

Podzespoły i układy scalone mocy

Ćwiczenie A6. Modele cieplne (2.1.0)

opracowanie: Łukasz Starzak

Literatura:

- [1] Starzak Ł.: *Podzespoły i układy scalone mocy*. Wykład.
- [2] Starzak Ł.: *Laboratorium przyrządów i układów mocy. Ćwiczenie 6. Bezpieczna praca przyrządów półprzewodnikowych*.
- [3] Starzak Ł.: *Laboratorium przyrządów i układów mocy. Ćwiczenie 3A. Tranzystory MOSFET*.
- [4] Starzak Ł.: *Komputerowe projektowanie układów elektronicznych. Wykład 3*.
<<http://neo.dmcs.p.lodz.pl/kpuesz/>>.
- [5] Nowak M., Barlik R.: *Poradnik inżyniera energoelektronika*. WNT, 1998.

1. Ze strony producenta przyrządów półprzewodnikowych mocy www.vishay.com pobrać kartę katalogową (*datasheet*) oraz kartę parametrów modeli termicznych RC (*RC thermal model parameters*) dla tranzystora podanego przez prowadzącego.
2. Uruchomić pakiet MicroSim zgodnie z instrukcją dostępną na stanowisku, tworząc nowy projekt.
3. W programie Schematics:
 - a) wprowadzić cieplny model tranzystora złącze-obudowa (tj. nie złącze-otoczenie) w postaci sieci RC w konfiguracji Cauera (*filter* [1], patrz karta katalogowa; napis „ambient” nie jest ogólnie poprawny – powinien tu występować odpowiedni nagłówek kolumny z tabeli poniżej);
 - b) dodać model temperatury obudowy T_c w postaci źródła [1, 2] (uwzględniając, że wprowadzona sieć RC zastępuje rezystancję cieplną $R_{th(j-c)}$ modelu czysto rezystancyjnego), przyjmując wartość stałą 100 °C;
 - c) dodać model mocy wydzielanej w tranzystorze P_d w postaci źródła [1, 2] przebiegu prostokątnego (*pulse*) [4]; źródło powinno modelować wyłącznie stany statyczne (tj. wyłączenia i załączenia), przy czym należy przyjąć, że:
 - w stanie wyłączenia moc wydzielana jest zerowa,
 - w stanie załączenia przez tranzystor płynie prąd I_D równy znamionowemu (maksymalnemu dopuszczalnemu) dla $T_c = 100$ °C, zaś temperatura złącza T_j jest równa maksymalnej dopuszczalnej [3],
 - czasy narastania i opadania wynoszą 10 ns,
 - czas trwania impulsu wynosi 1 s,
 - impuls nie jest powtarzany (co oznacza, że należy wpisać zerowy okres);
 - d) w ramach tego samego schematu utworzyć dwa inne modele cieplne (złącze-obudowa) tego samego tranzystora [1, 2]:
 - z impedancją cieplną $Z_{th(j-c)}$ (zwykły rezystor w miejsce rezystancji cieplnej $R_{th(j-c)}$), której wartość należy odczytać z charakterystyki w karcie katalogowej (pojedynczy impuls – *single pulse*, zwracając uwagę, czy podana jest wartość bezwzględna, czy znormalizowana [1, 2]),
 - z rezystancją cieplną $R_{th(j-c)}$, której wartość należy odczytać z karty katalogowej;

przy czym:

- w obu modelach wartość temperatury obudowy T_c musi być taka sama,
- w obu modelach przebieg mocy wydzielanej P_d musi być taki sam, co najpewniej można uzyskać z użyciem odpowiedniego źródła sterowanego prądem źródła z pierwszego modelu.

4. Wykonać symulację stanów przejściowych w funkcji czasu:

- a) w oknie ustawień symulacji upewnić się, że opcja „Skip initial transient solution” nie jest zaznaczona;
- b) wykreślić przebieg potencjału odpowiadającego temperaturze złącza T_j w każdym z trzech modeli;
- c) czas trwania symulacji ustalić eksperymentalnie w taki sposób, aby nastąpiło ustalenie się wszystkich wykreślonych przebiegów.

5. Odczytać, jaką wartość przyjmuje temperatura złącza T_j po ustaleniu. Czy jest ona taka sama dla wszystkich modeli? Czy ma ona wartość zgodną z przewidywaniami, których można dokonać wiedząc, w jaki sposób ustalono wartość amplitudy mocy wydzielanej P_d w pkt. 3c)?

6. Powtórzyć symulację:

- a) nadal dla pojedynczego impulsu (zerowy okres źródła), ale dla różnych wartości czasu trwania impulsu z zakresu, w którym w karcie katalogowej podana jest charakterystyka impedancji cieplnej, przy czym w każdym przypadku:
 - odpowiednio zmienić (zgodnie z charakterystyką podaną w karcie katalogowej) wartość impedancji cieplnej $Z_{th(j-c)}$,
 - odpowiednio dobrać czas symulacji,
 - odczytać i zanotować maksymalną wartość temperatury złącza $T_{j(max)}$ wykazywaną w każdym z 3 modeli,
 - zapisać wykres z widocznymi 3 przebiegami temperatury złącza T_j ;
- b) dla impulsów powtarzanych o współczynniku wypełnienia $D = 0,2$, poza tym prowadząc symulację tak jak w podpunkcie a), pamiętając szczególnie o:
 - odpowiedniej modyfikacji okresu powtarzania impulsów,
 - doborze czasu symulacji tak, aby nastąpiło ustalenie się wszystkich 3 przebiegów.

