

*Ю. Я. Бобало, Б. А. Мандзій, П. Г. Стахів,  
Л. Д. Писаренко, Ю. І. Якименко*

# **ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ**

**Підручник**

*За редакцією доктора технічних наук,  
професора П. Г. Стахіва*

Видавництво “Магнолія 2006”  
Львів 2025

**УДК 537.212(075.8)**  
**О-75**

*Гриф надано Міністерством освіти та науки України*

***Рецензенти:***

***Макаренко М. П.*** – д. т. н., проф., завідувач кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”;

***Лобур М. В.*** – д. т. н., проф., завідувач кафедри “Системи автоматизації проектування” Національного університету “Львівська політехніка”.

**Бобало Ю. Я., Мандзій Б. А., Стахів П. Г., Писаренко Л. Д., Якименко Ю. І.**

Основи теорії електронних кіл: Підручник / За ред. д. т. н., проф. Стахіва П. Г. – Львів: “Магнолія 2006”, 2025. – 296 с.

ISBN 966-8340-62-0

“Магнолія 2006”

В підручнику висвітленні основні поняття теорії сигналів, розкритті базові положення теорії електричних кіл, їх компоненти. Значна увага приділена аналізу електронних кіл, а також перетворенням сигналів в електронних колах.

Кожний розділ підручника закінчується питанням для самоконтролю, прикладами розв’язання типових задач та завданнями для самостійного розв’язування.

Для студентів ВНЗ III – IV рівнів акредитації, які навчаються на базових напрямках “Електроніка”, “Електронні апарати”, “Комп’ютерні науки”, “Комп’ютерна інженерія”, “Лазерна та оптоелектронна техніка” та ін. і слухають курс “Основи теорії електронних кіл” або подібні за назвою курси.

**УДК 537.212(075.8)**

ISBN 966-8340-62-0

© Бобало Ю. Я., Мандзій Б. А., Стахів П. Г.,  
Писаренко Л. Д., Якименко Ю. І., 2025

© “Магнолія плюс”, 2025

# З М І С Т

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ СИГНАЛІВ</b> .....	9
1.1. Класифікація та способи математичного опису сигналів .....	9
1.2. Аналогові сигнали .....	12
1.2.1. Частотний (спектральний) опис сигналів .....	12
1.2.2. Часовий (динамічний) опис сигналів .....	19
1.2.3. Операторний опис сигналів .....	23
1.3. Дискретні та цифрові сигнали .....	26
1.4. Модульовані сигнали та їх застосування .....	34
1.4.1. Амплітудно-модульовані сигнали .....	36
1.4.2. Сигнали з кутовою модуляцією ( ЧМ- та ФМ-сигнали) ...	37
1.4.3. Модуляція імпульсних коливань .....	39
1.5. Стохастичні (випадкові) сигнали .....	41
1.5.1. Числові характеристики випадкових сигналів .....	44
Контрольні питання до розділу 1 .....	48
Приклади розв'язування типових задач .....	49
Задачі для самостійного розв'язування .....	52
<b>РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ</b> ..	54
2.1. Електричне коло.....	54
2.2. Типові двополюсні елементи електричних кіл .....	55
2.2.1. Пасивні двополюсні елементи .....	55
2.2.2. Джерела енергії .....	61
2.3. Математичні моделі електричних схем з двополюсниками ...	64
2.3.1. Повна система рівнянь електричної схеми .....	65
2.3.2. Метод вузлових напруг .....	67
2.3.3. Рівняння контурних струмів .....	70
2.4. Багатопольсні елементи електричних схем .....	73
2.5. Особливості формування математичних моделей електричних схем з багатопольсниками .....	75
Контрольні питання до розділу 2 .....	77
Приклади розв'язування типових задач .....	78
Задачі для самостійного розв'язування .....	80

