# Моделювання станів транзистора 2Т909Б

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Кафедра КЕОА

Розрахунково-графічна контрольна робота

з курсу:

**«Моделювання станів транзистора 2Т909Б»**

Об’єкт дослідження

Кремнієвий епітаксіально-планарний транзистор n-p-n типу 2Т909Б. Залежність струму колектора (Iк, А) від напруги колектор-емітер (Uке, В) і струму бази (Iб, А).

|  |  |
| --- | --- |
| Структура | n-p-n |
| Макс. напр. к-е при заданному тоці и заданному сопр. в цепи б-э.(Uкэr макс),В | 60 |
| Максимально допустимий ток к (Iк макс,А) | 4 |
| Гранична частота коефіціента передачі тока fгр,МГц | 500.00 |
| Максимальна розсіювальна потужність (Рк,Вт) | 54 |
| Корпус | KT-15 |

Мета дослідження

Дослідити характер залежності струму колектора Iк від напруги на колекторно-емітерному переході Uке і струму бази Іб для вихідних ВАХ транзистора.

Актуальність дослідження

Транзистори широко використовуються в електронних приладах в якості підсилювачів. Вони виготовляються з метою застосування в якійсь конкретній області. Досліджуваний транзистор 2Т909Б (потужний, високочастотний, кремніевий, епитаксиально-планарний, структура n-p-n, використовуеться у широкополосних підсилювачів потужності)

Метод дослідження

Дослідження двофакторного виробничого процесу проводиться за допомогою метода регресійного аналізу. Його особливістю є те, що стан технічної системи описують функцією багатьох аргументів. Числове значення функції – параметр оптимізації Y, що залежить від факторів xi, i = 1, 2 …. m, де m – номер фактора. Множина можливих сполучень факторів і їхніх значень визначає множину станів технічної системи.

Факторами можуть бути як незалежні змінні так і функції одного або декількох факторів (повнофакторний регресійний аналіз).

Функціональний зв’язок параметру Y з факторами xi моделюють поліномом (рівнянням регресії):

Y = b0 + b1x1 + b2x2 +...+ bnxn + b12x1x2 + b13 x1x3 +…bn-1,n xn-1xn+ …+ bn+kx12 + bn+k+1x22 + … + bmxn2 + … = b0 + b1x1 + b2x2 +... + bnxn +... + bmxm +… (1),

де      x1, x2, x3,..., xn – фактори,

b0, b1, b2,…, bn – коефіцієнти.

Коефіцієнти регресії bi визначають, виходячи з критерію мінімізації суми квадратів різниці між експериментально встановленими значеннями параметра yj і модельним значенням параметра yjmod у всіх експериментальних точках j = 1, 2, 3... N, де N – кількість дослідів. Необхідною умовою існування мінімуму є рівність . Вона визначає наявність екстремуму функції похибки апроксимації . Оскільки верхньої межі функція  не має (похибка може бути як завгодно великою), умова  є достатньою умовою існування мінімуму. Рівність нулю частинних похідних  визначає систему n рівнянь з n невідомими, якими є коефіцієнти bi рівняння регресії. Після розкриття дужок, зведення подібних членів і перегрупування одночленів система рівнянь набуває вигляду:



Ліву частину системи рівнянь можна представити добутком трьох матриць (XTX)B, а праву добутком двох матриць XTY,

де      Х – матриця умов,

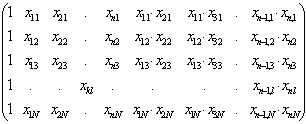
XT – транспонована матриця Х,

В – матриця коефіцієнтів,

Y – матриця результатів (матриця станів),

xkl – значення k-го фактора в l-му досліді.

X = , B = , Y = .



