармонійного сигналу $V_2 = 0,5$.

12. Встановити амплітуду гармонійного сигналу $V_1 = 1$ В.

13. Увімкнути модель і спостерігати АМ сигнал на вході В осцилографа (в режимі АС), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

14. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

16. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

17. Повторити виміри, збільшуючи амплітуду джерела V_1 для таких значень: $V_2 = 1,5; 2; 2,5$ В.

Визначення спектрального складу вихідного сигналу при нелінійному режимі роботи підсилювача

18. Встановити амплітуду гармонійного сигналу $V_1 = 0,5$ В.

19. Підключити резистор R_3 в колекторний ланцюг транзистора натисненням клавіши (Space).

20. Увімкнути модель і спостерігати АМ сигнал на вході В осцилографа (в режимі АС), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

21. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

22. Увімкнути транспонування осцилограм в графіки MathCad шляхом послідовного натискання кнопок Transfer-Export Simulation Results to MathCad-Continue.

23. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

24. Підключити до колектора транзистора аналізатор спектра.

25. Увімкнути модель і визначити спектр вихідного сигналу.

26. Виключити модель.

28. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

Визначення спектрального складу вихідного сигналу модулятора

29. Підключити резистор L1C2 в колекторний ланцюг транзистора натисненням клавіші (Space).

30. Увімкнути модель і визначити спектр вихідного сигналу.

31. Виключити модель.

33. Копіювати графіки у відповідний розділ звіту.

34. Представити зібрану модель викладу для перевірки.

35. Закрити вікна програми Multisim без збереження змін в файлі Circuit 1.

36. Використати отримані дані, підготувати звіт в редакторі Word, в який

входить:

- титульний лист;
- мета роботи;
- принципова електрична схема дослідження амплітудного модулятора;
- графіки осцилограм і спектрів сигналів;
- розрахунки коефіцієнтів модуляції по отриманих даних і графік залежності $M = f(V_2)$, підготовлений в програмі MathCad;
- висновки.

37. Зберегти звіт у персональній папці, застосовуючи виключно шлях Файл – Зберегти як... Ім'я збереженого файла має містити номер варіанта завдання.

38. Представити звіт до зарахування викладачу.

Контрольні питання

1. Дайте визначення модуляції, як одного із радіотехнічних процесів.
2. Принцип роботи амплітудного модулятора.
3. Пояснити роботи в режимі з відсічкою.
4. Як обирається добротність контуру модулятора?
5. Як регулюється глибина модуляції вихідного сигналу?
6. Як підвищити ефективність вихідного сигналу з АМ?
7. Принцип дії балансного модулятора.
8. Принцип дії частотного модулятора.

9. Поясніть принцип дії частотного модулятора на основі балансного модулятора.

Рекомендована література

1. *Теория электрической связи* / Под ред. проф. Д.Д. Кловського. М.: Радио и связь, 1998. С.88-94.

2. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2000. С.294-300.

Довідникові дані про транзистор типу 2N2222:

$U_{кл.макс} = 30$ В; $I_{к.макс} = 600$ мА; $I_{к} = 150$ мА; $h_{21a} = 10$ мА; $C = 5$ пФ; $f_{cp} = 300$ МГц.

Лабораторна робота № 6

Дослідження амплітудного детектора

Мета роботи: Дослідження амплітудного детектора в різних режимах роботи.

Опис схеми

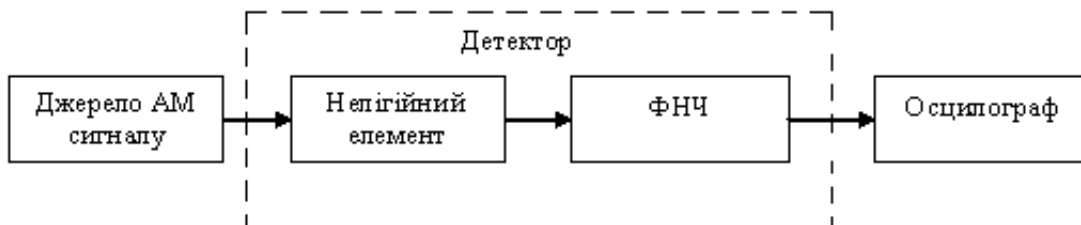


Рис. 13. Структурна схема дослідження амплітудного детектора

Джерело АМ сигналу – створює АМ сигнал виду:

$$S_{AM} = A_o (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_o t$$

Повна ширина спектра сигналу = 2Ω .

