|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PEiTC\_02 | Romaniak Hubert | Informatyka niestacjonarna II rok | Semestr zimowy 2023/24 |

# Zadanie 1

## Dioda półprzewodnikowa – badanie charakterystyki prądowo-napięciowej

### Wstęp teoretyczny

Diody to elementy elektroniczne, które przewodzą prąd elektryczny niesymetrycznie, tzn. w jednym kierunku bardziej (kierunek przewodzenia) niż w przeciwnym (kierunek zaporowy).

Najczęściej spotykanym rodzajem diody współcześnie są diody półprzewodnikowe. Zawierają one w swojej strukturze złącze „p-n”. Wyprowadzenie pozytywne (anoda) jest przymocowane do warstwy „p”, a negatywne (katoda) do warstwy „n”.

W idealnej diodzie, prąd płynie po spolaryzowaniu diody w kierunku przewodzenia, natomiast po spolaryzowaniu w kierunku zaporowym, prąd nie zostaje przepuszczony.

W rzeczywistości, po spolaryzowaniu diody w kierunku przewodzenia, prąd wzrasta proporcjonalnie do eksponenty z przyłożonego do diody napięcia, według wzoru Shockley’a:

W temperaturze stała przyjmuje wartość , natomiast wartości i są specyficzne dla diody, i ich wartość należy odczytać z dokumentacji technicznej diody.

Aby zapobiec zniszczeniu diody przy napięciach powyżej , obowiązkowym elementem w układzie z diodą jest rezystancja wpięta szeregowo limitująca przepływ prądu.

Dla napięć powyżej , ograniczenie prądu przez rezystancję zaczyna dominować, zatem prąd płynący przez diodę jest taki sam jak prąd płynący przez rezystancję, a przybliżony wzór na natężenie prądu diody (z prawa Ohma i napięciowego prawa Kirchhoffa) przyjmuje następującą postać:

Obraz zawierający tekst, diagram, Czcionka, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 1 - Schemat układu diody 1N4007 z rezystorem wpiętym szeregowo

### Cel zadania

Obliczyć prąd diody w zależności od napięcia, wyznaczyć wykres prądu diody od napięcia, porównać wyniki z wartościami rzeczywistymi.

Przyjęte wartości: ;

Użyta dioda: 1N4007 (; )

### Obliczenia teoretyczne

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **U[V]** | **I[mA] - Równanie Shockley’a** | **I[mA] - Prawo Ohma** |
| **0,00** | 0,000 | -140,000 |
| 0,10 | 0,000 | -120,000 |
| 0,20 | 0,001 | -100,000 |
| 0,30 | 0,011 | -80,000 |
| 0,40 | 0,073 | -60,000 |
| 0,50 | 0,507 | -40,000 |
| 0,52 | 0,746 | -36,000 |
| 0,54 | 1,098 | -32,000 |
| 0,56 | 1,617 | -28,000 |
| 0,58 | 2,381 | -24,000 |
| 0,60 | 3,505 | -20,000 |
| 0,62 | 5,161 | -16,000 |
| 0,64 | 7,598 | -12,000 |
| 0,66 | 11,187 | -8,000 |
| 0,68 | 16,471 | -4,000 |
| 0,70 | 24,250 | 0,000 |
| 0,72 | 35,702 | 4,000 |
| 0,74 | 52,564 | 8,000 |
| 0,76 | 77,390 | 12,000 |
| 0,78 | 113,940 | 16,000 |
| 0,80 | 167,752 | 20,000 |
| 0,90 | 1160,463 | 40,000 |
| 1,00 | 8027,757 | 60,000 |

### Wyniki z programu symulacyjnego

|  |  |
| --- | --- |
| **U[V]** | **I[mA] - Wartości rzeczywiste** |
| **0,00** | 0,000 |
| 0,10 | 0,000 |
| 0,20 | 0,001 |
| 0,30 | 0,011 |
| 0,40 | 0,072 |
| 0,50 | 0,481 |
| 0,52 | 0,694 |
| 0,54 | 0,992 |
| 0,56 | 1,403 |
| 0,58 | 1,957 |
| 0,60 | 2,684 |
| 0,62 | 3,610 |
| 0,64 | 4,753 |
| 0,66 | 6,122 |
| 0,68 | 7,715 |
| 0,70 | 9,523 |
| 0,72 | 11,528 |
| 0,74 | 13,714 |
| 0,76 | 16,060 |
| 0,78 | 18,548 |
| 0,80 | 21,162 |
| 0,90 | 35,644 |
| 1,00 | 51,666 |

