

Specyfikacja projektu: "Działanie Tranzystora"

Zespół FormatC: Aleksander Szpakiewicz-Szatan (261622), Łukasz Krzysztofik (261615)

1 Działanie Modelu

1.1 Model matematyczny

Symulacja ma obliczać płynące prądy w tranzystorze bipolarnym w zależności od napięć między złączami. Jako model matematyczny przyjęto (dla tranzystora bipolarnego) schemat hybrydowy. W nim napięcie baza-emiter i prąd kolektora wyrażają się poprzez układ równań:

$$U_{BE} = h_{11} \cdot I_B + h_{12} \cdot U_{CE} \quad (1)$$

$$I_C = h_{21} \cdot I_B + h_{22} \cdot U_{CE} \quad (2)$$

Gdzie U_{BE} - napięcie baza-emiter, I_B - prąd bazy, U_{CE} - napięcie kolektor-emiter, I_C - prąd kolektora, h_{xx} - elementy macierzy hybrydowej.

Równanie (1) można przekształcić do postaci:

$$I_B = \frac{U_{BE} - h_{12} \cdot U_{CE}}{h_{11}} \quad (3)$$

Prąd emitera jest równy sumie prądu bazy i prądu kolektora:

$$I_E = I_B + I_C \quad (4)$$

Na podstawie równań 2, 3 i 4 można obliczyć wszystkie prądy w układzie.

Macierzą hybrydową nie można jednak przybliżyć zakresu nieliniowej pracy tranzystora, dlatego dla napięcia baza-emiter niższego od napięcia nasycenia tranzystor będzie liczył prąd bazy korzystając ze wzoru:

$$I_B = I_{Bsat} \cdot \left(e^{\frac{U_{BE}}{m \cdot U_T}} - 1 \right) \quad (5)$$

Gdzie I_{Bsat} - natężenie nasycenia (wartość natężenia prądu dla napięcia nasycenia obliczona metodą macierzową), U_T - napięcie termiczne ($\approx 26\text{mV}$ dla 300K), U_{BE} - napięcie baza-emiter, m - współczynnik poprawiający dokładność $\neq 1$, (dla BC107 $m=5$, dla pozostałych tranzystorów przyjęto $m=10$).

Dla napięć baza-emiter wyższych niż napięcie nasycenia będzie do obliczonego metodą hybrydową natężenia prądu bazy będzie dodawał nieliniowo obliczone napięcie prądu bazy dla napięcia baza-emiter nasycenia:

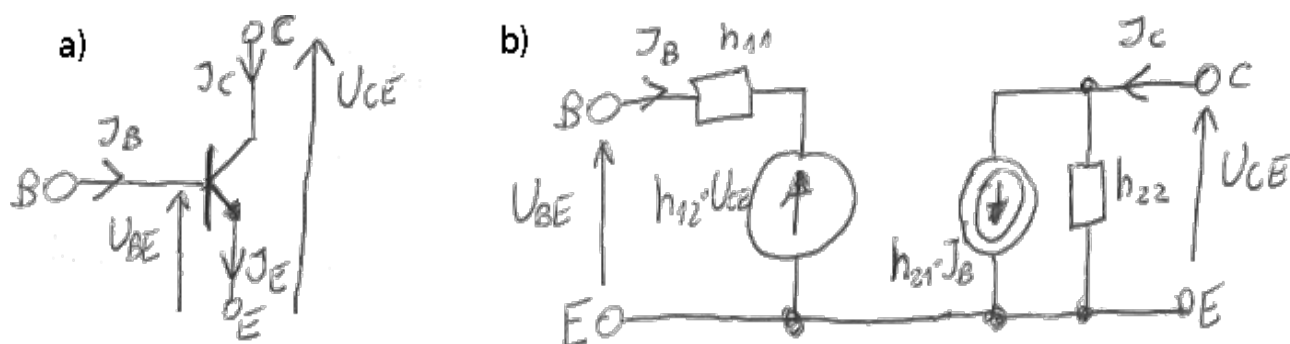
$$I_B = \frac{U_{BE} - h_{12} \cdot U_{CE}}{h_{11}} + I_B(U_{BEsat}) \quad (6)$$

1.2 Metoda symulacji

Program będzie rozwiązywał układ trzech równań (dla napięcia baza-emiter poniżej U_{BEsat} (2), (4) i (5) oraz dla napięcia baza-emiter powyżej U_{BEsat} (2), (4) i (6)) na podstawie wprowadzonych parametrów macierzy h tranzystora oraz U_{BEsat} i I_{Bsat} (z noty katalogowej), podanych początkowych napięć kolektor-emiter, baza-emiter, liczby kroków zmian napięć kolektor-emiter, baza-emiter i przyrostów tych napięć na krok symulacji.

Przykładowo dla 1000 kroków zmian napięcia kolektor-emiter i 100 kroków zmian napięcia baza-emiter program obliczy 100 000 wartości natężeń prądów bazy, kolektora i emitera. Zaś jeśli użytkownika będą interesować jedynie wpływ zmian jednego z napięć, to ustawi on zerową liczbę kroków dla napięcia drugiego.

Jednocześnie program będzie sprawdzał czy nie została przekroczona któraś z wartości dopuszczalnych (napięcia bądź natężenia) skutkująca uszkodzeniem tranzystora, jeśli tak się stanie to przerwie symulację i wyświetli stosowny komunikat.