Коефіцієнт модуляції,

$$K = 100M = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \times 100\%$$

Нелінійний елемент – напівпровідниковий діод типу 1N4148.

ФНЧ – фільтр нижніх частот першого порядку RC- ланцюга.

Частота зрізу ФНЧ по рівню – 3 Дб:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Осцилограф - застосовується віртуальний двопробеневий осцилограф. В даній роботі рекомендується встановити параметри розгортки і дільників напруги так, щоб на його екрані реєструвалося від 1 до 2 періодів сигналу без обмежень по амплітуді.

Методичні вказівки

1. Перед виконанням роботи підготувати проект звіту по лабораторній роботі, яка включає в себе:

- титульний лист із зазначенням найменування роботи, номера роботи, завдання, ПІБ студента, номера групи і дати виконання роботи;
- листи для копіювання вимірювальних схем, реєстрації результатів вимірів, розрахункових даних і висновків.

Варіант завдання визначається викладачем.

2. В програмі Multisim створити модель для дослідження процесу дискретизації і квантування сигналів згідно з принциповою електричною схемою, яка наведена на рис.13.

3. Встановити параметри джерел АМ-сигналу VC, FC, M, FM відповідно до варіанта завдання, вказаного викладачем і табл. 7.

Таблиця 7. Варіанти завдань

Номер варіанта	Амплітуда (VC), В	Несуча частота (FC), МГц	Коефіцієнт модуляції (M)	Частота модуляції (FM), кГц
1	6	1	0,7	10
2	8	1	0,9	8
3	7	1	0,6	9
4	11	1	0,4	12
5	9	1	0,5	11
6	10	1	0,8	8
7	12	1	0,7	10
8	15	1	0,5	9
9	14	1	0,6	11
10	16	1	0,8	12

4. Представити зібрану модель викладу для перевірки.

5. Натисканням правої кнопки миші на чорному полі моделі викликати відповідну вкладку і встановити колір всіх відповідних компонентів моделі – червоний. Копіювати принципову електричну схему моделі у відповідний розділ звіту.

Визначення вхідного АМ сигналу

6. Включити модель і спостерігати сигнали АМ на вході осцилографа А (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

7. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

9. Копіювати графік у відповідний розділ звіту.