### Zestawienie wyników

Rysunek 2 – charakterystyka prądowo-napięciowa dla diody 1N4007

### Wnioski

Natężenie prądu płynącego przez diodę w zakresie pokrywa się dość dokładnie z wartościami obliczonymi za pomocą równania Shockley’a. Powyżej tych wartości, wpływ rezystancji zaczyna przeważać, i natężenie prądu zaczyna zbliżać się do wartości wyznaczonych z prawa Ohma i napięciowego prawa Kirchhoffa.

Natężenie prądu nie pokrywa się idealnie z wartością wyznaczoną z prawa Ohma ze względu na rezystancję dynamiczną diody (rezystancję zależną od napięcia przyłożonego do diody i prądu przez nią płynącego).

Można zauważyć, że dioda, w przeciwieństwie do rezystancji, ma charakterystykę nieliniową – natężenie prądu płynącego przez nią rośnie ekspotencjalnie do przyłożonego napięcia, a w przypadku, gdy z diodą wpięta jest szeregowo rezystancja, powyżej zaczyna ona zachowywać się jak źródło napięcia o wartości około (zależnie od rezystancji dynamicznej diody).

# Zadanie 2

## Dioda Zenera – badanie charakterystyki prądowo-napięciowej

### Wstęp teoretyczny

Wstęp do diod – patrz „Zadanie 1: wstęp teoretyczny”

Dioda Zenera to odmiana zwykłej diody półprzewodnikowej, której najważniejszym parametrem jest napięcie Zenera, czyli ściśle zaprojektowane, zazwyczaj niskie napięcie przebicia.

Napięcie Zenera to napięcie, po przekroczeniu którego dioda Zenera wpięta zaporowo do układu zaczyna przewodzić prąd. Napięcie to jest praktycznie niezależne od natężenia płynącego przez diodę prądu, ze względu na niską rezystancję dynamiczną tej diody.

Podstawowymi różnicami pomiędzy diodą Zenera a zwykłą diodą są:

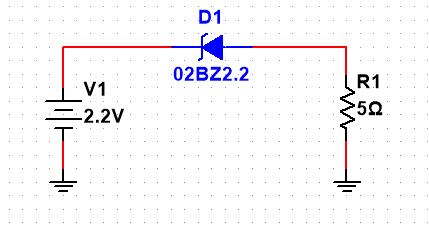
* Przebicie diody Zenera nie powoduje jej uszkodzenia
* Napięcie przebicia diody Zenera jest ściśle zaprojektowane i określone, zwykle o wartości do 10 woltów, ale mogące osiągać wartości nawet do kilkuset woltów; napięcia przebicia zwykłej diody osiągają wartości powyżej i nie są ściśle sprecyzowane
* Niska rezystancja dynamiczna diody Zenera

### Cel zadania

Obliczyć prąd diody Zenera w zależności od napięcia, wyznaczyć wykres prądu diody od napięcia, wyznaczyć napięcie Zenera.

Przyjęte wartości: ;

Użyta dioda: 1N4732A (; , )



Rysunek 3 - Schemat układu diody Zenera 1N4732A spolaryzowanej zaporowo z rezystorem wpiętym szeregowo