У матричному вигляді систему записують рівнянням (XTX)B = XTY. З останнього рівняння очевидно, що коефіцієнти bi визначаються як , де (XTX)-1 – обернена матриця (XTX). Дисперсію моделювання оцінюють за формулою:



δмод2 = ,



де      N - кількість дослідів,

d – кількість значущих коефіцієнтів моделі

k – кратність дублювання дослідів

Експериментальні дані та їх обробка

Математичну модель процесу представимо у вигляді полінома, а саме:

Y’ = b0 + b1 Uке + b2 Iб + b3 Uке Iб + b4 Uке2 + b5 Iб2+ b6 Uке2 Iб + b7 Iб2 Uке +

+ b8 Uке2 Iб2,

де               Y’ – розрахункове значення струму колектора Ік (мА),

b0, b1 … – коефіцієнти поліному,

Uке – напруга на колекторно-емітерному переході (В),

Iб – струм бази Іб (мА).

Сімейство ВАХ транзистора 2Т909Б має наступний вигляд (рис.1)

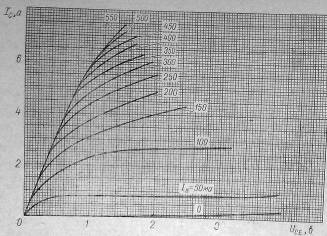


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики транзистора 2Т909Б.

Отримані експериментальні данні наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Експериментальна залежність ІК (мА) від ІБ та UКЕ для транзистора 2Т909Б