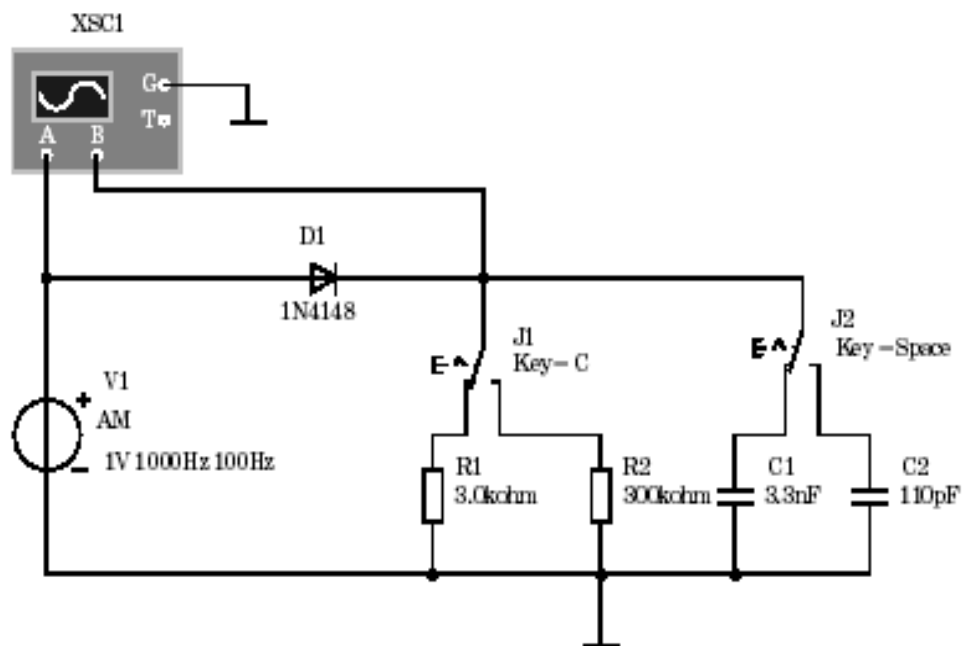


Рис. 14. Принципова електрична схема досліджувань амплітудного детектора

Визначення детектованого сигналу

10. Увімкнути модель і спостерігати детектований сигнал на вході В осцилографа (в режимі DC).

11. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

12. Копіювати графік у відповідний розділ звіту.

Визначення процесу детектування АМ-сигналу при зменшенні частоти зрізу ФНЧ

13. Підключити конденсатор С2 натисненням клавіші (Space).

14. Увімкнути модель і спостерігати детектований сигнал на вході В осцилографа (в режимі DC).

15. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

16. Копіювати графік у відповідний розділ звіту.

17. Підключити конденсатор С1 натисненням клавіші (Space).

18. Підключити резистор R1 натисненням клавіші С.

19. Увімкнути модель і спостерігати детектований сигнал на вході В осцилографа (в режимі DC).

20. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

21. Копіювати графік у відповідний розділ звіту.

Визначення процесу детектування АМ-сигналу при перемодуляції

22. Підключити резистор R2 натисненням клавіші С.

23. Встановити величину коефіцієнта модуляції $M = 1,2$.

24. Увімкнути модель і спостерігати детектований сигнал на вході В осцилографа (в режимі DC).

25. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

26. Копіювати графік у відповідний розділ звіту.

27. Представити результати вимірів викладачу для перевірки.

35. Закрити вікна програми Multisim без збереження змін в файлі Circuit 1.

36. Використати отримані дані, підготувати звіт в редакторі Word, в який входить:

- титульний лист;
- мета роботи;

- принципова електрична схема дослідження амплітудного детектора;
- графіки осцилограм;
- розрахунки частот зрізу ФНЧ для всіх застосованих RC;
- висновки.

37. Зберегти звіт у персональній папці, застосовуючи виключно шлях Файл – Зберегти як... Ім'я збереженого файлу має містити номер варіанта завдання.

38. Представити звіт до зарахування викладачу.

Контрольні питання

1. Пояснити відмінність у формі сигналів.
2. Пояснити причину спотворень сигналу при коефіцієнті модуляції $M = 1,2$.
3. Визначення процесу детектування.
5. Особливості детектування АМ-сигналів з однією боковою смугою (ОБП) частот.
6. Особливості детектировання АМ-сигналів з подавленою несучою.
7. Визначення коефіцієнта детектування.
8. Особливості взаємодії сигналу і завад в АМ детекторі.
9. Особливості проходження випадкових сигналів через АМ-детектор.

Рекомендована література

1. *Теория электрической связи* / Под ред. проф. Д.Д. Кловського. - М.: Радио и связь, 1998. - С.88-94.
2. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высш. шк., 2000. - С.294-300.

Довідникові дані про сигнальний діод типу 1N4148:

$U_{зв.макс} = 75 \text{ В}$; $I_{зв} = 5 \text{ кмА}$; $U_{пр} = 0,6 \text{ В}$; $I_{пр} = 10 \text{ мА}$; $C = 1,3 \text{ пФ}$; $t_{пост.Рзв} = 4 \text{ нс}$.

Лабораторна робота № 7

Дослідження частотного детектора

Мета роботи: Дослідження частотного детектора на LC-контурі.

