

МАТЕМАТИЧА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

*Смолянінов В. Г., к.т.н., доцент¹; Сухопара О. М., к.т.н., зав. сектором²
¹Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна,
²НВП ТОВ «МТІ», Київ, Україна*

Ефективність функціонування радіоелектронних засобів (РЕЗ) в значній мірі залежить від ефективного перетворенні, передачі та розподілення електроенергії, яке забезпечують перетворювачі напруги, що входять до складу тракту електроживлення РЕЗ.

Задача дослідження полягає в розробці базової структури напівпровідникового перетворювача напруги (НПН), визначення його місця в тракті перетворення енергії, знаходження зручної форми представлення еквівалентної схеми заміщення при побудова математичної моделі НПН (ММ НПН) та визначення вторинних параметрів, коефіцієнтів передачі струму та напруги.

Для побудови ММ НПН треба визначити базову структуру та еквівалентні схеми її заміщення. Базова структура повинна містити в собі керуючий елемент та коло зворотнього зв'язку з датчиком струму в колі навантаження, джерело опорного струму, компаратор для порівняння поточного значення струму з опорним, а також комутуючий елемент для керування струмом навантаження.

Таким чином, базова структура НПН, контролююча струм в РЕЗ буде містити: ключовий елемент (КЕ), для підвищення ККД перетворювача, виконаний по схемі Дарлінгтона з потужним транзистором VT1, для комутації великих струмів навантаження; датчика струму (Рдт); амплітудного детектора (АД), виконуючого функцію опорного джерела; компаратора (АК), для порівняння поточного з Рдт та опорного значень струму навантаження. Вихід компаратора з'єднується з керуючим електродом КЕ.

Зобразимо НПН, як чотирьохполюсник та розмістимо його між джерелом живлення та навантаженням. Зручність зображення НПН у вигляді чотирьохполюсника, дозволяє використати теорію схем та застосувати теорію n-полюсників [1], що дає можливість обчислити внутрішні параметри електронних ланцюгів будь-якого ступеня складності, а також розв'язати складний n-полюсник, як з'єднання більш простих n-полюсників.

З теорії кіл [1], співвідношення між струмом та напругою на вході та виході чотирьохполюсника можливо визначити у відомих шести формулах [A], [B], [H], [G], [Y], [Z]. Найбільш доцільна для нашого розгляду форма [A], яка використовується у випадку передачі електричної енергії від вхідних затискувачів до вихідних, коефіцієнти якої A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} можливо знайти використати визначник та алгебраїчні доповнення матриці схеми. Щоб отримати матрицю схеми із базової структури НПН, використаємо

метод еквівалентних схем [2], який дозволяє звести будь-яку електронну схему до схеми з двополюсними пасивними елементами та залежними джерелами струму або напруги.

На низьких частотах еквівалентну схему біполярного транзистора можна подати Т-схемою заміщення, із залежним джерелом струму або напруги [2], а операційний підсилювач (ОП), керуючий елемент базової структури, зобразимо як залежне джерело струму, що керується напругою (ЗДСКН) [3], для якого струм навантаження не залежить від вихідної напруги і керується тільки вхідною напругою. З урахуванням вище наведеного, зробимо перетворення базової структури НПН та отримаємо еквівалентні схеми, які використаємо в математичній моделі для аналізу енергетичних характеристик НПН при різних режимах роботи транзисторів комутуючого елемента.

Для того, щоб отримати еквівалентні схеми НПН (ЕС НПН), зробимо заміну активних елементів базової структури та запишемо для ЕС НПН матрицю провідності за допомогою узагальненого методу вузлових напруг [1,2] виконавши наступні операції: один з вузлів обираємо в якості базового, а інші нумеруємо; запишемо матрицю провідності без урахування багатополюсних елементів (транзисторів та операційних підсилювачів); запишемо в матрицю провідності багатополюсні елементи та відповідні елементи матриць багатополюсників, з урахування положення, які вони займають у еквівалентній схемі; визначимо вхідні та вихідні полюса схеми та запишемо рівняння для відшукуємої функції.

