

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	5
Przedmowa	12
1. Elementy, układy i urządzenia elektroniczne, zarys technologii i działania półprzewodników	14
1.1. Program wykładu	14
1.2. Krótka historia elektroniki	18
1.3. Generalny podział elementów i układów elektroniki (poziomy)	20
1.4. Generalny podział elementów i układów elektroniki (pionowy)	22
1.5. Elementy biernie: oporniki (rezystory), cewki indukcyjne, kondensatory, transformatory	24
1.6. Półprzewodniki samoistne i domieszkowane	26
1.7. Przyrządy półprzewodnikowe: zasada działania złącza p-n, diody	28
1.8. Przyrządy półprzewodnikowe: tranzystory	34
1.9. Przyrządy półprzewodnikowe: tyrystory	40
1.10. Zarys technologii półprzewodników	44
1.11. Układy scalone	50
2. Problemy termiczne w elektronice, zasilanie i zabezpieczenia, zakłócenia .	52
2.1. Wpływ temperatury na właściwości półprzewodników	52
2.2. Moc maksymalna tranzystora bipolarnego – P_{Cmax}	56
2.3. Generowanie ciepła w impulsowych układach elektronicznych	58
2.4. Niezawodność – typowa charakterystyka	60
2.5. Rezystancja termiczna – analogia termiczno-elektryczna	62
2.6. Radiatory	66
2.7. Pomiar temperatury	68
2.8. Zasilanie układu elektronicznego	78
2.9. Zabezpieczenia	86
3. Metody analizy i projektowania układów elektronicznych	96
3.1. Metody analizy układów elektronicznych	98
3.2. Schematy układów elektronicznych	104
3.3. Metody projektowania urządzeń elektronicznych	106
3.4. Definicje podstawowych parametrów wejścia i wyjścia układu elektronicznego	108
3.5. Wejścia/wyjścia układów i urządzeń elektronicznych: symetryczne i asymetryczne	110
4. Analogowe układy elektroniczne	114
4.1. Podział układów analogowych	114
4.2. Wzmacniacze elektroniczne	114
4.3. Komparatory scalone	132
4.4. Generatory elektroniczne	134
4.5. Analogowe układy funkcyjne	136
4.6. Analogowe układy mnożące	138
4.7. Modulacja i demodulacja w systemach telekomunikacyjnych	138

4.8.	Źródła prądowe i napięciowe	142
5.	Układy impulsowe, łączniki, układy cyfrowe, przetworniki A/C i C/A, układy programowalne, pamięci, mikroprocesory, wybrane zastosowania..	146
5.1.	Układy kształtowania impulsów, komparator napięcia.....	146
5.2.	Tranzystor BJT jako element przełączający (kluczujący).....	150
5.3.	Inwerter CMOS.....	154
5.4.	Przerzutniki dwustanowe	154
5.5.	Bramka logiczna NAND (CMOS)	158
5.6.	Przetwornik analogowo-cyfrowy	162
5.7.	Przetwornik cyfrowo-analogowy (C/A).....	168
5.8.	Cyfrowe układy programowalne.....	170
5.9.	System mikroprocesorowy	174
6.	Układy i urządzenia energoelektroniczne	180
6.1.	Podstawowe rodzaje przekształtników energoelektronicznych	180
6.2.	Konwertery AC-DC	182
6.3.	Konwertery AC-AC	188
6.4.	Konwertery DC-DC	190
6.5.	Konwertery DC-AC – falowniki	196
6.6.	Przezienniki częstotliwości AC-DC-AC.....	200
7.	Układy optoelektroniczne, źródła światła, detektory i czujniki optoelektroniczne, światłowody, układy i systemy	202
7.1.	Dioda LED (Ligh Emitting Diode)	202
7.2.	Lasery półprzewodnikowe	208
7.3.	Detektory optyczne	210
7.4.	Detektory CCD.....	216
7.5.	Światłowody.....	218
7.6.	Transmisja optoelektroniczna	224
7.7.	Transoptory	226
7.8.	Wyświetlacze ciekłokrystaliczne	230
7.9.	Wyświetlacze diodowe.....	234
7.10.	Czujniki optoelektroniczne	236
8.	Literatura pomocnicza	238