Опис схеми

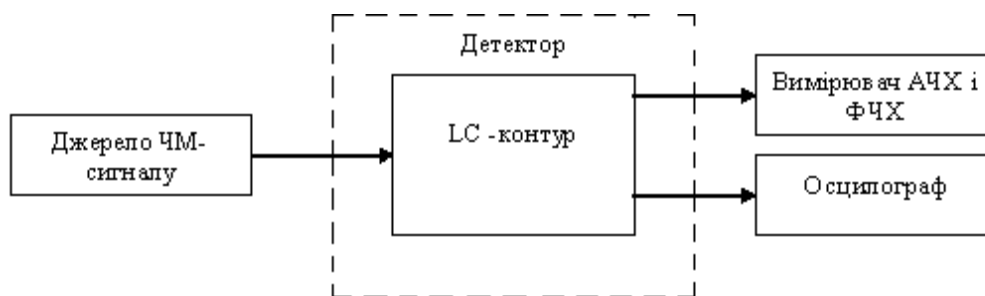


Рис.15. Структурна схема дослідження частотного детектора

Джерело ЧМ сигналу – створює ЧМ-сигнал виду:

$$S_{\text{ЧМ}} = A_0 \sin[\omega t + (\Delta\omega/\Omega)\sin\Omega t]$$

де A_0 – амплітуда несучої; $\Delta\omega$ - діапазон частотного відхилення (девіації) несучої.

Індекс модуляції $M = \Delta\omega/\Omega$.

Детектор – на основі LC контура.

Добротність контура на резонансній частоті:

$$Q = \omega_{\text{рез}} L / R,$$

де R – імпеданс контура.

Смуга пропускання по рівню:

$$\Delta f_{-3\text{дБ}} (0,707) : \Delta f_{-3\text{дБ}} = \omega_{\text{рез}} / Q$$

Вимірювач АЧХ і ФЧХ – застосовується віртуальний вимірювач АЧХ і ФЧХ.

Осцилограф - застосовується віртуальний двопроменевий осцилограф. В даній роботі рекомендується встановити параметри розгортки і дільників напруги так, щоб на його екрані реєструвалося від 1 до 2 періодів сигналу без обмежень по амплітуді.

Методичні вказівки

1. Перед виконанням роботи підготувати проект звіту по лабораторній роботі, яка включає в себе:

- титульний лист із зазначенням найменування роботи, номера роботи, завдання, ПІБ студента, номера групи і дати виконання роботи;

- листи для копіювання вимірювальних схем, реєстрації результатів вимірів, розрахункових даних і висновків.

Варіант завдання визначається викладачем.

2. В програмі Multisim створити модель для дослідження процесу дискретизації і квантування сигналів згідно з принциповою електричною схемою, яка наведена на рис.16.

3. Встановити параметри джерел ЧМ-сигналу V1 відповідно до варіанта завдання, вказаного викладачем і табл.8.