<b>РОЗДІЛ 3. КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ</b> .....	84
3.1. Напівпровідникові діоди .....	84
3.2. Біполярні транзистори .....	92
3.3. Тиристори .....	99
3.4. Польові транзистори .....	106
3.4.1. Польові транзистори з керуючим р-п переходом .....	107
3.4.2. МДН-транзистори з вбудованим каналом .....	110
3.4.3. МДН-транзистор з індукованим каналом .....	112
3.5. Електровакуумні лампи .....	114
3.5.1. Електронна емісія. Електровакуумний діод .....	114
3.5.2. Електровакуумний триод .....	117
3.6. Основні відомості про інтегральні мікросхеми .....	119
3.6.1. Класифікація інтегральних мікросхем .....	119
3.6.2. Номенклатура інтегральних мікросхем .....	123
3.6.2.1. Номенклатура аналогових ІМС .....	123
3.6.2.2. Номенклатура та основні параметри цифрових ІМС .....	124
3.7. Моделі компонент електронних кіл .....	127
3.7.1. Схема заміщення напівпровідникового діода .....	127
3.7.2. Моделі біполярного транзистора .....	128
3.7.3. Моделі польових транзисторів .....	133
3.7.4. Моделі електронної лампи ( триода ) .....	136
Контрольні питання до розділу 3 .....	137
Приклади розв'язування типових задач .....	138
Задачі для самостійного розв'язування .....	140
<b>РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ</b> .....	141
4.1. Аналіз електронних кіл постійного струму .....	141
4.1.1. Розрахунок лінійних кіл постійного струму .....	142
4.2. Особливості розрахунку нелінійних резистивних кіл .....	144
4.3. Основні характеристики кіл змінного струму .....	153
4.4. Аналіз усталених режимів кіл гармонічного струму .....	155
4.5. Усталені режими електронних кіл, в яких діють негармонічні струми та напруги .....	160
4.6. Аналіз перехідних процесів електронних кіл .....	161
4.6.1. Класичний метод розрахунку перехідних процесів .....	162
4.6.2. Операторний метод розрахунку перехідних процесів .....	165

---

4.6.3. Застосування інтегралу Дюамеля до розрахунку перехідних процесів .....	170
4.6.4. Чисельні методи розрахунку перехідних процесів .....	173
4.7. Загальна характеристика пакетів програм комп'ютерного аналізу електронних кіл .....	177
Контрольні питання до розділу 4 .....	185
Задачі для самостійного розв'язування .....	186

## РОЗДІЛ 5. ПРОЦЕСИ ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ В ЕЛЕКТРОННИХ КОЛАХ .....

5.1. Частотна фільтрація електричних сигналів .....	194
5.1.1. Пасивні фільтри .....	195
5.1.2. Активні RC-фільтри .....	197
5.2. Підсилення сигналів .....	199
5.2.1. Класифікація, основні параметри та характеристики підсилювачів .....	199
5.2.2. Елементарні підсилювальні каскади .....	204
5.2.3. Зворотні зв'язки в підсилювачах .....	209
5.3. Перетворення частоти в нелінійних електронних колах .....	211
5.4. Стабілізація напруги та струму .....	216
5.5. Випрямлення змінного струму .....	222
5.6. Модуляція і детектування .....	226
5.6.1. Принципи побудови перетворювачів спектра .....	226
5.6.2. Амплітудні модулятори .....	230
5.6.3. Частотні і фазові модулятори .....	233
5.6.4. Амплітудні детектори .....	235
5.6.5. Частотні і фазові детектори .....	237
5.7. Генерування гармонічних сигналів .....	240
5.7.1. Основні поняття про принципи побудови автогенераторів .....	240
5.7.2. LC-автогенератори .....	243
5.7.3. RC-автогенератори .....	246
Контрольні питання до розділу 5 .....	250
Приклади розв'язування типових задач .....	251
Задачі для самостійного розв'язування .....	252