Rys 1 - Symulowany tranzystor z oznaczonymi napięciami i prądami a) symbol tranzystora, b) przybliżenie macierzą hybrydową. Oznaczenia: C - kolektor, B - baza, E - emiter, U_{CE} - napięcie kolektor -emiter, U_{BE} - napięcie baza-emiter, I_C - prąd kolektora, I_B - prąd bazy, I_E - prąd emitera, h_{11} - rezystancja wejściowa, h_{12} - transmitancja zwrotna rezystora o rozwartym wejściu, h_{21} - wzmacnienie prądowe tranzystora przy zwartym wyjściu, h_{22} - przewosność wyjściowa tranzystora przy rozwartym wyjściu.

2. Interfejs użytkownika

Interfejs użytkownika zawiera trzy obszary:

1. i 2. Jednocześnie wyświetlane dwa wykresy obrazujące zmianę prądów w zależności od zmiany napięć (możliwość wyświetlenia zależności dowolnego prądu od dowolnego napięcia, jednoczesne wyświetlenie dwóch różnych wykresów znacząco podniesie komfort pracy, bo nie będzie trzeba ich co chwilę przełączać).
3. Obszar z nastawami

Obszar z nastawami zezwoli na ustawienie następujących parametrów symulacji:

- Początkowe napięcie baza-emiter
- Początkowe napięcie kolektor-emiter
- Wybór ilości kroków dla napięcia baza-emiter
- Wybór ilości kroków dla napięcia kolektor-emiter
- Wybór przyrostu napięcia baza-emiter na krok.
- Wybór przyrostu napięcia kolektor-emiter na krok.
- Parametrów macierzy hybrydowej (h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22})
- Maksymalnych dopuszczalnych wartości napięć i natężeń tranzystora.
- Wyboru parametrów wyświetlanych wykresów 1 i 2 (jakie są wyświetlane napięcia i natężenia, ustalona wartość drugiego z napięć).

Ponadto znajdować się będą przyciski umożliwiające:

- Wczytania parametrów z gotowej karty katalogowej istniejącego tranzystora (np. z pliku w formacie .csv, kilka będzie przygotowanych i dołączonych do programu)
- Możliwość zapisania wybranych parametrów jako nowej karty katalogowej (np. w formacie .csv)
- Możliwość wyeksportowania wyników symulacji do pliku (np. w formacie .csv)
- Przycisk **START**.

Naciśnięcie przycisku START skutkuje rozpoczęciem symulacji, obliczeniem wszystkich prądów dla wszystkich napięć dla każdego kroku oraz rysowaniem wybranych wykresów.

Wykres 1

Wykres 2

Nastawy:

Wykres 1

OX

OY

Parametr V

Wykres 2

OX

OY

Parametr V

Napięcie którego nie wybrano
jako OX (program podaje jego nazwę)

Początkowe napięcie UCE V

Początkowe Napięcie UBE V

Ilość kroków UCE

Ilość kroków UBE

Przyrosty UCE V

Przyrosty UBE V

UCEmax V

UBEmax V

UCBmax V

ICmax A

IBmax A

IEmax A

h11 Ω

h21

h12

h22 S

Wczytaj tranzystor

Zapisz tranzystor

Język Language

START
STOP

Zapisz wyniki

Rysunek 1 - zamysł GUI

3. Punktacja

Docelowo zamierzamy otrzymać:

1 pkt Program wykorzystuje wzory fizyki z poziomu Podstaw Fizyki

2 pkt Za pomocą interfejsu programu można sterować wszystkimi istotnymi parametrami symulacji, oraz są przynajmniej cztery takie parametry.

2 pkt Wyniki wyświetlane są kilku różnych wykresach, --- między którymi mogę przełączać 1-2pkt

1 pkt Wykresy są animowane (tj. zmieniają się w czasie obliczeń)

1 pkt Będzie można pobrać wyniki pomiarów jako plik .csv

2 pkt Program symuluje zachowanie kilku "prawdziwych" transystorów (zgodnie z notą katalogową). Symulacja powinna uwzględniać uszkodzenie elementu np. zbyt wysokim natężeniem prądu.

1 pkt Program jest wielojęzyczny

2 pkt Program powstaje w przy użyciu systemu kontroli wersji Git, w publicznym repozytorium, i jest dostępny na licencji open source

Razem punktów 12, ocena 5 i trzy punkty zapasowe

4. Ewentualny dalszy rozwój programu:

- Dodanie symulacji dla tranzystorów polowych.
- Dodanie symulacji dla lamp próżniowych.
- Możliwość symulowania prostych układów wzmacniaczy z wykorzystaniem tych tranzystorów.
- Możliwość obliczania parametrów macierzy h tranzystora na podstawie innych jego parametrów, bądź wyników pomiarów jego charakterystyk wejściowych, przejściowych i wyjściowych.
- Trójwymiarowe wykresy z napięciami U_{CE} i U_{BE} na osiach OX i OZ oraz z wybranym natężeniem (I_B , I_C , I_E) na osi OY .
- Program, w razie przekroczenia dopuszczalnej wartości któregoś z napięć bądź prądów, będzie dalej prowadził symulację uwzględniając zachowanie uszkodzonego tranzystora.