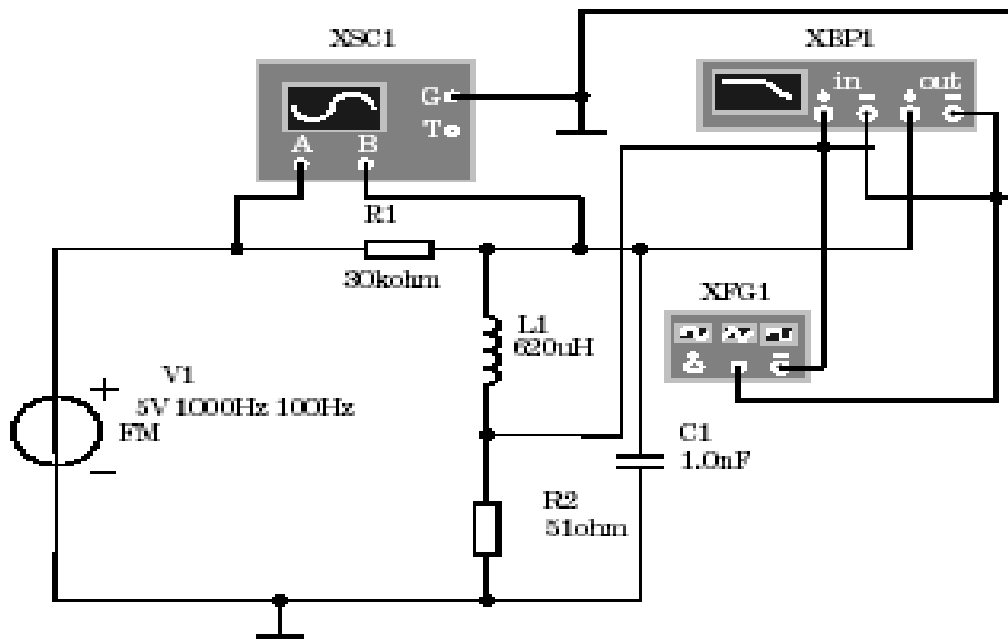


Рис. 16. Принципова електрична схема досліджування частотного детектора

4. Представити L1, C1, R2 у відповідності з варіантом завдання, вказаним викладачем і табл.9.

5. Представити зібрану модель викладачу для перевірки.

Таблиця 8. Варіанти завдань параметрів джерела ЧМ сигналу V1

Номер варіанта	Амплітуда, В	Несуча частота F _c , кГц	Індекс модуляції	Частота модуляції, кГц
1	6	200	4	10
2	8	250	5	10
3	7	400	5	10
4	11	540	6	10

Продовження табл. 8

5	9	300	5	10
6	10	240	8	10
7	12	480	6	10
8	15	450	6	10
9	14	140	7	10
10	16	250	5	10

Таблиця 9. Варіанти завдань L1, C1, R2

Номер варіанта	L1, мкГн	C1, мФ	R2, Ом
1	300	3,6	12
2	620	1,0	51
3	62	2,0	3
4	30	2,2	1
5	300	1,3	27
6	620	1,2	47
7	62	1,5	2
8	150	1,0	6,2
9	150	5,1	1,5
10	62	4,7	1

6. Натисканням правої кнопки миші на чорному полі моделі викликати відповідну вкладку і встановити колір всіх відповідних компонентів моделі – червоний. Копіювати принципову електричну схему моделі у відповідний розділ звіту.

Визначення АЧХ контура L1C1

7. Натиснути лівою кнопкою миші на зображення вимірювача АЧХ і ФЧХ (ХВР1) і на інтерфейсі, що з'явився, приладу встановити по горизонтальній осі розгортки лінійний режим і необхідний частотний діапазон.

Horizontal

Lin

$$F = F_c + 100\text{кГц}$$

$$I = F_c - 100\text{кГц}$$

де F_c – значення несучої частоти заданого варіанта із табл. 8.

8. Увімкнути модель і спостерігати АЧХ контура, встановивши необхідне значення F і I на вертикальній осі розгортки вимірювача АЧХ і ФЧХ.

9. Виключити модель.

Розмістити вікно графіка в нижньому лівому кутку монітора таким чином, щоб зображення схеми моделі було доступним.

11. Копіювати графік АЧХ у відповідний розділ звіту.

12. Видалити генератор XFG1 із моделі (виділивши його, натиснути лівою кнопкою миші, натиснути кнопку Delete на клавіатурі).

Визначення девіації несучої частоти ЧМ сигналу

13. Увімкнути модель і спостерігати сигнали ЧМ на вході осцилографа А (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

14. Увімкнути модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

15. Виміряти мінімальний та максимальний періоди сигналу за потужністю візирів осцилографа. Записати одержані значення у відповідну таблицю звіту.

17. Копіювати графік осцилограми у відповідний розділ звіту.

Визначення процесу детектування ЧМ-сигналу

18. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа (в режимі DC).

19. Виключити модель незадовго до моменту повного ходу проміння осцилографа.

21. Копіювати графік осцилограми у відповідний розділ звіту.

Визначення процесу детектування ЧМ-сигналу

22. Увімкнути модель і спостерігати АМ-сигнали на вході В осцилографа (в режимі DC).

23. Виключити модель незадовго до момента повного ходу проміння осцилографа.