Wykaz ważniejszych oznaczeń

A	symbol anody diody, tłumienie światłowodu
AC	alternative current, prąd przemienny
ADC	przetwornik analogowo-cyfrowy
B	pasmo przenoszenia wzmacniacza, zacisk bazy w tranzystorze bipolarnym lub podłoża w tranzystorach MOSFET
c	prędkość światła
C	pojemność kondensatora, kondensator, zacisk kolektora tranzystora bipolarnego
CCD	Charge Coupled Device, przyrząd o sprzężeniu ładunkowym
CMOS	technologia komplementarnych tranzystorów polowych
C_0	pojemność obciążenia
CLK	sygnał zegarowy
CTR	wzmocnienie prądowe transoptora, I_c/I_f
D	zacisk drenu tranzystora unipolarnego, dioda, wykrywalność detektora, dyspersja światłowodu
D^*	znormalizowana wykrywalność detektora
DAC	przetwornik cyfrowo-analogowy
D0-D16	bity wejściowe/wyjściowe przetwornika DAC/ADC
DC	direct current, prąd stały
E	zacisk emitera, siła elektromotoryczna (SEM)
EOC	end of conversion, koniec przetwarzania
E_B	zastępcza SEM obwodu bazy
E_C, E_E, E_D, E_Z, U_Z	napięcia zasilania
e_{EB}	SEM w obwodzie emiter-baza
e_{BC}	SEM w obwodzie baza-kolektor
e_{DS}	SEM w obwodzie dren-źródło
E_g	przerwa energetyczna
e_{GS}	SEM w obwodzie bramka-źródło
E_g, e_g	SEM źródła napięciowego sygnału wejściowego
f	częstotliwość
f_d	dolna częstotliwość graniczna
f_g	górną częstotliwość graniczną
f_r	częstotliwość powtarzania, częstotliwość rezonansowa
FR	failure rate, częstość uszkodzeń

G	zacisk bramki
G_g	konduktancja wewnętrzna źródła sygnału wejściowego
G_L	konduktancja obciążenia
G_{we}	konduktancja wejściowa
G_{wy}	konduktancja wyjściowa
h	stała Plancka ($h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{Js}$)
h_{ij}	małosygnałowe parametry macierzy „h” tranzystora
I	prąd
IR	promieniowanie podczerwone
i	wartość chwilowa prądu zmiennego
I_1	prąd wejściowy
I_{1f}	prąd wejściowy wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
I_2	prąd wyjściowy
i_a	prąd anodowy
I_B	prąd bazy tranzystora
I_{BQ}	wartość prądu bazy tranzystora w punkcie pracy Q
I_C	prąd kolektora tranzystora
i_c	wartość chwilowa prądu kolektora
I_{CQ}	wartość prądu kolektora tranzystora w punkcie pracy Q
I_D	prąd drenu tranzystora unipolarnego, prąd anodowy diody
I_E, I_e	prąd emitera tranzystora
I_f	prąd zwrotny
I_g	wydajność źródła prądowego sygnału wejściowego
I_G	prąd bramki
I_Q	wartość prądu w punkcie pracy
I_s	prąd diody Zenera
K	wzmocnienie, symbol katody diody
k	stała Boltzmanna ($k = 1.380662 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$)
$K(j\omega), K(\omega)$	transmitancja widmowa
K_0	wartość maksymalna wzmocnienia wewnątrz pasma przenoszenia
K_f	transmitancja wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
K_{f0}	wartość wzmocnienia wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym wewnątrz pasma przenoszenia (lub dla $\omega = 0$)
K_I	wzmocnienie prądowe