<b>РОЗДІЛ 6. ЛІНІЙНІ КОЛА З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ</b> .....	254
6.1. Вступні зауваження .....	254
6.2. Еквівалентна схема та рівняння довгої лінії .....	255
6.3. Однорідна довга лінія в усталеному режимі гармонічних коливань .....	260
6.3.1. Хвильові параметри довгої лінії .....	260
6.3.2. Розподіл амплітуд напруги та струму вздовж лінії .....	263
6.3.3. Коефіцієнт відбиття лінії .....	266
6.3.4. Усталений режим гармонічних коливань у безвтратній довгій лінії .....	268
6.3.4.1. Режим біжучих хвиль .....	270
6.3.4.2. Режим стоячих хвиль .....	271
6.4. Перехідні процеси в однорідній безвтратній довгій лінії ....	273
Контрольні питання до розділу 6 .....	277
Приклади розв'язування типових задач .....	278
Задачі для самостійного розв'язування .....	278
<b>РОЗДІЛ 7. ДИСКРЕТНІ ТА ЦИФРОВІ ЕЛЕКТРОННІ КОЛА</b> .....	279
7.1. Дискретні електронні кола .....	279
7.2. Цифрові електронні кола .....	284
7.2.1. Прості логічні схеми .....	284
7.2.2. Елементи пам'яті цифрових схем .....	288
7.3. Цифрові фільтри .....	290
Контрольні питання до розділу 7 .....	292
Задачі для самостійного розв'язування .....	292
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	293
<b>ПРО АВТОРІВ</b> .....	294

## ПЕРЕДМОВА

Даний підручник призначений для студентів вищих навчальних закладів України III – IV рівнів акредитації, які навчаються на базових напрямках “Електроніка”, “Комп’ютерна інженерія”, “Комп’ютерні науки”, “Лазерна та оптоелектронна техніка”, “Електронні апарати” і слухають курс “Основи теорії електронних кіл” або подібні за назвою курси.

Підручник містить матеріал, який стосується основних понять теорії електронних кіл як різновиду електричних кіл. У ньому викладено основні методи аналізу таких кіл, зокрема чисельні методи, орієнтовані на комп’ютерне моделювання електронних кіл. Значна увага приділена опису функціонування типових компонент електронних кіл. Детальним є розділ, який стосується основи теорії сигналів. Він дає можливість студентам зрозуміти роль сигналів в електроніці та інформатиці, вивчити основні способи їх аналізу і перетворень та роль електронних кіл у цих процесах.

Оригінальним і актуальним є матеріал останнього розділу, що стосується теорії дискретних та цифрових схем, який у компактній формі знайомить студентів з перспективними засобами обробки та перетворення сигналів.

Кожний розділ підручника доповнений питаннями для самоконтролю та типовими задачами. Найважливіші висновки по кожному підрозділу винесені на поля.

Навчальний матеріал, викладений у підручнику, автори апробували упродовж багатьох років у навчальному процесі в Національному технічному університеті України “КПІ” та Національному університеті “Львівська політехніка” на базових напрямках “Електроніка”, “Електронні апарати”, “Лазерна та оптоелектронна техніка”, “Комп’ютерна інженерія”, “Комп’ютерні науки”, “Геодезія, картографія та землеупорядкування”.

Зміст підручника відповідає навчальним програмам відповідних дисциплін, які читаються на даних базових напрямках. Його обсяг відповідає вимогам, викладеним в останніх нормативних документах Міністерства освіти і науки України.

## ***Основи теорії електронних кіл***

---

Автори висловлюють подяку рецензентам за зауваження та рекомендації, які сприяли поліпшенню змісту підручника.

Автори вдячні за значну допомогу у підготовці рукопису до видання інженерам С. Г. Самойловій, Х. Б. Желяк та лаборанту Н. В. Лядик.



НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Бобало Юрій Ярославович  
Мандзій Богдан Андрійович  
Стахів Петро Григорович  
Писаренко Леонід Дмитрович  
Якименко Юрій Іванович

# ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ

*За редакцією д-ра техн. наук,  
проф. П.Г. Стахіва*

**ПІДРУЧНИК**

Керівник видавничих проектів В. М. Піча

Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Тип Таймс.  
Умовн. друк. арк. 17,21.

ПП “Магнолія 2006”  
м. Львів-53, 79053, Україна, тел.+380503701957,  
e-mail: magnol06@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції: серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року,  
видане Державним комітетом інформаційної політики,  
телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавництва “Магнолія 2006”