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x0 | x1(Iб) | x2(Uк-э) | x1\*x2 | X1^2 | x2^2 | x1\*x2^2 | x1^2\*x2 | (x1\*x2)^2 | Y |
| 1 | 0,05 | 0,2 | 0,01 | 0,0025 | 0,04 | 0,002 | 0,0005 | 0,0001 | 0,5 |
| 1 | 0,05 | 0,4 | 0,02 | 0,0025 | 0,16 | 0,008 | 0,001 | 0,0004 | 0,7 |
| 1 | 0,05 | 0,6 | 0,03 | 0,0025 | 0,36 | 0,018 | 0,0015 | 0,0009 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 0,8 | 0,04 | 0,0025 | 0,64 | 0,032 | 0,002 | 0,0016 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 1 | 0,05 | 0,0025 | 1 | 0,05 | 0,0025 | 0,0025 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 1,2 | 0,06 | 0,0025 | 1,44 | 0,072 | 0,003 | 0,0036 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 1,4 | 0,07 | 0,0025 | 1,96 | 0,098 | 0,0035 | 0,0049 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 1,6 | 0,08 | 0,0025 | 2,56 | 0,128 | 0,004 | 0,0064 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 1,8 | 0,09 | 0,0025 | 3,24 | 0,162 | 0,0045 | 0,0081 | 0,8 |
| 1 | 0,05 | 2 | 0,1 | 0,0025 | 4 | 0,2 | 0,005 | 0,01 | 0,8 |
| 1 | 0,1 | 0,2 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,004 | 0,002 | 0,0004 | 1 |
| 1 | 0,1 | 0,4 | 0,04 | 0,01 | 0,16 | 0,016 | 0,004 | 0,0016 | 1,5 |
| 1 | 0,1 | 0,6 | 0,06 | 0,01 | 0,36 | 0,036 | 0,006 | 0,0036 | 1,8 |
| 1 | 0,1 | 0,8 | 0,08 | 0,01 | 0,64 | 0,064 | 0,008 | 0,0064 | 2,1 |
| 1 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,01 | 1 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 2,3 |
| 1 | 0,1 | 1,2 | 0,12 | 0,01 | 1,44 | 0,144 | 0,012 | 0,0144 | 2,5 |
| 1 | 0,1 | 1,4 | 0,14 | 0,01 | 1,96 | 0,196 | 0,014 | 0,0196 | 2,6 |
| 1 | 0,1 | 1,6 | 0,16 | 0,01 | 2,56 | 0,256 | 0,016 | 0,0256 | 2,7 |
| 1 | 0,1 | 1,8 | 0,18 | 0,01 | 3,24 | 0,324 | 0,018 | 0,0324 | 2,7 |
| 1 | 0,1 | 2 | 0,2 | 0,01 | 4 | 0,4 | 0,02 | 0,04 | 2,7 |
| 1 | 0,15 | 0,2 | 0,03 | 0,0225 | 0,04 | 0,006 | 0,0045 | 0,0009 | 1,2 |
| 1 | 0,15 | 0,4 | 0,06 | 0,0225 | 0,16 | 0,024 | 0,009 | 0,0036 | 2 |
| 1 | 0,15 | 0,6 | 0,09 | 0,0225 | 0,36 | 0,054 | 0,0135 | 0,0081 | 2,5 |
| 1 | 0,15 | 0,8 | 0,12 | 0,0225 | 0,64 | 0,096 | 0,018 | 0,0144 | 2,9 |
| 1 | 0,15 | 1 | 0,15 | 0,0225 | 1 | 0,15 | 0,0225 | 0,0225 | 3,1 |
| 1 | 0,15 | 1,2 | 0,18 | 0,0225 | 1,44 | 0,216 | 0,027 | 0,0324 | 3,3 |
| 1 | 0,15 | 1,4 | 0,21 | 0,0225 | 1,96 | 0,294 | 0,0315 | 0,0441 | 3,5 |
| 1 | 0,15 | 1,6 | 0,24 | 0,0225 | 2,56 | 0,384 | 0,036 | 0,0576 | 3,7 |
| 1 | 0,15 | 1,8 | 0,27 | 0,0225 | 3,24 | 0,486 | 0,0405 | 0,0729 | 3,9 |
| 1 | 0,15 | 2 | 0,3 | 0,0225 | 4 | 0,6 | 0,045 | 0,09 | 4 |
| 1 | 0,2 | 0,2 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,008 | 0,008 | 0,0016 | 1,2 |
| 1 | 0,2 | 0,4 | 0,08 | 0,04 | 0,16 | 0,032 | 0,016 | 0,0064 | 2,6 |
| 1 | 0,2 | 0,6 | 0,12 | 0,04 | 0,36 | 0,072 | 0,024 | 0,0144 | 3 |
| 1 | 0,2 | 0,8 | 0,16 | 0,04 | 0,64 | 0,128 | 0,032 | 0,0256 | 3,4 |
| 1 | 0,2 | 1 | 0,2 | 0,04 | 1 | 0,2 | 0,04 | 0,04 | 3,8 |