### Obliczenia teoretyczne

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **U[V]** | **Równanie Shockley’a** | **I[mA] - Prawo Ohma - kierunek przewodzenia** | **I[mA] - Prawo Ohma - kierunek zaporowy** |
| **-5,0** | 0,000 | - | -59,200 |
| -4,9 | 0,000 | - | -39,200 |
| -4,8 | 0,000 | - | -19,200 |
| -4,7 | 0,000 | - | 0,800 |
| -4,6 | 0,000 | - | 20,800 |
| -4,5 | 0,000 | - | 40,800 |
| -4,4 | 0,000 | - | 60,800 |
| -4,3 | 0,000 | - | 80,800 |
| -4,2 | 0,000 | - | 100,800 |
| -4,1 | 0,000 | - | 120,800 |
| -4,0 | 0,000 | - | 140,800 |
| -3,0 | 0,000 | - | 340,800 |
| -2,0 | 0,000 | - | 540,800 |
| -1,0 | 0,000 | - | 740,800 |
| 0,0 | 0,000 | -140,000 | - |
| 0,1 | 0,000 | -120,000 | - |
| 0,2 | 0,000 | -100,000 | - |
| 0,3 | 0,001 | -80,000 | - |
| 0,4 | 0,026 | -60,000 | - |
| 0,5 | 1,264 | -40,000 | - |
| 0,6 | 60,508 | -20,000 | - |
| 0,7 | 2895,613 | 0,000 | - |
| 0,8 | 138569,148 | 20,000 | - |
| 0,9 | 6631207,140 | 40,000 | - |
| 1,0 | 317335487,773 | 60,000 | - |

### Wyniki z programu symulacyjnego

|  |  |
| --- | --- |
| **U[V]** | **I[mA] - Wartości rzeczywiste** |
| **-5,0** | -59,33 |
| -4,9 | -41,22 |
| -4,8 | -24,02 |
| -4,7 | -9,06 |
| -4,6 | -0,92 |
| -4,5 | -0,02 |
| -4,4 | 0,00 |
| -4,3 | 0,00 |
| -4,2 | 0,00 |
| -4,1 | 0,00 |
| -4,0 | 0,00 |
| -3,0 | 0,00 |
| -2,0 | 0,00 |
| -1,0 | 0,00 |
| 0,0 | 0,00 |
| 0,1 | 0,00 |
| 0,2 | 0,00 |
| 0,3 | 0,00 |
| 0,4 | 0,03 |
| 0,5 | 1,03 |
| 0,6 | 9,51 |
| 0,7 | 24,59 |
| 0,8 | 41,84 |
| 0,9 | 59,98 |
| 1,0 | 78,58 |

### Zestawienie wyników

Rysunek 4 - Charakterystyka prądowo-napięciowa diody Zenera 1N4732A

Linia trendu (styczna) poprowadzona dla pomiarów z obszaru pracy dla diody spolaryzowanej zaporowo ma równanie . Napięcie Zenera jest wyznaczane przez punkt przecięcia tej stycznej z osią napięcia, zatem aby wyznaczyć napięcie Zenera, należy w tym równaniu wstawić i wyznaczyć .

.

Wyznaczone napięcie Zenera: .

Napięcie Zenera wynikające z dokumentacji:

### Wnioski

Natężenie prądu płynącego przez diodę Zenera spolaryzowaną w kierunku przewodzenia jest bardzo zbliżone do zwykłej diody półprzewodnikowej. W zakresie pokrywa się dość dokładnie z wartościami obliczonymi za pomocą równania Shockley’a, a powyżej tych wartości, wpływ rezystancji zaczyna przeważać, i natężenie prądu zaczyna zbliżać się do wartości wyznaczonych z prawa Ohma i napięciowego prawa Kirchhoffa.

Dioda Zenera po przyłożeniu napięcia w kierunku zaporowym do wartości około nie przewodzi żadnego prądu, pomiędzy przewodzi minimalny prąd, a od , zaczyna przewodzić prąd w sposób nieograniczony (jedyne ograniczenie wynika z rezystancji). Oznacza to, że napięcie Zenera (napięcie przebicia) wynosi około ; dokładna wartość tego napięcia z obliczeń wynosi .

Przewodzenie diody Zenera w kierunku zaporowym dla niskich wartości napięcia jest cechą charakterystyczną tej diody.

Natężenie prądu zbliża się aproksymacyjnie dość dokładnie do wartości wyznaczonej z prawa Ohma, zarówno przy spolaryzowaniu przewodzenia, jak i zaporowym. Wynika to z bardzo niskiej rezystancji dynamicznej diody Zenera.

