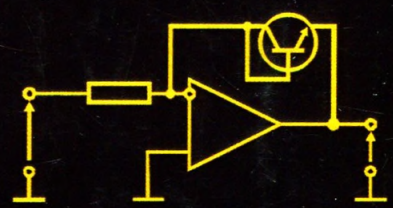


621.382
B19

Л. Д. Васильєва
Б. І. Медведенко
Ю. І. Якименко

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ



Л. Д. Васильєва
Б. І. Медведенко
Ю. І. Якименко

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ

*Допущено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів*



Київ
2018

ПОЛІТЕХНІКА

УДК 621.382 (075.8)
ББК 32.852
В19

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(Лист №111-3435 від 18.10.2002 р.)*

Рецензенти: *С. В. Свєчніков*, акад. НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
С. В. Денбновецький, д-р техн. наук, проф.

Редактор *Р. М. Шульженко*

Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якішенко Ю. І.

В19 Напівпровідникові прилади: Підручник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2018. – 388 с.

ISBN 966-622-103-9

Викладено основні питання фізики напівпровідників, розглянуто структури, принципи дії, характеристики, параметри, схеми вмикання, моделі і особливості використання дискретних та інтегральних напівпровідникових приладів.

Для студентів усіх спеціальностей радіоелектронних напрямів підготовки і су-
міжних спеціальностей та для широкого загалу радіоаматорів.

УДК 621.382 (075.8)
ББК 32.852

ISBN 966-622-103-9

© Л. Д. Васильєва,
Б. І. Медведенко,
Ю. І. Якіменко, 2018

ЗМІСТ

СПИСОК ЗАГАЛЬНИХ АБРЕВІАТУР.....	7
ВСТУП.....	8
ПЕРЕДМОВА.....	11
1. ОСОБЛИВОСТІ ТА ЕТАПИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИБАДІВ.....	13
1.1. Пасивні та активні компоненти.....	13
1.2. Класифікація електронних приладів.....	15
1.3. Основні етапи розвитку електронних приладів.....	16
2. ОСНОВИ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ.....	27
2.1. Класифікація речовин за провідністю.....	27
2.2. Струми власних напівпровідників.....	33
2.3. Домішкові напівпровідники.....	35
2.4. Дифузія носіїв заряду у напівпровідниках.....	39
2.5. Визначення та класифікація електричних переходів.....	41
2.6. Електронно-дірковий перехід без зовнішнього електричного поля.....	42
2.7. Електронно-дірковий перехід із зовнішнім джерелом напруги.....	47
2.8. Вольт-амперна характеристика ідеалізованого p - n -переходу.....	52
2.9. Ємнісні властивості p - n -переходу.....	54
2.10. Пробій p - n -переходу.....	55
2.11. Гетеропереходи.....	57
2.12. Перехід метал - напівпровідник.....	58
2.13. Структури та основні технологічні процеси формування електричних переходів.....	60
2.14. Особливості p - n -переходів та їх використання для побудови різних компонентів електронної апаратури.....	62
3. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДІОДИ.....	64
3.1. Визначення та класифікація.....	64
3.2. Вольт-амперна характеристика.....	65
3.3. Параметри напівпровідникових діодів.....	67
3.4. Динамічні властивості напівпровідникових діодів.....	69
3.5. Модель напівпровідникового діода.....	70
3.6. Пробій діода.....	71
3.7. Графоаналітичний метод розрахунку електричних схем з напівпровідниковими діодами.....	73

3.8. Особливості використання та специфічні параметри напівпровідникових діодів.....	75
3.8.1. Випрямні діоди.....	75
3.8.2. Високочастотні діоди.....	83
3.8.3. Імпульсні діоди.....	85
3.8.4. Напівпровідникові стабілітрони.....	90
3.8.5. Варикапи.....	95
3.8.6. Діоди Шотткі.....	98
4. БІПОЛЯРНІ ТРАНЗИСТОРИ.....	102
4.1. Структури, режими та схеми вмикання біполярних• транзисторів.....	102
4.2. Фізичні процеси в біполярному транзисторі.....	105
4.3. Статичні характеристики біполярних транзисторів.....	110
4.3.1. Статичні характеристики біполярних транзисторів із спільним емітером.....	110
4.3.2. Статичні характеристики біполярного транзистора із спільною базою.....	114
4.3.3. Температурний дрейф характеристик біполярного транзистора.....	117
4.4. Підсилення за допомогою біполярних транзисторів.....	118
4.5. Біполярний транзистор як активний елемент радіоелектронних пристроїв.....	121
4.5.1. Класифікація методів дослідження транзисторних схем	121
4.5.2. Лінійні методи.....	122
4.5.3. Нелінійні методи.....	130
4.6. Динамічні властивості біполярних транзисторів.....	142
4.7. Ключовий режим біполярного транзистора.....	145
4.8. Порівняльний аналіз трьох схем вмикання біполярного транзистора.....	152
4.9. Власні шуми та шумові параметри транзисторів.....	160
4.10. Температурний режим та пробій біполярних транзисторів.....	162
4.11. Основні типи біполярних транзисторів.....	166
5. ПОЛЬОВІ ТРАНЗИСТОРИ.....	175
5.1. Типи польових транзисторів.....	175
5.2. Польовий транзистор з керувальним <i>p-n</i> -переходом.....	177
5.3. Польові транзистори з бар'єром Шотткі.....	183
5.4. Польові транзистори з ізольованими затворами.....	184
5.5. Еквівалентні схеми та частотні властивості польових транзисторів.....	181
5.6. Ключовий режим МДН-транзистора.....	190