| 1 | 0,2 | 1,2 | 0,24 | 0,04 | 1,44 | 0,288 | 0,048 | 0,0576 | 4 |
| 1 | 0,2 | 1,4 | 0,28 | 0,04 | 1,96 | 0,392 | 0,056 | 0,0784 | 4,3 |
| 1 | 0,2 | 1,6 | 0,32 | 0,04 | 2,56 | 0,512 | 0,064 | 0,1024 | 4,5 |
| 1 | 0,2 | 1,8 | 0,36 | 0,04 | 3,24 | 0,648 | 0,072 | 0,1296 | 4,7 |
| 1 | 0,2 | 2 | 0,4 | 0,04 | 4 | 0,8 | 0,08 | 0,16 | 4,9 |
| 1 | 0,25 | 0,2 | 0,05 | 0,0625 | 0,04 | 0,01 | 0,0125 | 0,0025 | 1,2 |
| 1 | 0,25 | 0,4 | 0,1 | 0,0625 | 0,16 | 0,04 | 0,025 | 0,01 | 2,6 |
| 1 | 0,25 | 0,6 | 0,15 | 0,0625 | 0,36 | 0,09 | 0,0375 | 0,0225 | 3,5 |
| 1 | 0,25 | 0,8 | 0,2 | 0,0625 | 0,64 | 0,16 | 0,05 | 0,04 | 4 |
| 1 | 0,25 | 1 | 0,25 | 0,0625 | 1 | 0,25 | 0,0625 | 0,0625 | 4,4 |
| 1 | 0,25 | 1,2 | 0,3 | 0,0625 | 1,44 | 0,36 | 0,075 | 0,09 | 4,7 |
| 1 | 0,25 | 1,4 | 0,35 | 0,0625 | 1,96 | 0,49 | 0,0875 | 0,1225 | 4,9 |
| 1 | 0,25 | 1,6 | 0,4 | 0,0625 | 2,56 | 0,64 | 0,1 | 0,16 | 5,2 |
| 1 | 0,25 | 1,8 | 0,45 | 0,0625 | 3,24 | 0,81 | 0,1125 | 0,2025 | 5,4 |
| 1 | 0,25 | 2 | 0,5 | 0,0625 | 4 | 1 | 0,125 | 0,25 | 5,5 |
| 1 | 0,3 | 0,2 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,012 | 0,018 | 0,0036 | 1,2 |
| 1 | 0,3 | 0,4 | 0,12 | 0,09 | 0,16 | 0,048 | 0,036 | 0,0144 | 2,6 |
| 1 | 0,3 | 0,6 | 0,18 | 0,09 | 0,36 | 0,108 | 0,054 | 0,0324 | 3,8 |
| 1 | 0,3 | 0,8 | 0,24 | 0,09 | 0,64 | 0,192 | 0,072 | 0,0576 | 4,4 |
| 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 0,09 | 1 | 0,3 | 0,09 | 0,09 | 4,8 |
| 1 | 0,3 | 1,2 | 0,36 | 0,09 | 1,44 | 0,432 | 0,108 | 0,1296 | 5,2 |
| 1 | 0,3 | 1,4 | 0,42 | 0,09 | 1,96 | 0,588 | 0,126 | 0,1764 | 5,4 |
| 1 | 0,3 | 1,6 | 0,48 | 0,09 | 2,56 | 0,768 | 0,144 | 0,2304 | 5,7 |
| 1 | 0,3 | 1,8 | 0,54 | 0,09 | 3,24 | 0,972 | 0,162 | 0,2916 | 5,9 |
| 1 | 0,35 | 0,2 | 0,07 | 0,1225 | 0,04 | 0,014 | 0,0245 | 0,0049 | 1,2 |
| 1 | 0,35 | 0,4 | 0,14 | 0,1225 | 0,16 | 0,056 | 0,049 | 0,0196 | 2,6 |
| 1 | 0,35 | 0,6 | 0,21 | 0,1225 | 0,36 | 0,126 | 0,0735 | 0,0441 | 3,8 |
| 1 | 0,35 | 0,8 | 0,28 | 0,1225 | 0,64 | 0,224 | 0,098 | 0,0784 | 4,8 |
| 1 | 0,35 | 1 | 0,35 | 0,1225 | 1 | 0,35 | 0,1225 | 0,1225 | 5,3 |
| 1 | 0,35 | 1,2 | 0,42 | 0,1225 | 1,44 | 0,504 | 0,147 | 0,1764 | 5,6 |
| 1 | 0,35 | 1,4 | 0,49 | 0,1225 | 1,96 | 0,686 | 0,1715 | 0,2401 | 5,9 |
| 1 | 0,35 | 1,6 | 0,56 | 0,1225 | 2,56 | 0,896 | 0,196 | 0,3136 | 6,1 |
| 1 | 0,35 | 1,8 | 0,63 | 0,1225 | 3,24 | 1,134 | 0,2205 | 0,3969 | 6,3 |
| 1 | 0,4 | 0,2 | 0,08 | 0,16 | 0,04 | 0,016 | 0,032 | 0,0064 | 1,2 |
| 1 | 0,4 | 0,4 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,064 | 0,064 | 0,0256 | 2,6 |
| 1 | 0,4 | 0,6 | 0,24 | 0,16 | 0,36 | 0,144 | 0,096 | 0,0576 | 3,8 |
| 1 | 0,4 | 0,8 | 0,32 | 0,16 | 0,64 | 0,256 | 0,128 | 0,1024 | 4,9 |
| 1 | 0,4 | 1 | 0,4 | 0,16 | 1 | 0,4 | 0,16 | 0,16 | 5,6 |
| 1 | 0,4 | 1,2 | 0,48 | 0,16 | 1,44 | 0,576 | 0,192 | 0,2304 | 6 |
| 1 | 0,4 | 1,4 | 0,56 | 0,16 | 1,96 | 0,784 | 0,224 | 0,3136 | 6,3 |
| 1 | 0,4 | 1,6 | 0,64 | 0,16 | 2,56 | 1,024 | 0,256 | 0,4096 | 6,6 |