Після знаходження коефіцієнтів чотирьохполюсника A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} ММ НПН, можливо визначити параметри вхідного джерела живлення РЕЗ

$$U_1 = A_{11} \cdot U_2 + A_{12} \cdot I_2 = \frac{\Delta_{aa}}{\Delta_{ab}} U_2 + \frac{\Delta_{aa,bb}}{\Delta_{ab}} I_2 \quad (1)$$

$$I_1 = A_{21} \cdot U_2 + A_{22} \cdot I_2 = \frac{\Delta}{\Delta_{ab}} U_2 + \frac{\Delta_{bb}}{\Delta_{ab}} I_2 \quad (2)$$

де U_1 , I_1 — напруга та струм вхідного джерела живлення; U_2 , I_2 — напруга та струм на навантаженні РЕЗ; a — індекс вхідного вузла; b — індекс вихідного вузла.

Вирази (1) та (2), дозволяють визначити енергетичні характеристики джерела живлення, які забезпечать необхідні електричні параметри на навантаженні РЕЗ.

Аналіз енергетичних характеристик тракту перетворення енергії за допомогою ММ НПН, зручно виконати через зміну вторинних параметрів еквівалентної схеми прив'язаної до чотирьохполюсника, крізь визначник та алгебраїчні доповнення матриці провідності. Так як матриця провідності квадратична n -го порядку то найбільш доцільно знаходити її визначник та алгебраїчні доповнення числовими методами з використанням ЕОМ.

В якості вторинних параметрів НПН будемо розглядати коефіцієнти передачі напруги (K_u) та струму (K_i) [2], які визначимо за допомогою

$$K_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_H}{A_{12} + A_{11}Z_H} = \frac{\Delta_{ab} Z_H}{\Delta_{aa,bb} + \Delta_{aa} Z_H} \quad (3)$$

$$K_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{A_{22} + A_{21}Z_H} = \frac{\Delta_{ab}}{\Delta_{bb} + \Delta Z_H} \quad (4)$$

де Z_H — повний опір кола навантаження.

Для базової структури НПН, після аналізу її роботи, та розгляду математичної моделі, $K_i=1$, у всіх режимах роботи транзисторів КЕ, так як весь струм передається від джерела живлення до навантаження. За цієї умови у виразі (4) відбувається вибір параметрів операційного підсилювача, який задовольняє цим параметрам. При цьому, по заданому струму в навантаженні та величині навантаження, обираємо транзистори КЕ, параметри яких у виразі (3), використаємо для розрахунку K_u . За умови передачі усього вхідного струму на вихід чотирьохполюсника, основним параметром визначаючим енергетичні характеристики НПН, як джерела живлення РЕЗ, стає коефіцієнт передачі напруги K_u . За допомогою отриманого виразу (3) проводимо математичні розрахунки які відображають зміну величини живлючої напруги РЕЗ в функції K_u , ($U_1=U_2/K_u$).

Таким чином, ММ НПН в тракці перетворення енергії потребує розробки базової структура НПН, яка враховує схемотехнічні параметри та режими роботи керуючих елементів перетворювача напруги, розробки еквівалентних схем для різних режимів роботи транзисторів КЕ НПН і визначення для них матриці провідності, що дозволяє застосувати в тракці перетворення енергії, чотирьохполюсник в формі [А], коефіцієнти якого використовуються для знаходження електричних параметрів джерела живлення та навантаження РЕЗ.

Література

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники / Г. И. Атабеков — М.: Л. : Энергия, 1964. — Ч.1. — 312с.
2. Сигорский В. П. Основы теории электронных схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко — К. : Техника, 1971. — 568с.
3. Калниболотский Ю. М. Проектирование электронных схем / Ю. М. Калниболотский, В. С. Рысин — К. : Техніка, 1976. — 143с.

Анотація

В роботі показана можливість побудови напівпровідникового перетворювача напруги для визначення енергетичних характеристик і електричних параметрів джерела живлення радіоелектронних засобів.

Ключові слова: математична модель, базова структура, еквівалентна схема.

Аннотация

В работе показан процесс построения математической модели полупроводникового преобразователя напряжения для определения энергетических характеристик и электрических параметров источника питания радиоэлектронных схем.

Ключевые слова: математическая модель, базовая структура, эквивалентная схема

Abstract

The mathematic model of the semiconductor converter voltage for radioelectronic means. This paper is dedicated to providing the construct process of the mathematic model of the converter voltage for the connection source energy with execution devices.

Key words: mathematic model, fundamental structure, the equivalent scheme.