24. Виміряти мінімальний та максимальний періоди сигналу за потужністю візирів осцилографа. Записати одержані значення у відповідну таблицю звіту.

25. Представити результати вимірів викладачу для перевірки.

26. Закрити вікна програми Multisim без збереження змін в файлі Circuit 1.

27. Використати отримані дані, підготувати звіт в редакторі Word, в який входить:

- титульний лист;
- мета роботи;
- принципова електрична схема дослідження частотного детектора;
- графіки АЧХ і осцилограм;
- розрахунки девіації несучої частоти, коефіцієнта передачі та детектора і крутизни робочої частини АЧХ резонансного контуру;
- висновки.

28. Зберегти звіт у персональній папці, застосовуючи виключно шлях Файл - Зберегти як... Ім'я збереженого файлу має містити номер варіанта завдання.

38. Представити звіт до зарахування викладачу.

Контрольні питання

1. В яких приладах використовуються частотні детектори (ЧД)?
2. Який основний алгоритм перетворення сигналів використовується при побудові частотних детекторів?
3. Визначення частотної модуляції.
4. Визначення модуляції і девіації частоти.
5. Як визначити практичну ширину спектра ЧМ сигналу?
6. Намалуйте схему детектора з розімкнутими контурами і поясніть принцип її роботи.
7. Напишіть аналітичне вираження характеристики детектування ЧД із розімкнутими контурами, намалуйте і поясніть її форму
8. Проведіть порівняльний аналіз частотних детекторів різних типів.

Рекомендована література

1. *Теория электрической связи* / Под ред. проф. Д.Д. Кловського. - М.: Радио и связь, 1998. - С.88-94.
2. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высш. шк., 2000. - С.294-300.

Лабораторна робота № 8

Дослідження фазового детектора

Мета роботи: Дослідження роботи фазового детектора.

Опис схеми

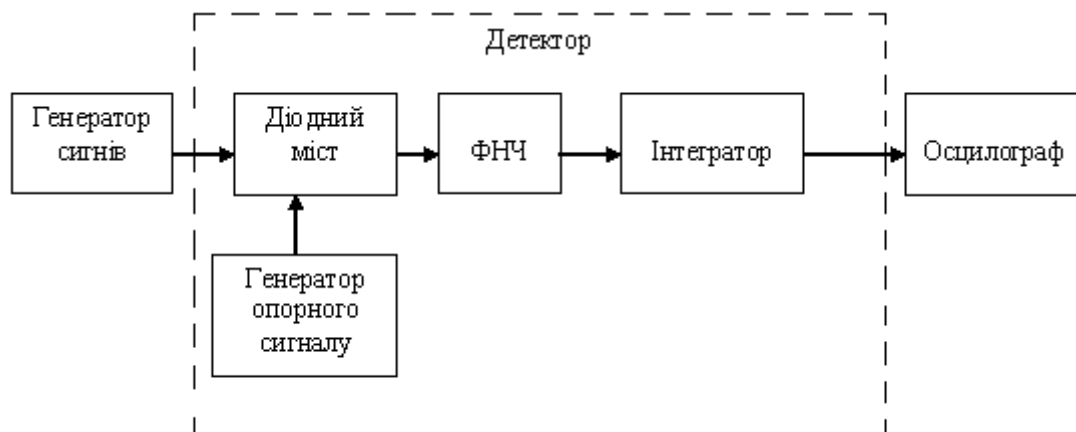


Рис. 17. Структурна схема дослідження фазового детектора

Генератор сигналів – створює сигнал синусоїдальної форми заданим зсувом по фазі.

Генератор опорного сигналу - створює опорні сигнали синусоїдальної чи прямокутної форми.

Діодний міст – на основі діодів типу 1N4148, з'єднаних по баланстній схемі.

ФНЧ – фільтр нижніх частот першого порядку на RC-ланцюга.

Частота зрізу ФНЧ за умовою – 3 Дб:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Інтегратор – застосовується віртуальний інтегратор.