Скористаємося цією таблицею для визначення функції відгуку, яка встановлює аналітичний зв’язок між ІК – параметром оптимізації і незалежними змінними ІБ, UКЕ – факторами. Для цього формуємо матрицю Х – вектор значення факторів, матрицю Y – відгук технічної системи. Далі знаходимо матрицю (ХТ · Х)-1, яка називається матрицею похибок або матрицею коваріацій. Вона має наступний вигляд:

(ХТ \* Х)-1

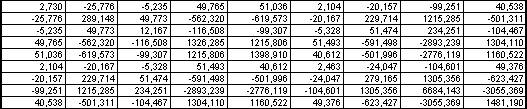


Рис. 2 Матриця коваріацій для моделі

Виходячи з отриманих даних знайдемо коефіцієнти поліному bi. Матриця коефіцієнтів В = (ХТ \* Х)-1 \* (ХT \* Y) має вигляд (рис.3)

|  |  |
| --- | --- |
| B0 | 0,144 |
| B1 | 7,649 |
| B2 | -0,185 |
| B3 | 20,067 |
| B4 | -24,031 |
| B5 | -0,193 |
| B6 | -1,604 |
| B7 | 8,677 |
| B8 | -14,015 |

Рис. 3. Матриця коефіцієнтів В

Отже, математична модель залежності Iк (Uке, Іб) буде представлена наступною функцією:

Y’ = 0,144+ 7,649Iб -0,185 Uке + 20,066Uке Iб – 24.0314Iб2 – 0.193Uке2 –

–1,604Uке2 Iб + 8,677Iб2 Uке – 14,015Uке2 Iб2

Розраховуємо значення ІК по отриманому рівнянню моделі Отримані данні наведені нижче у таблиці 2.