K_{I0}	wartość maksymalna wzmocnienia prądowego wewnątrz pasma przenoszenia
K_{If}	wzmocnienie prądowe wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
K_P	wzmocnienie mocy
K_U	wzmocnienie napięciowe
K_{U0}	wartość maksymalna wzmocnienia napięciowego wewnątrz pasma przenoszenia
K_{Ur}	wzmocnienie napięciowe sygnałów różnicowych
K_{Uf}	różnicowe wzmocnienie napięciowe wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
L	indukcyjność cewki
L_B	indukcyjność w obwodzie bazy
L_C	indukcyjność w obwodzie kolektora
l_n	szerokość strefy przejściowej na złączu p-n w warstwie n
l_p	szerokość strefy przejściowej na złączu p-n w warstwie p
m	współczynnik głębokości modulacji, iloczyn faz i półokresów
M	silnik elektryczny
$MTBF$	średni czas między uszkodzeniami
n	gęstość elektronów, współczynnik załamania
n_1, n_2	współczynniki załamania rdzenia i płaszczka światłowodu
n_i	gęstość par elektron-dziura
n_n	gęstość elektronów w warstwie n (nośników większościowych w tej warstwie)
n_p	gęstość elektronów w warstwie p (nośników mniejszościowych w tej warstwie)
n^+	warstwa n o dużej gęstości domieszkowania
NA	apertura numeryczna światłowodu, kąt akceptacji
NEP	moc równoważna szumom
U_y	analogowa wartość mnożnej (mnożnika)
$NMOS$	tranzystor polowy z izolowaną bramką z kanałem typu „n”
WB	układ wspólnej bazy
WC	układ wspólnego kolektora
WE	układ wspólnego emitera
$/OE$	output enable, aktywacja wyjścia
p	gęstość dziur

P_n	gęstość dziur w warstwie n (nośników mniejszościowych w tej warstwie)
P_p	gęstość dziur w warstwie p (nośników większościowych w tej warstwie)
p^-	warstwa p o małej gęstości domieszkowania
P	moc czynna
P_2	moc obciążenia
P_{Cmax}	maksymalna dopuszczalna wartość mocy strat w kolektorze tranzystora (parametr katalogowy)
PMOS	tranzystor polowy z izolowaną bramką z kanałem typu „p”
P_{we}, P_{wy}	moc na wejściu i wyjściu światłowodu
Q	punkt pracy lub dobroć obwodu rezonansowego, wyjście przerzutnika
q	ładunek elektronu ($q = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
R	rezystancja, rezystor, wejście „reset” przerzutnika RS, czułość detektora promieniowania
R_0	rezystancja odbiornika
R_B	rezystancja (zastępcza) bazy
R_C	rezystancja w obwodzie kolektora (kolektorowa)
R_{dyn}	wartość rezystancji dynamicznej (przyrostowej, różniczkowej) rezystora nieliniowego w punkcie pracy
R_E	rezystancja w obwodzie emitera (emiterowa)
R_f	rezystancja w obwodzie sprzężenia zwrotnego
R_g	rezystancja wewnętrzna źródła sygnału wejściowego
R_L, R_{L-}	zastępcza rezystancja obciążenia (dla składowej zmiennej)
R_{Ldop}	rezystancja obciążenia w warunkach dopasowania na wyjściu
RST, UVW	oznaczenia faz napięcia 3-fazowego
R_{st}	wartość rezystancji statycznej rezystora nieliniowego jako iloraz współrzędnych napięcia i prądu w punkcie pracy
R_{th}	rezystancja termiczna
R_{thra}	rezystancja termiczna radiator-otoczenie
R_{thcr}	rezystancja termiczna obudowa-radiator
R_{thjc}	rezystancja termiczna złącze-obudowa
R_{we}	rezystancja wejściowa
R_{wy}	rezystancja wyjściowa
S	zacisk źródła, wejście „set” przerzutnika RS