5.7.	Температурні залежності та шуми польових транзисторів.....	197
5.8.	Класифікація та особливості використання польових транзисторів.....	199
5.9.	Порівняння польових та біполярних транзисторів.....	202
6.	ІНТЕГРАЛЬНІ МІКРОСХЕМИ	205
6.1.	Основні терміни і визначення в мікроелектроніці.....	205
6.2.	Особливості інтегральних схем як нового типу напівпровідникових приладів.....	208
6.3.	Класифікація інтегральних мікросхем.....	209
6.4.	Система умовних позначень і корпуси інтегральних мікросхем.....	213
6.5.	Основні технологічні процеси виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем.....	216
6.6.	Основні технологічні процеси виготовлення плівкових інтегральних мікросхем.....	226
6.7.	Особливості виготовлення гібридних інтегральних мікросхем	232
6.8.	Особливості та ізоляція елементів інтегральних мікросхем	235
6.9.	Пасивні елементи.....	239
6.10.	Активні елементи напівпровідникових мікросхем.....	246
6.11.	Основні функціональні елементи та вузли аналогових інтегральних мікросхем.....	256
6.11.1.	Особливості аналогових інтегральних схем.....	256
6.11.2.	Схеми стабілізації режиму роботи каскаду підсилення.....	258
6.11.3.	Схеми зсуву рівнів напруг.....	260
6.11.4.	Основні типи інтегральних підсилювачів.....	262
6.12.	Загальна характеристика цифрових інтегральних мікросхем	275
6.12.1.	Елементарні логічні операції.....	275
6.12.2.	Характеристики і параметри цифрових інтегральних схем.....	277
6.12.3.	Класифікація цифрових інтегральних схем.....	279
6.12.4.	Транзисторно-транзисторна логіка.....	282
6.12.5.	Транзисторно-транзисторна логіка з діодами Шоттки.....	286
6.12.6.	Емітерно-зв'язана транзисторна логіка.....	288
6.12.7.	Логічні елементи на МДН-транзисторах.....	290
6.12.8.	Інтегральна інжекційна логіка.....	295
7.	ОПТОЕЛЕКТРОННІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ	300
7.1.	Особливості оптоелектроніки.....	300
7.2.	Джерела оптичного випромінювання.....	306
7.2.1.	Електролюмінесцентні індикатори.....	307
7.2.2.	Випромінювальні діоди.....	309

7.2.3. Напівпровідникові лазери.....	314
7.3. Фотоелектричні напівпровідникові приймачі випромінювання.....	319
7.3.1. Внутрішній фотоэффект.....	319
7.3.2. Особливості фотогальванічного ефекту.....	320
7.3.3. Фоторезистори.....	324
7.3.4. Фотодіоди.....	326
7.3.5. Фототранзистори.....	328
7.3.6. Фототиристори.....	332
7.4. Оптрони та оптоелектронні інтегральні мікросхеми.....	334
8. РІЗНОВИДИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ.....	342
8.1. Тиристори.....	342
8.1.1. Класифікація тиристорів.....	342
8.1.2. Структура і принцип дії диністорів.....	344
8.1.3. Тріодні тиристори.....	347
8.1.4. Параметри тиристорів.....	349
8.1.5. Застосування тиристорів.....	350
8.1.6. Порівняльна характеристика тиристора і транзистора.....	352
8.2. Прилади із зарядовим зв'язком.....	353
8.2.1. Структура і принцип дії.....	353
8.2.2. Параметри приладів із зарядовим зв'язком.....	357
8.2.3. Застосування приладів із зарядовим зв'язком.....	360
8.3. Складені транзистори.....	363
8.4. Одноперехідний транзистор.....	365
8.5. Напівпровідникові терморезистори.....	367
8.5.1. Термістори прямого підігріву.....	367
8.5.2. Термістори посереднього підігріву.....	371
8.5.3. Позистори.....	373
8.6. Варистори.....	375
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	378
ПОЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ТА ПАРАМЕТРІВ.....	379
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	378