

**Zakres materiału na kolokwium**  
*sem. zimowy 2015/16*

*Odwołania do odpowiednich paragrafów instrukcji oznaczają, że w tych paragrafach należy szukać informacji na dany temat, nie zaś, że należy uczyć się na pamięć całego tego paragrafu. Jeżeli wiadomości na dany temat nie można znaleźć w podanym paragrafie (albo odpowiednio w sprawozdaniu), należy zgłosić ten fakt do prowadzącego celem poprawienia pomyłki w niniejszym dokumencie, nie zaś pomijać ten temat i nie uczyć się go.*

**Wykład**

2 pytania × 2 pkt

(na terminie 1: 1 pytanie z części 1 × 4 pkt)

1. Przetwarzanie energii elektrycznej

- Moc chwilowa, moc czynna, sprawność, energia: definicje i wzory ogólne stosowane w elektronice mocy.  
(zob. instrukcję 0, par. 2.2, 2.6)
- Przekształtniki o działaniu ciągłym i o działaniu przełączającym: zasada działania, moc strat (przyczyny małej lub dużej wartości), zalety i wady. Przyrząd półprzewodnikowy jako łącznik: parametry łącznika idealnego i rzeczywistego, stany pracy, energia tracona i parametry, z których wynika, wymuszenie a odpowiedź w różnych stanach pracy.  
(zob. instrukcję 0, par. 3.2, 4.1, 4.2; instrukcję 3<sup>B</sup>, par. 2.3)

2. Przewodzenie silnych prądów i blokowanie wysokich napięć

- Ładunek przestrzenny złącza asymetrycznego spolaryzowanego zaporowo: prawo Poissona, rozkład natężenia pola elektrycznego (wykres), szerokość obszaru ładunku przestrzennego, wpływ koncentracji domieszek. Napięcie jako pole pod rozkładem natężenia pola elektrycznego.  
(zob. instrukcję 0, par. 5.1)
- Przebiecie lawinowe: zjawisko fizyczne, warunek wystąpienia. Przebiecie skrośne: zjawisko fizyczne, warunek wystąpienia, konsekwencje dla różnych struktur półprzewodnikowych, wpływ na napięcie przebiecia lawinowego. Wytrzymałość napięciowa i jej zależność od długości i domieszkowania warstwy półprzewodnikowej.  
(zob. instrukcję 0, par. 5.2, 5.3)
- Dryft: gęstość prądu, ruchliwość, konduktywność, rezystywność, zależność od koncentracji nośników, koncentracja nośników a koncentracja domieszek, spadek potencjału (od jakich czynników zależy, rosnąco czy malejąco). Przewodnictwo unipolarne: pojęcie, związek ze zjawiskiem dryftu.  
(zob. instrukcję 0, par. 6.1)
- Dyfuzja: zjawisko fizyczne, nośniki nadmiarowe, koncentracja nośników, rekombinacja, czas życia nośników mniejszościowych, rozkład koncentracji nośników (wykres rozwiązania równania dyfuzji, wpływ gęstości prądu), konduktywność w porównaniu z przewodnictwem dryftowym, modulacja konduktywności, spadek potencjału (od jakich czynników zależy, rosnąco czy malejąco). Przewodnictwo bipolarne: pojęcie, związek ze zjawiskiem dyfuzji.  
(zob. instrukcję 0, par. 6.4, 6.5, 6.6)
- Stany dynamiczne: fizyczny mechanizm przełączania dla przyrządów unipolarnych i dla

przypadków bipolarnych. Wpływ parametrów warstwy półprzewodnikowej na czas przełączania; porównanie z wymaganiami dotyczącymi właściwości statycznych.

### 3. Bezpieczna praca przyrządów półprzewodnikowych mocy

- Prawo Fouriera przewodnictwa cieplnego: postać praktyczna stosowana w projektowaniu układów elektronicznych, temperatura złącza, rezystancja cieplna. Ciepły układ pracy przyrządu półprzewodnikowego: rysunek poglądowy z zaznaczeniem powierzchni wymiany ciepła, elektryczny obwód równoważny – przypadek bez radiatora i z radiatorem.  
(zob. instrukcję 6, par. 2.1, 2.2)
- Przebieg ciepła: mechanizm fizyczny niestabilności cieplnej wstecznie spolaryzowanego złącza PN, poziom ryzyka i przyczyny zagrożeń dla przyrządów bipolarnych i unipolarnych.  
(zob. instrukcję 6, par. 2.3)
- Praktyczne skutki przebiegu lawinowego i przebiegu cieplnego dla bezpieczeństwa przyrządu. Praktyka doboru napięciowego i prądowego przyrządu półprzewodnikowego.  
(zob. instrukcję 6, par. 3.2, 3.5)