Таблиця 2. Залежність ІК від ІБ та UКЕ для транзистора 2Т909Б, отримана по рівнянню моделі.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Iб | Uк-э | Y | Ymod | Delta^2 |
| 0,05 | 0,2 | 0,5 | 0,622065 | 0,0149 |
| 0,05 | 0,4 | 0,7 | 0,753084 | 0,002818 |
| 0,05 | 0,6 | 0,8 | 0,859469 | 0,003537 |
| 0,05 | 0,8 | 0,8 | 0,941222 | 0,019944 |
| 0,05 | 1 | 0,8 | 0,998341 | 0,039339 |
| 0,05 | 1,2 | 0,8 | 1,030827 | 0,053281 |
| 0,05 | 1,4 | 0,8 | 1,03868 | 0,056968 |
| 0,05 | 1,6 | 0,8 | 1,021899 | 0,049239 |
| 0,05 | 1,8 | 0,8 | 0,980486 | 0,032575 |
| 0,05 | 2 | 0,8 | 0,914439 | 0,013096 |
| 0,1 | 0,2 | 1 | 1,030545 | 0,000933 |
| 0,1 | 0,4 | 1,5 | 1,35301 | 0,021606 |
| 0,1 | 0,6 | 1,8 | 1,636018 | 0,02689 |
| 0,1 | 0,8 | 2,1 | 1,879569 | 0,04859 |
| 0,1 | 1 | 2,3 | 2,083663 | 0,046802 |
| 0,1 | 1,2 | 2,5 | 2,248299 | 0,063353 |
| 0,1 | 1,4 | 2,6 | 2,373479 | 0,051312 |
| 0,1 | 1,6 | 2,7 | 2,459202 | 0,057984 |
| 0,1 | 1,8 | 2,7 | 2,505468 | 0,037843 |
| 0,1 | 2 | 2,7 | 2,512276 | 0,03524 |
| 0,15 | 0,2 | 1,2 | 1,324743 | 0,015561 |
| 0,15 | 0,4 | 2 | 1,838922 | 0,025946 |
| 0,15 | 0,6 | 2,5 | 2,293215 | 0,04276 |
| 0,15 | 0,8 | 2,9 | 2,687621 | 0,045105 |
| 0,15 | 1 | 3,1 | 3,02214 | 0,006062 |
| 0,15 | 1,2 | 3,3 | 3,296773 | 1,04E-05 |
| 0,15 | 1,4 | 3,5 | 3,511519 | 0,000133 |
| 0,15 | 1,6 | 3,7 | 3,666378 | 0,00113 |
| 0,15 | 1,8 | 3,9 | 3,761351 | 0,019224 |
| 0,15 | 2 | 4 | 3,796437 | 0,041438 |
| 0,2 | 0,2 | 1,2 | 1,504657 | 0,092816 |
| 0,2 | 0,4 | 2,6 | 2,21082 | 0,151461 |
| 0,2 | 0,6 | 3 | 2,83106 | 0,028541 |
| 0,2 | 0,8 | 3,4 | 3,365378 | 0,001199 |
| 0,2 | 1 | 3,8 | 3,813774 | 0,00019 |
| 0,2 | 1,2 | 4 | 4,176248 | 0,031063 |
| 0,2 | 1,4 | 4,3 | 4,4528 | 0,023348 |
| 0,2 | 1,6 | 4,5 | 4,643429 | 0,020572 |
| 0,2 | 1,8 | 4,7 | 4,748137 | 0,002317 |
| 0,2 | 2 | 4,9 | 4,766922 | 0,01771 |
| 0,25 | 0,2 | 1,2 | 1,570289 | 0,137114 |
| 0,25 | 0,4 | 2,6 | 2,468703 | 0,017239 |
| 0,25 | 0,6 | 3,5 | 3,249553 | 0,062724 |
| 0,25 | 0,8 | 4 | 3,91284 | 0,007597 |
| 0,25 | 1 | 4,4 | 4,458564 | 0,00343 |
| 0,25 | 1,2 | 4,7 | 4,886724 | 0,034866 |
| 0,25 | 1,4 | 4,9 | 5,197321 | 0,0884 |
| 0,25 | 1,6 | 5,2 | 5,390354 | 0,036235 |
| 0,25 | 1,8 | 5,4 | 5,465824 | 0,004333 |
| 0,25 | 2 | 5,5 | 5,423731 | 0,005817 |
| 0,3 | 0,2 | 1,2 | 1,521638 | 0,103451 |
| 0,3 | 0,4 | 2,6 | 2,612571 | 0,000158 |
| 0,3 | 0,6 | 3,8 | 3,548695 | 0,063154 |
| 0,3 | 0,8 | 4,4 | 4,330007 | 0,004899 |
| 0,3 | 1 | 4,8 | 4,95651 | 0,024495 |
| 0,3 | 1,2 | 5,2 | 5,428201 | 0,052076 |
| 0,3 | 1,4 | 5,4 | 5,745083 | 0,119082 |
| 0,3 | 1,6 | 5,7 | 5,907153 | 0,042912 |
| 0,3 | 1,8 | 5,9 | 5,914414 | 0,000208 |
| 0,35 | 0,2 | 1,2 | 1,358704 | 0,025187 |
| 0,35 | 0,4 | 2,6 | 2,642426 | 0,0018 |
| 0,35 | 0,6 | 3,8 | 3,728484 | 0,005115 |
| 0,35 | 0,8 | 4,8 | 4,61688 | 0,033533 |
| 0,35 | 1 | 5,3 | 5,307611 | 5,79E-05 |
| 0,35 | 1,2 | 5,6 | 5,80068 | 0,040272 |
| 0,35 | 1,4 | 5,9 | 6,096085 | 0,038449 |
| 0,35 | 1,6 | 6,1 | 6,193827 | 0,008803 |
| 0,35 | 1,8 | 6,3 | 6,093905 | 0,042475 |
| 0,4 | 0,2 | 1,2 | 1,081487 | 0,014045 |
| 0,4 | 0,4 | 2,6 | 2,558265 | 0,001742 |
| 0,4 | 0,6 | 3,8 | 3,788922 | 0,000123 |
| 0,4 | 0,8 | 4,9 | 4,773457 | 0,016013 |
| 0,4 | 1 | 5,6 | 5,511869 | 0,007767 |
| 0,4 | 1,2 | 6 | 6,00416 | 1,73E-05 |
| 0,4 | 1,4 | 6,3 | 6,250328 | 0,002467 |
| 0,4 | 1,6 | 6,6 | 6,250374 | 0,122238 |