7. Przeanalizować wyniki z pkt. 6:

- a) zebrać w tabeli zanotowane wartości maksymalne temperatury złącza $T_{j(max)}$;
- b) czy i dla jakich wartości parametrów impulsu wyniki z modeli opartych na impedancji cieplnej Z_{th} i na rezystancji cieplnej R_{th} były zbieżne z wynikami z modelu opartego na sieci $R_{th}C_{th}$ (uwzględniając rozrzut i ograniczoną dokładność odczytu parametrów katalogowych) pod względem:
 - wartości chwilowych (przebiegu)?
 - wartości maksymalnej?
- c) dla każdego przypadku obliczyć z definicji (tj. z odpowiedniej postaci prawa Fouriera przewodnictwa cieplnego [1, 2]) wartość impedancji cieplnej $Z_{th(j-c)}$ w oparciu o wyniki uzyskane dla modelu opartego na sieci $R_{th}C_{th}$;
- d) wykreślić charakterystykę impedancji cieplnej $Z_{th(j-c)}$ w funkcji współczynnika wypełnienia D dla dwu jego wartości (0 – pojedynczy impuls oraz 0,2) i porównać ją z

charakterystyką katalogową.

8. Usunąć ze schematu modele oparte na impedancji cieplnej Z_{th} i na rezystancji cieplnej R_{th} ; zapisać tak otrzymany schemat w nowym pliku. Częstotliwość powtarzania zmienić na 10 kHz pozostawiając współczynnik wypełnienia $D = 0,2$.
9. Wyznaczyć maksymalną dopuszczalną amplitudę impulsów mocy $P_{d(m)}$, tj. taką, która nie powoduje jeszcze przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej temperatury złącza $T_{j(max)}$:
 - a) eksperymentalnie – zmieniając wartość $P_{d(m)}$ w symulatorze (amplituda przebiegu źródła); zapisać uzyskany wykres;
 - b) obliczając na podstawie podanej w katalogu wartości impedancji cieplnej $Z_{th(j-c)}$ [1, 2];
 - c) obliczając na podstawie podanej w katalogu wartości rezystancji cieplnej $R_{th(j-c)}$ [1, 2] (moc średnią należy obliczyć na podstawie znanych amplitudy impulsu $P_{d(m)}$ i współczynnika wypełnienia);
 - d) porównać otrzymane wyniki:
 - ocenić poprawność modeli opartych na impedancji cieplnej Z_{th} i na rezystancji cieplnej R_{th} przyjmując, że model oparty na sieci $R_{th}C_{th}$ daje wynik poprawny,
 - ile wynosi względna różnica między wartością maksymalną a średnią przyrostu temperatury złącza względem temperatury odniesienia, tj. obudowy, a więc $(T_{j(max)} - T_c)/(T_{j(av)} - T_c)$?
 - czy w rozpatrywanym przypadku dla zapewnienia bezpieczeństwa cieplnego przyrządu uzasadnione byłoby użycie współczynnika korekcyjnego 1,1?
 - e) powtórzyć powyższe czynności dla częstotliwości powtarzania 100 Hz i 100 kHz (przy niezmiennym współczynniku wypełnienia);
 - f) na podstawie wyników uzyskanych dla trzech częstotliwości stwierdzić, czy i jakie są ograniczenia stosowalności modelu opartego na impedancji cieplnej Z_{th} i modelu opartego na rezystancji cieplnej R_{th} .
10. Zmodyfikować model cieplny tak, by uwzględnił obecność radiatora oraz że stała jest nie temperatura obudowy T_c , ale otoczenia T_a [1]:
 - dodać rezystancję cieplną kontaktu $R_{th(c-s)}$ (zgodnie z kartą katalogową) i radiatora $R_{th(s-a)}$ [1, 2] (jako pierwszą wartość można wpisać rezystancję cieplną $R_{th(j-a)}$ tranzystora zgodnie z kartą katalogową),
 - za pośrednictwem źródła wymusić obecnie temperaturę otoczenia $T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 - przywrócić częstotliwość powtarzania 10 kHz, pozostawiając współczynnik wypełnienia $D = 0,2$.
11. Wyznaczyć rezystancję cieplną radiatora $R_{th(s-a)}$ niezbędną do uzyskania bezpiecznych warunków pracy przyrządu jak w pkt. 9, dla częstotliwości 10 kHz [wpisać na stałe wyznaczoną wówczas doświadczalnie, w pkt. a), amplitudę mocy wydzielanej $P_{D(m)}$]:
 - a) eksperymentalnie (bez przesadnej dokładności) – zmieniając wartość rezystancji cieplnej $R_{th(s-a)}$ w symulatorze (pozostawiając bez zmian wszelkie inne parametry); zapisać uzyskany ostatecznie wykres temperatur T_j i T_c ;
 - b) obliczając na podstawie podanej w katalogu wartości rezystancji cieplnej $R_{th(j-c)}$ [1, 2];
 - c) ocenić słuszność modelu opartego na rezystancji cieplnej R_{th} w tym przypadku.