# Zadanie 3

## Tranzystor bipolarny NPN – badanie charakterystyki wyjściowej

### Wstęp teoretyczny

Tranzystor to półprzewodnikowy element elektroniczny, którego głównym zastosowaniem jest blokowanie lub wzmacnianie sygnału elektrycznego. Wykorzystuje się je m.in. do budowy wzmacniaczy, stabilizatorów i generatorów.

Tranzystory dzielą się na tranzystory bipolarne (BJT) i tranzystory unipolarne/polowe (FET).

Tranzystor bipolarny można w uproszczeniu przedstawić jak dwa złącza „p-n” (diody) scalone ze sobą tym samem typem półprzewodnika. Jeżeli złącza są scalone półprzewodnikami typu „p”, powstaje tranzystor NPN, a jeżeli są scalone półprzewodnikami typu „n” – powstaje tranzystor PNP. Charakteryzują się one tym, że niewielki prąd płynący pomiędzy bazą a emiterem steruje przepływem znacznie większego prądu między kolektorem a emiterem.

Z tranzystora wyprowadzone są 3 terminale – emiter (E), baza (B) i kolektor (C). W tranzystorze bipolarnym NPN, emiter i kolektor są podpięte do skrajnych półprzewodników typu „n”, a baza jest podpięta do środkowego półprzewodnika typu „p”.

W zależności od punktu pracy, tranzystor może znajdować się w jednym z czterech stanów:

* Stan aktywny – prąd kolektora jest β razy większy od prądu bazy
* Stan nasycenia – prąd bazy jest na tyle duży, że kolektor nie jest w stanie dostarczyć prądu β razy większego do emitera
* Stan zatkania – złącze baza-emiter nie jest spolaryzowane, więc nie płynie prąd pomiędzy kolektorem a emiterem
* Stan inwersyjny – złącze baza-emiter jest spolaryzowane zaporowo, wzmocnienie prądowe jest niewielkie (znacznie mniejsze od β)

Głównymi zastosowaniami tranzystora bipolarnego jest wzmacniacz (praca w stanie aktywnym) i przełącznik (przejścia pracy ze stanu zatkanego - wyłączony do stanu nasycenia - włączony).

### Cel zadania

Wyznaczyć rodzinę charakterystyk wyjściowych (zależności prądu kolektora od napięcia kolektor-emiter dla 4 różnych prądów bazy ).

Przyjęte wartości:

Użyty tranzystor bipolarny NPN: BC237BP

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Czcionka

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 5 - schemat układu z tranzystorem BC237BP