Осцилограф - застосовується віртуальний двопроменевий осцилограф. В даній роботі рекомендується встановити параметри розгортки і дільників напруги так, щоб на його екрані реєструвалося від 1 до 2 періодів сигналу без обмежень по амплітуді.

Методичні вказівки

1. Перед виконанням роботи підготувати проект звіту по лабораторній роботі, яка включає в себе:

- титульний лист із зазначенням найменування роботи, номера роботи, завдання, ПІБ студента, номера групи і дати виконання роботи;
- листи для копіювання вимірювальних схем, реєстрації результатів вимірів, розрахункових даних і висновків.

Варіант завдання визначається викладачем.

2. В програмі Multisim створити модель для дослідження частотного детектора згідно з принциповою електричною схемою, яка наведена на рис.18.

3. Встановити параметри генераторів сигналів V1 і V2 відповідно до варіанту завдання, вказаного викладачем і табл.10.

Таблиця 10. Варіанти завдань параметрів генераторів сигналів V1 і V2

Номер варіанта	Амплітуда V1 (VoltageAmplitude), В	ЧастотаV1 (Frequency), кГц	Амплітуда V2 (VoltageAmplitude), В	ЧастотаV1 (Frequency), кГц
1	0,5	100	0,5	10
2	0,6	100	0,6	10
3	0,7	100	0,7	10
4	0,8	100	0,8	10
5	0,9	100	0,9	10
6	1	100	1	10
7	1,1	100	1,1	10
8	1,2	100	1,2	10
9	1,3	100	1,3	10
10	1,4	100	1,4	10

4. Встановити коефіцієнт передачі C_{ain} (K) інтегратора A1 рівне 100 V/V/

5. Представити зібрану модель викладачу для перевірки.

6. Натисканням правої кнопки миші на чорному полі моделі викликати відповідну вкладку і встановити колір всіх відповідних компонентів моделі – червоний. Копіювати принципову електричну схему моделі у відповідний розділ звіту.

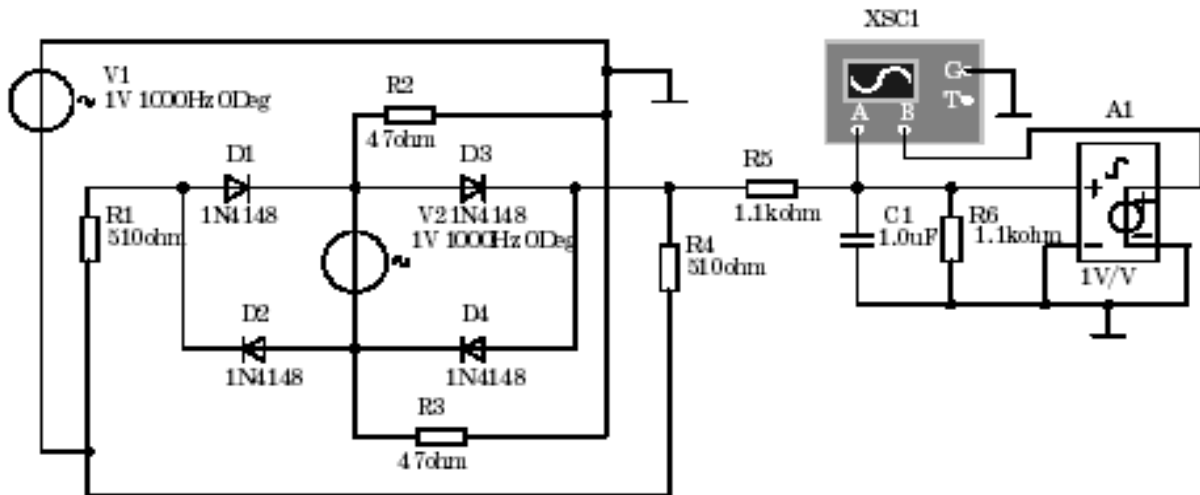


Рис. 18. Принципова електрична схема досліджувань фазового детектора

Визначення характеристики ФД при опорному сигналі синусоїдальної форми

7. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа (в режимі DC), встановити необхідні значення тривалості розгортки (Timebase) і дільників напруги (Scale).