Si	krzem
S/N	stosunek sygnał/szum
S_u	współczynnik stabilizacji napięcia
S_T	współczynnik termiczny stabilizacji napięcia
t	czas
t_{con}	czas konwersji
T	temperatura, czas trwania impulsu, okres
$T_{j(max)}$	temperatura złącza (maksymalna)
$T_{a(max)}$	temperatura otoczenia (maksymalna)
Tr	transformator
U^1	napięcie
u	wartość chwilowa napięcia zmiennego
U_1	napięcie wejściowe
U_{1f}	napięcie wejściowe wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
U_2	napięcie wyjściowe
U_B	napięcie baza-emiter tranzystora w układzie WE
u_B	wartość chwilowa napięcia baza-emiter tranzystora w układzie WE
U_{BE}	napięcie baza-emiter tranzystora
U_{BEP}	wartość progowa napięcia baza-emiter
U_C	napięcie kolektor-emiter tranzystora w układzie WE, napięcie na pojemności C
u_C	wartość chwilowa napięcia kolektor-emiter tranzystora w układzie WE
U_{CE}	napięcie kolektor-emiter tranzystora
U_{CQ}	wartość napięcia kolektor-emiter tranzystora w układzie WE w punkcie pracy Q
U_D	napięcie anodowe diody
U_{DS}	napięcie dren-źródło tranzystora unipolarnego
U_f	napięcie zwrotne
U_{GS}, U_G	napięcie bramka-źródło tranzystora unipolarnego
U_m	wartość maksymalna napięcia, sygnał napięciowy modulujący
U_N	napięcie na zaciskach elementu nieliniowego, sygnał napięciowy nośny

¹ w literaturze często spotykane jest oznaczenie „V”

U_{NQ}	napięcie na zaciskach elementu nieliniowego w punkcie pracy
U_Q	wartość napięcia w punkcie pracy
U_r	składowa różnicowa wejściowego sygnału napięciowego
U_R	spadek napięcia na rezystorze R
U_{ref}	napięcie odniesienia, referencyjne
U_S	składowa sumacyjna wejściowego sygnału napięciowego
U_T	wartość progowa napięcia bramka-źródło tranzystora unipolarnego („napięcie progowe”) lub potencjał termiczny elektronu ($U_T = kT/q$)
U_W	napięcie wejściowe (niestabilizowane stabilizatora napięcia)
U_x	analogowa wartość mnożnika (mnożnej)
U_y	analogowa wartość mnożnej (mnożnika)
U_Z	napięcie zasilania
U_0	napięcie obciążenia
w_i	wagi sumatora
x_1, x_2, x_3	wejścia bramek logicznych
X_1	sygnał wejściowy (prądu lub napięcia) wzmacniacza w układzie ze sprzężeniem zwrotnym
X_{1f}	sygnał wejściowy (prądu lub napięcia) wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
X_2	sygnał wyjściowy (prądu lub napięcia) wzmacniacza w układzie ze sprzężeniem zwrotnym
X_f	sygnał zwrotny (prądu lub napięcia) wzmacniacza w układzie ze sprzężeniem zwrotnym
X_{si}	sygnały szumów
Y	wyjście bramki logicznej
Y_L	admitancja obciążenia
Y_{we}	admitancja wejściowa
Y_{wy}	admitancja wyjściowa
Z_{we}	impedancja wejściowa
Z_{wef}	impedancja wejściowa wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
Z_{wy}	impedancja wyjściowa
Z_{wyf}	impedancja wyjściowa wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
α	kąt lub zwarciovyy współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora bipolarnego w układzie WB.

β	kąt lub zwarciový współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora bipolarnego w układzie WE lub transmitancja układu sprzężenia zwrotnego
β_0	zwarciový współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora w układzie WE dla składowej stałej lub wartość transmitancji czwórniká sprzężenia zwrotnego wewnątrz pasma lub dla składowej stałej
γ	współczynnik wypełnienia impulsów
Δ	różnica opóźnień fali na wyjściu światłowodu
Δ^h	$h_{11}h_{22}-h_{12}h_{21}$ – wyróżnik macierzy „h”
ΔI	przyrost prądu
ΔU	przyrost napięcia
η	sprawność energetyczna, wydajność kwantowa, tłumienie światłowodu
λ	parametr sigmoidalnej funkcji aktywacji sztucznego neuronu, długość fali
ν	częstotliwość fali elektromagnetycznej
ω, Ω	pulsacja
ω_d	dolna pulsacja graniczna
ω_g	górná pulsacja graniczna
ω_{gf}	pulsacja graniczna górná wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym
ω_T	pulsacja odpowiadająca wzmocnieniu jednostkowemu (0 dB)
ω_α	pulsacja graniczna górná tranzystora w układzie WB
ω_β	pulsacja graniczna górná tranzystora w układzie WE
ω_φ	pulsacja odpowiadająca wartości $ T = 1$
τ	stała czasowa,
τ_1, τ_2	opóźnienia fali na wyjściu światłowodu