### Wyniki z programu symulacyjnego

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,000 | 0,000 | -0,709 | 0,142 | -1,275 | 0,255 | -1,650 | 0,330 |
| 50,000 | 0,000 | 34,800 | 3,040 | 28,141 | 4,372 | 24,281 | 5,144 |
| 100,000 | 0,000 | 62,931 | 7,414 | 51,376 | 9,725 | 45,107 | 10,979 |
| 150,000 | 0,000 | 87,896 | 12,421 | 71,631 | 15,674 | 63,336 | 17,333 |
| 200,000 | 0,000 | 112,825 | 17,435 | 90,672 | 21,866 | 80,264 | 23,947 |
| 250,000 | 0,000 | 140,583 | 21,883 | 109,642 | 28,072 | 96,647 | 30,671 |
| 300,000 | 0,000 | 174,590 | 25,082 | 129,600 | 34,080 | 113,041 | 37,392 |
| 350,000 | 0,000 | 216,807 | 26,638 | 151,953 | 39,609 | 129,987 | 44,003 |
| 400,000 | 0,000 | 264,396 | 27,121 | 178,987 | 44,202 | 148,172 | 50,366 |
| 450,000 | 0,000 | 313,773 | 27,245 | 213,849 | 47,230 | 168,677 | 56,264 |
| 500,000 | 0,000 | 363,569 | 27,286 | 257,277 | 48,545 | 193,405 | 61,319 |
| 550,000 | 0,000 | 413,454 | 27,309 | 305,352 | 48,930 | 225,370 | 64,926 |
| 600,000 | 0,000 | 463,358 | 27,328 | 354,798 | 49,040 | 266,467 | 66,707 |
| 650,000 | 0,000 | 513,266 | 27,347 | 404,551 | 49,090 | 313,604 | 67,279 |
| 700,000 | 0,000 | 563,175 | 27,365 | 454,371 | 49,126 | 362,774 | 67,445 |
| 750,000 | 0,000 | 613,084 | 27,383 | 504,203 | 49,159 | 412,420 | 67,516 |
| 800,000 | 0,000 | 662,993 | 27,401 | 554,039 | 49,192 | 462,169 | 67,566 |
| 850,000 | 0,000 | 712,902 | 27,420 | 603,876 | 49,225 | 511,938 | 67,612 |
| 900,000 | 0,000 | 762,811 | 27,438 | 653,712 | 49,257 | 561,712 | 67,657 |
| 950,000 | 0,000 | 812,720 | 27,456 | 703,549 | 49,290 | 611,487 | 67,702 |
| 1000,000 | 0,000 | 862,629 | 27,474 | 753,385 | 49,323 | 661,263 | 67,747 |
|  |  | 912,539 | 27,492 | 803,222 | 49,355 | 711,038 | 67,792 |
|  |  | 962,448 | 27,510 | 853,059 | 49,388 | 760,813 | 67,837 |
|  |  | 1012,000 | 27,529 | 902,895 | 49,421 | 810,589 | 67,882 |
|  |  |  |  | 952,732 | 49,454 | 860,364 | 67,927 |
|  |  |  |  | 1003,000 | 49,486 | 910,139 | 67,972 |
|  |  |  |  |  |  | 959,915 | 68,017 |
|  |  |  |  |  |  | 1010,000 | 68,062 |

### Zestawienie wyników

Rysunek 6 - rodzina charakterystyk wyjściowych tranzystora BC237BP

W stanie aktywnym tranzystora można policzyć wzmocnienie prądowe β tranzystora dla poszczególnych prądów bazy:

* zatem
* zatem
* zatem

Oznacza to, że w stanie aktywnym wzmocnienie prądowe tranzystora BC237BP wynosi około 225.

### Wnioski

Z przeprowadzonych symulacji można wywnioskować, że tranzystor bipolarny NPN jest elementem elektronicznym, który potrafi sterować przepływem dużego prądu kolektora za pomocą bardzo małych prądów bazy (dla tranzystora BC237BP, prąd bazy jest około 225 razy mniejszy od prądu kolektora).

Po wyrysowaniu rodziny charakterystyk wyjściowych można zauważyć, że w stanie aktywnym prąd kolektora nie zależy od przyłożonego napięcia, a jedynie od prądu bazy . Dla tych samych napięć prąd kolektora przyjmuje różne wartości w zależności od prądu bazy .

# Zadanie 4

## Stabilizator napięcia stałego

### Wstęp teoretyczny

Stabilizator napięcia to układ elektroniczny, którego zadaniem jest utrzymanie na wyjściu stałego napięcia, niezależnie od wahań napięcia zasilającego i od zmian obciążenia układu.

W szczególności, stabilizator napięcia stałego DC może posłużyć jako prostownik napięcia zmiennego AC. Zadaniem takiego układu jest konwersja zmiennego napięcia na stałe. Zadanie to prostownik wykonuje za pomocą różnorodnych elementów elektronicznych, takich jak diody prostownicze, diody Zenera, kondensatory i tranzystory.

### Cel zadania

Zbudować krok po kroku zasilacz stabilizowany. Dla każdego etapu budowy, porównać napięcie wyjściowe z napięciem wejściowym oraz z napięciem wyjściowym z poprzedniego kroku budowy. Po zbudowaniu zasilacza, sprawdzić wartości napięć wyjściowych dla kilku różnych rezystancji na wyjściu.