### **Laboratorium**

4 pytania – po 1 z każdego z ćwiczeń × 2 pkt

#### Ćwiczenie A1

- Parametry dynamiczne diod mocy dla stanu załączania i stanu wyłączenia: definicje w formie tekstowej i graficznej, wpływ prądu przewodzenia, wpływ czasu życia nośników.  
(zob. instrukcję A1, par. 2.1, 2.2; instrukcję 0, par. 6.7; sprawozdanie)
- Stany dynamiczne diody PIN: przebiegi napięcia i prądu podczas załączania i podczas wyłączenia, zjawiska fizyczne, zachowanie nośników nadmiarowych.  
(zob. instrukcję 1, par. 2.2; sprawozdanie)
- Zastosowania oraz wynikający z niego podział i wymagania co do parametrów diod mocy. Różnice w wartościach parametrów dynamicznych (większe-mniejsze, bez wartości liczbowych): czas odzyskiwania zdolności zaworowej, ładunek przejściowy przy wyłączeniu, amplituda prądu wstecznego, czas odzyskiwania zdolności przewodzenia, szczytowe napięcie podczas załączania, energia wydzielana podczas wyłączenia i podczas załączania.  
(zob. instrukcję 1, par. 2.4; sprawozdanie)

#### Ćwiczenie 3A

- Przebiegi napięć i prądu podczas przełączania tranzystora VDMOS z obciążeniem rezystancyjnym. Obieg punktu pracy na charakterystykach statycznych. Stany pracy i zakresy pracy na charakterystykach statycznych i przebiegach czasowych. Wpływ pojemności pasożytniczych: model RC obwodu sterowania, wzory na zastępczą pojemność wejściową w każdym etapie załączania. Wpływ rezystancji bramkowej.  
(zob. par. 2.4, sprawozdanie)
- Dynamiczne parametry czasowe tranzystora MOSFET: definicje fizyczne, definicje techniczne, lokalizacja na przebiegach napięć podczas przełączania. Wpływ rezystancji bramkowej i jego wyjaśnienie w oparciu o uproszczony model obwodu bramki.  
(zob. par. 2.5, sprawozdanie)
- Dynamiczne parametry energetyczne tranzystora MOSFET: definicje fizyczne, definicje techniczne. Przebieg mocy chwilowej strat w obwodzie głównym podczas przełączania

(skorelowany z przebiegami napięć i prądu); związek z parametrami energetycznymi; wpływ parametrów czasowych i jego wyjaśnienie.  
(zob. par. 3.3, sprawozdanie)

#### Ćwiczenie 4A

- Tranzystor IGBT: symbol, przekrój komórki NPT-N-IGBT, końcówki, obwód sterowania i obwód główny. Dwuelementowe schematy zastępcze i lokalizacja ich elementów na przekroju struktury półprzewodnikowej.  
(zob. par. 2.1)
- Statyczna charakterystyka wyjściowa tranzystora IGBT; zakresy pracy i ich wykorzystanie w układach o działaniu przełączającym. Działanie tranzystora w stanie przewodzenia: ścieżki przepływu nośników wewnątrz struktury półprzewodnikowej, miejsce tworzenia kanału i obszar gromadzenia nośników nadmiarowych. Wpływ mechanizmów przewodnictwa na spadek potencjału na strukturze – z odwołaniem do schematów zastępczych; prąd główny (kolektora) w zależności od prądu kanału MOS (wzór). Pozytywny skutek wprowadzenia (względem tranzystora MOSFET) nośników mniejszościowych do bazy N.  
(zob. par. 2.2)
- Przebiegi napięć i prądu oraz mocy chwilowej strat (w obwodzie głównym) podczas przełączania tranzystora IGBT z obciążeniem rezystancyjnym. Wyłączanie części MOS i części bipolarnej struktury; ogon prądowy i jego geneza fizyczna. Energia wydzielana podczas wyłączania, związek z mocą chwilową, związek z ogonem prądowym (wzór). Negatywny skutek wprowadzenia (względem tranzystora MOSFET) nośników mniejszościowych do bazy – niekorzystne konsekwencje ogona prądowego dla parametrów czasowych i energetycznych tranzystora.  
(zob. par. 2.3, sprawozdanie)

#### Ćwiczenie 5A

- Klasyfikacja tranzystorów mocy ze względu na wielkość sterującą, mechanizm sterowania i mechanizm przewodnictwa – w odniesieniu do badanych przyrządów.  
(zob. instrukcję 0, par. 4.4; sprawozdanie)
- Statyczne charakterystyki wyjściowe stanu załączenia oraz zależność mocy strat statycznych w obwodzie głównym i mocy sterowania od prądu głównego dla tranzystorów 3 typów (pojedynczy BJT, MOSFET, IGBT) – zestawienie na jednym wykresie (w skali jak w sprawozdaniu), związek z fizycznym mechanizmem przewodnictwa oraz fizycznym mechanizmem sterowania i wielkością sterującą.  
(zob. sprawozdanie; instrukcję 0, par. 4.4, 6.1, 6.4, 6.5)
- Zalety i wady poszczególnych 3 tranzystorów (pojedynczy BJT, MOSFET, IGBT) jako łączników w układach mocy pod kątem obwodu mocy (głównego) i pod kątem obwodu sterowania oraz wynikające stąd potencjalne obszary zastosowań, z uwzględnieniem różnych wartości prądu obciążenia; argumenty na rzecz stosowania tranzystorów BJT.  
(zob. sprawozdanie)