Przedmowa

Materiał ilustracyjny skryptu jest zgodny z programem wykładu **Wstęp do elektroniki**, przeznaczonego dla studentów semestru II studiów stacjonarnych i niestacjonarnych pierwszego stopnia (inżynierskich) Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej różnych kierunków studiów.

Treść skryptu podzielona została na siedem rozdziałów i obejmuje szeroki zakres zagadnień związanych z budową, właściwościami i działaniem przyrządów półprzewodnikowych oraz analogowych i cyfrowych układów elektronicznych. Jeden z rozdziałów poświęcono bardzo ważnej obecnie i perspektywnie dziedzinie jaką jest optoelektronika. Ponadto przedstawiono w zarysie zagadnienia technologii półprzewodnikowej oraz budowę, rodzaje i właściwości systemów energoelektronicznych.

Szczególne uwagę zwrócono na przekazanie możliwie pełnego i szerokiego wglądu w poszczególne działy elektroniki, stąd częste klasyfikacje i nieraz encyklopedyczne ujęcie materiału. Zamieszczono także fragmenty o celowo wyższym poziomie szczegółowości, aby przybliżyć studentom ciekawą specyfikę elektroniki oraz znamienne dla niej metody analizy. Zawsze podajemy zastosowania poszczególnych układów i urządzeń elektronicznych w telekomunikacji, teleinformatyce, przemyśle, medycynie i innych dziedzinach działalności ludzkiej. Studenci różnych kierunków studiów znajdą wiele zagadnień, które będą później rozwijane, np. dla informatyków będzie to dział dotyczący układów scalonych cyfrowych, dla elektrotechników i automatyków będzie to rozdział dotyczący energoelektroniki, natomiast dla elektroników praktycznie cały materiał skryptu. Czytelnicy skryptu i słuchacze powyższego wykładu powinni posiadać przyswojoną wcześniej wiedzę, zwłaszcza z przedmiotu „Obwody elektryczne” i „Fizyka” – wykładów zgodnych z programem studiów obowiązującym na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki PŁ.

Skrypt posiada nietypową formę. Zawiera pełny zakres materiału ilustracyjnego do wykładu **Wstęp do elektroniki** w formacie Microsoft PowerPoint, przeznaczonego do prezentacji na rzutniku komputerowym i jednocześnie posiada wolne kratkowane strony, przeznaczone na notatki z tego wykładu. Jest to zatem skrypt-notatnik, w którym zawarto znacznie lepszy i dokładniejszy materiał ilustracyjny niż ten, jaki może w pośpiechu wytworzyć w swoich notatkach słuchacz podczas wykładu. Oddajemy studentom Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki PŁ efektywną i wypróbowaną pomoc dydaktyczną, która przyczyni się do łatwiejszego przyswojenia wiedzy z dziedziny elektroniki.

Do tego, żeby studiowanie tych zagadnień było efektywne i pomyślnie zaliczone należy jednak korzystać z wykładu. Uczestnictwo w wykładzie stwarza studentowi zaopatrzonemu w skrypt-notatnik znaczny komfort, zwalniając go z konieczności przerysowywania złożonych z reguły rysunków, umożliwiając koncentrację uwagi jedynie na treści merytorycznej wykładu.

Na wykładach można bowiem nie tylko przyswoić sobie szczegółową wiedzę o nowoczesnej elektronice, ale można również poznać język elektroników i definicje podstawowych parametrów układów i systemów elektronicznych. Temu ostatniemu celowi sprzyja zamieszczony na początku „wykaz ważniejszych oznaczeń”, który definiuje często stosowane w elektronice wielkości i wartości.

Autorzy