Порівняємо наші результати, а саме експериментальні з отриманими по рівнянню моделі. Для цього побудуємо вольт-амперні характеристики та поверхні, що відображають поведінку нашої системи.

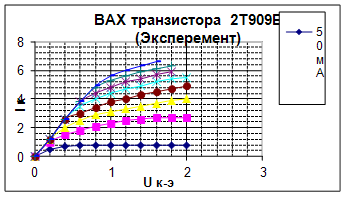


Рис. 4. ВАХ транзистора 2Т909Б, побудована по експериментальним даним

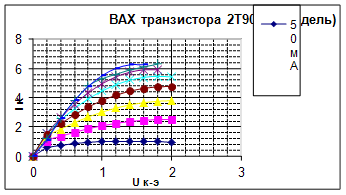


Рис. 5. ВАХ транзистора 2Т909Б, побудована на основі модельних даних



Рис. 6. Поверхня станів транзистора 2Т909Б, побудована по експериментальним даним

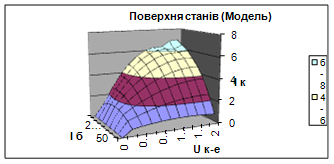


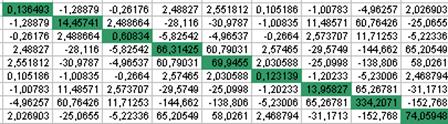
Рис. 7. Поверхня станів транзистора 2Т909Б, побудована на основі модельних даних

Приймаємо, що дисперсія експерименту σy2 = 0,05 А.

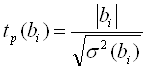
Домноживши матрицю коваріацій на σy2 отримаємо (табл. 3):

Таблиця 3 Матриця коваріацій помножена на σy2

σy2·(ХТ·Х)-1



Тепер значущість коефіцієнтів регресії можна оцінити за допомогою критерія Стьюдента. Скористаємось наступною формулою:



Табличне значення критерію Стьюдента для числа ступенів свободи n0 = 8 – 1 = 7, складає tт = 2,365. Оцінимо статистичну значущість кожного з коефіцієнтів:

|  |  |
| --- | --- |
| tp0 | 0,38988226 |
| tp1 | 2,01166266 |
| tp2 | 0,23743137 |
| tp3 | 2,46416891 |
| tp4 | 2,87342414 |
| tp5 | 0,54897414 |
| tp6 | 0,42926849 |
| tp7 | 0,47464611 |
| tp8 | 1,62850119 |

Як видно із отриманих значень tp для кожного з коефіцієнтів, порівнявши їх з табличним значенням 2,365, помітно, що коефіцієнти tp3, tp4 менше табличного значення. Але вони є статистично зв’язаними з іншими коефіціентами, а значить вони є статистично значущими і не мають бути рівними нулю. Також матриця коваріацій не є ортогональною.