8. Викличити модель після закінчення перехідного процесу на конденсаторі C1 (для різниці фази джерела V1 і V2, яка дорівнює 0, на виході інтегратора сигнал має бути відсутнім).

9. Виміряти значення напруги на вході інтегратора за допомогою візира осцилографа. Занести його у відповідну таблицю звіту.

10. Повторити виміри для такого значення зсуву по фазі (Phase) джерела V1: 5; 10; 15; 20; 30; 45; 60; 90°.

12. Копіювати графіки осцилограм для зсуву по фазі 90° у відповідний розділ звіту.

Визначення характеристики ФД при опорному сигналі прямокутної форми (меандр)

13. Замінити джерело сигналу синусоїдальної форми V2 на джерело прямокутних імпульсів типу меандр (Clock Source), дотримуючись встановленої раніше полярності напруги.

14. Встановити частоту (Frequency) джерела імпульсів рівної 10 кГц, а амплітуду (Amplitude) 0,6 В.

15. Встановити зсув по фазі джерела V1 рівний 0.

16. Увімкнути модель і спостерігати сигнали на входах А і В осцилографа (в режимі DC).

17. Викличити модель після закінчення перехідного процесу на конденсаторі C1 (для різниці фази джерела V1 і V2, яка дорівнює 0, на виході інтегратора сигнал має бути відсутнім).

18. Зафіксувати значення напруги на виході інтегратора у відповідну таблицю звіту.

19. Повторити виміри для наступного значення зсуву по фазі (Phase) джерела V1: 5; 10; 15; 20; 30; 45; 60; 90°.

20. Представити результати вимірів викладачу для перевірки.

21. Закрити вікна програми Multisim без збереження змін в файлі Circuit 1.

22. Використати отримані дані, підготувати звіт в редакторі Word, в який входить:

- титульний лист;
- мета роботи;
- принципову електричну схему дослідження фазового детектора;
- графіки осцилограм для ;
- графіки характеристик фазового детектора для двох видів опорного сигналу в діапазоні зсуву по фазі – 90...+ 90° (від’ємна гілка характеристики повторює додатну зі знаком -):

- - розрахунок частоти зрізу ФНЧ;

- висновки.

23. Зберегти звіт у персональній папці, застосовуючи виключно шлях Файл – Зберегти як... Ім’я збереженого файлу має містити номер варіанта завдання.

24. Представити звіт до зарахування викладачу.

Контрольні питання

1. В яких приладах використовується фазові детектори?

2. Визначення частотної модуляції.
3. Як визначити практичну ширину спектра ФМ сигналу?
6. Намалюйте схему ФД. Який вигляд має його характеристика детектування?
7. Яким чином можна за допомогою частотного модулятора отримати ФМ-сигнал?

Рекомендована література

1. *Теория электрической связи* / Под ред. проф. Д.Д. Кловського. - М.: Радио и связь, 1998. - С.88-94.
2. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2000. С.294-300.

Довідникові дані про сигнальний діод типу 1N4148:

$U_{зв.макс} = 75 \text{ В}; I_{зв} = 5 \text{ мкА}; U_{пр} = 0,6 \text{ В}; I_{пр} = 10 \text{ мА}; t_{пост.Рзв} = 4 \text{ нс}; C = 1,3 \text{ пФ}.$

Навчально-методичне видання

Білан Степан Миколайович

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Методичні рекомендації
щодо виконання лабораторних робіт
для студентів вищих навчальних закладів залізничного
транспорту, що навчаються за спеціальністю
7.092507 «Автоматика та автоматизація на транспорті»
денної та заочної форм навчання

Редактор: Щербак Н.В.

Підписано до друку 18.11.08. Формат 60 x 84/16.
Папір – офсетний. Друк – ризографія.
Зам. № 353-08. Наклад 50 прим.

Надруковано у Редакційно-видавничому центрі ДЕТУТ
Свідоцтво про реєстрацію від 27.12.2007 р. серія ДК № 3079.
03049, м. Київ – 049, вул. М. Лукашевича, 19.