### Budowa zasilacza stabilizowanego

#### Prostownik jednopołówkowy

Obraz zawierający tekst, diagram, zrzut ekranu, linia

Opis wygenerowany automatycznieObraz zawierający tekst, Wykres, zrzut ekranu, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 8 - sygnał wyjściowy prostownika jednopołówkowego (zielony) na tle sygnału wejściowego (czerwony)

Rysunek 7 - schemat prostownika jednopołówkowego

#### Prostownik dwupołówkowy (mostek Graetza)

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, numer

Opis wygenerowany automatycznie Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Wykres, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 10 - sygnał wyjściowy prostownika dwupołówkowego (zielony) na tle sygnału wejściowego (czerwony)

Rysunek 8 - schemat prostownika dwupołówkowego

#### Prostownik dwupołówkowy z kondensatorem

Obraz zawierający tekst, diagram, Plan, Czcionka

Opis wygenerowany automatycznie Obraz zawierający tekst, Wykres, diagram, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 12 - sygnał wyjściowy prostownika dwupołówkowego z kondensatorem (zielony) na tle sygnału wejściowego (czerwony)

Rysunek 11 - schemat prostownika dwupołówkowego z kondensatorem

Sygnał wyjściowy prostownika dwupołówkowego z kondensatorem jest bardziej zbliżony do sygnału stałego niż w przypadku tego samego prostownika bez kondensatora. Można zauważyć, że dzięki ładowaniu i rozładowywaniu kondensatora, sygnał oscyluje pomiędzy a , a nie jak w poprzednim przypadku pomiędzy a .

#### Prostownik dwupołówkowy z kondensatorem i diodą Zenera

Obraz zawierający tekst, diagram, Plan, Równolegle

Opis wygenerowany automatycznieObraz zawierający tekst, zrzut ekranu, diagram, Wykres

Opis wygenerowany automatycznie

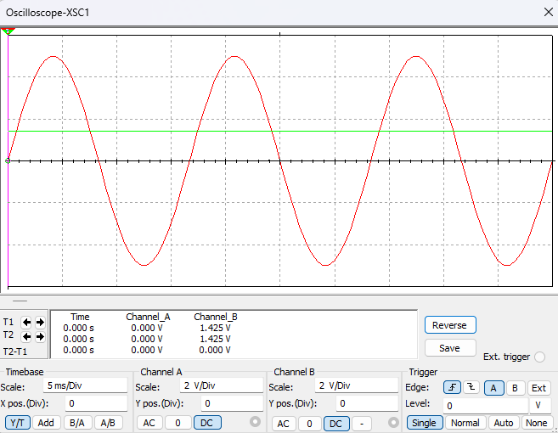
Rysunek 14 - sygnał wyjściowy prostownika dwupołówkowego z kondensatorem i diodą Zenera (zielony) na tle sygnału wejściowego (czerwony)

Rysunek 13 - schemat prostownika dwupołówkowego z kondensatorem i diodą Zenera

Sygnał wyjściowy po dodaniu diody Zenera ma obcięte wartości powyżej , co nie miało miejsca w przypadku bez diody Zenera. Dodatkowo, została dodana rezystancja o wartości , ograniczająca prąd płynący przez diodę do około .

#### Zasilacz stabilizowany

Obraz zawierający tekst, diagram, Plan, Równolegle

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 16 - sygnał wyjściowy zasilacza stabilizowanego (zielony) na tle sygnału wejściowego (czerwony)

Rysunek 15 - schemat zasilacza stabilizowanego

Sygnał wyjściowy po dodaniu tranzystora i dodatkowego kondensatora na wyjściu jest zupełnie ustabilizowany. Dzięki tranzystorowi, napięcie na wyjściu jest dodatkowo dość niezależne od zmian na rezystorze obciążającym.

#### Wartości napięcia wyjściowego dla różnych obciążeń

### Wnioski

Stabilizator napięcia stałego prostuje napięcie zmienne tak, że napięcie wyjściowe jest równe napięciu Zenera minus napięcie baza-emiter, które jest równe około (w sprawdzonym przypadku jest to ). Dodatkowo, dzięki zastosowanemu tranzystorowi, napięcie wyjściowe jest stałe dla różnych wartości rezystancji wyjściowych.

Dzięki opisanym właściwościom, stabilizator napięcia może mieć szerokie zastosowanie w układach, które potrzebują przekształcić prąd zmienny na stały oraz wymagają stałego napięcia na wyjściu niezależnie od przyłożonego obciążenia.