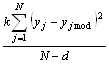
Отже модель залишається незмінною, а саме:

Y’ = 0,144+ 7,649Iб -0,185 Uке + 20,066Uке Iб – 24.0314Iб2 – 0.193Uке2 –

–1,604Uке2 Iб + 8,677Iб2 Uке – 14,015Uке2 Iб2

На основі отриманих значень моделі обчислимо дисперсію:

σмод2 = ,



де      k – кратність дублювання,

N – кількість дослідів,

d – кількість значущих коефіцієнтів моделі.

σмод2 = 2,4113 / (76-2) = 0,03258.

Перевіримо статистичну гіпотезу про адекватність моделі станів транзистора 2Т909Б за допомогою критерію Фішера.

Розрахуємо значення критерію Фішера, виходячи з того, що це є відношення більшої з двох дисперсій до меншої, причому воно завжди більше за одиницю.

Fp = σмод2 (σy2)/ σy2(σмод2);

Нехай похибка виміру за допомогою лінійки складає 0,5 мм. Враховуючи, що вся вісь Ік 136 мм - 483 мА, отримуємо σy ≈ 1,7757 мА, тобто дисперсія експерименту σy2 = 3,1532. Таким чином дисперсія експерименту складає σy2 = 3,1532, у той час як дисперсія моделі в свою чергу складає σмод2 = 8,664. Легко бачити, що дисперсія моделі більша, тому визначимо розрахункове значення критерію Фішера згідно приведеної вище формули:

Fp = 0,05 / 0,03258 ≈ 1,5346.

Табличне значення критерію Фішера складає:

FT ≈ 3,29046. Тобто Fp < FT, що говорить про те, що модель експерименту є адекватною.

Висновок

В даній розрахунково-графічній роботі мною були обрані вихідні ВАХ транзистора 2Т909Б у якості приклада дослідження двофакторного технічного процесу. Дані були взяті з довідника.

Спочатку було знято експериментальні дані вихідних ВАХ транзистора, тобто залежність Ік(Uк-е, Іб) і складенна таблиця початкових даних.

Потім в якості моделі було взято функцію

Y’ = b0 + b1 Uке + b2 Iб + b3 Uке Iб + b4 Uке2 + b5 Iб2+ b6 Uке2 Iб + b7 Iб2 Uке +

+ b8 Uке2 Iб2,

Розраховано її коефіцієнти за допомогогю регресійного аналізу, побудовано графіки та поверхні станів і обчислено дисперсію експерименту,яка склала σy2 ≈ 3,1532.

На другому етапі було проведено оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стьюдента. В результаті чого отримали, що коефіцієнти b0,b1, b2, b5, b6, b7, b8 є статистично незначущими, але прирівняти до нуля їх не можна, оскільки вони статистично зв’язані з іншими коефіцієнтами матриці коваріацій. Таким чином, рівняння моделі не змінилося.

На завершальному етапі роботи було перевірено статистичну гіпотезу про адекватність моделі станів технічної системи за допомогою критерію Фішера. Спочатку було знайдено розрахункове значення критерію Фішера: на основі двох значень дисперсії - теоретичної і експериментальної (поділили більшу σy2 на меншу σмод2 з них), отримали Fp ≈ 1,389391. Потім з таблиці вибрали відповідне значення критерію Фішера FT ≈ 3,29046 і порівняли з розрахунковим, в результаті чого упевнились, що Fp < FT, тобто модель є адекватною.

Література

1.         П.О. Яганов, «Регресійний аналіз багатофакторних систем»-K.:НТУУ «КПІ»,2006-35с.