

2.Кухарчук В.В., Поджаренко В.О. Дослідження та аналіз перехідного процесу вимірювального перетворювача пускового моменту з асинхронним приводом//Современная контрольно-испытательная техника промышленных изделий и их сертификация. -1997. -Том 2. -С.136-139.

3.Кухарчук В.В., Поджаренко В.О. Автоматизація процесу вимірювання пускового моменту електричних машин//Автоматизація технологічних процесів та промислова екологія. -1996. - №1. -С.26- 35.

УДК 621.317

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНЗИСТОРНОГО НЕГАТРОНА НА ПОЛЬОВОМУ ТРАНЗИСТОРІ З БАР'ЄРОМ ШОТТКІ

Філінюк М.А., Молчанов П.А., Войцеховська О.В.

Вінницький державний технічний університет

Основним елементом активного вимірювального перетворювача [1] є негatron -пристрій з від'ємним диференціальним опором [2]. При моделюванні транзисторних негatronів для розрахунку його імпеданса використовуються еквівалентні схеми. Розробимо еквівалентну схему транзисторного негatronа, виходячи з таких основних положень:

- при моделюванні будемо розглядати польові транзистори з затвором Шоттки, як найбільш розповсюджені в надвисокочастотному діапазоні;
- еквівалентна схема повинна найбільш точно відображати реактивні властивості між струмами та напругами транзистора.

При моделюванні польових транзисторів за допомогою еквівалентної схеми можна застосовувати двомірні та квазідвомірні моделі, вихідною інформацією до яких є геометрія активної області транзистора. Але за основу вибрана та еквівалентна схема, що відрізняється значною економічністю та скороченням машинного часу ЕОМ [3].

Будемо розглядати еквівалентну схему тільки активної області транзистора, так як решта елементів визначаються конструктивними особливостями, які відмінні для різних типів транзисторів.

Розглянемо еквівалентну схему активної області польового транзистора з бар'єром Шоттки, яка застосовується для великого сигналу (рис. 1)[3]. В приведеній еквівалентній схемі основним елементом є генератор струму наведення i_{nm} , який моделює перенесення електронів через канал.

Ємність C_x - моделює зміну зарядів стаціонарного, котрий існує в більшості каналів транзисторів. Струм через канал транзистора i_k складається із струмів наводки і зміни заряду $i_{пер}$:

$$i_k(t) = i_{наб}(t) + i_{пер}$$

Шунтуючі властивості буферного шару та напівізолюючі підкладки враховуються генератором струму $i_{наб}$ та ємністю C_{ic} . Ємності C_{zi} та C_{zc} моделюють зміну заряду підзатворного збіднілого шару при зміні напруги затвор-витік U_{zi} (при постійній напрузі U_{zc}) і U_{zc} (при постійній напрузі U_{zi}). Опір R_{zi} відображає опір каналу, розподілений вздовж збіднілого шару.

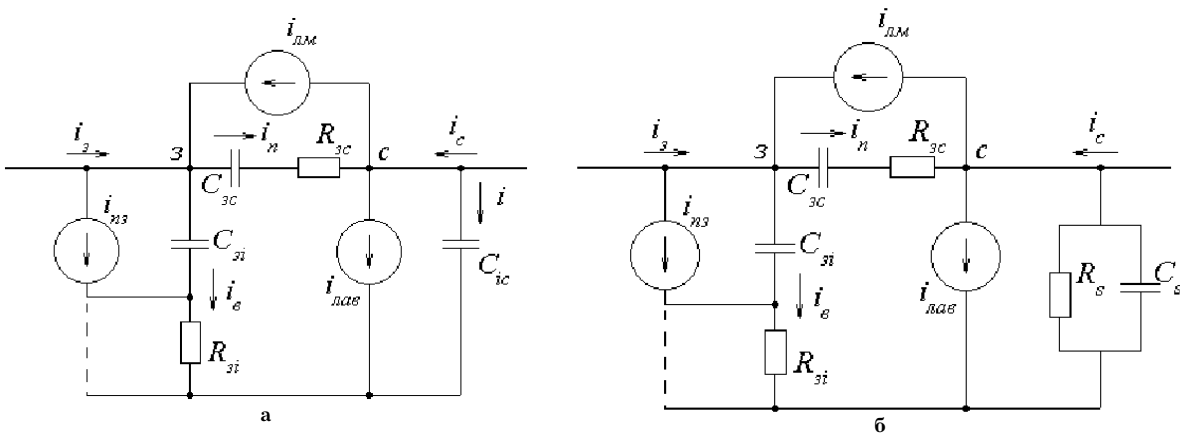


Рис.1. Еквівалентна схема активної області польового транзистора: а-для режиму великого сигналу, б-для нелінійного режиму

Структурна схема польового транзистора з бар'єрами Шотткі для надвисокочастотного діапазону приведена на рис. 2 [4].

Генератори струмів прямого зміщення $i_{пз}$ і лавинного множення $i_{лм}$, які знаходяться відповідно у вхідному та прохідному колах еквівалентної схеми, необхідні для адекватного описування режиму великого сигналу по напрузі. В такому режимі затвор частку періоду може мати пряме зміщення, в той час, як в другій частці періоду напруга сток-затвор може перевищувати значення пробою. Генератор $i_{i\phi}$ вмикається між истоком і стоком (штрихова лінія), що можна припускати при малому R_{ϕ} . Час прольоту носіїв струму в активній області транзистора τ_i залежить від напруг U_{ϕ} та $U_{пз}$ і, в свою чергу, наведений струм $i_{i\phi}$ пов'язаний з часом прольоту і напругами формулою [3]:

$$i_{i\phi}(t) = I[U_{\phi}(t - \tau)U_{пз}(t - \tau)],$$

де $\tau = \frac{\tau_i}{2}$,

$I(U_{\phi}, U_{пз})$ - статична залежність струму каналу від напруг в активній області, яка описується динамічною крутістю:

$$S = S_0 \frac{\sin w \tau}{w \tau} \exp(-jw \tau),$$

$$S_0 = \frac{\partial I}{\partial U_{\phi}} - \text{статична крутість.}$$

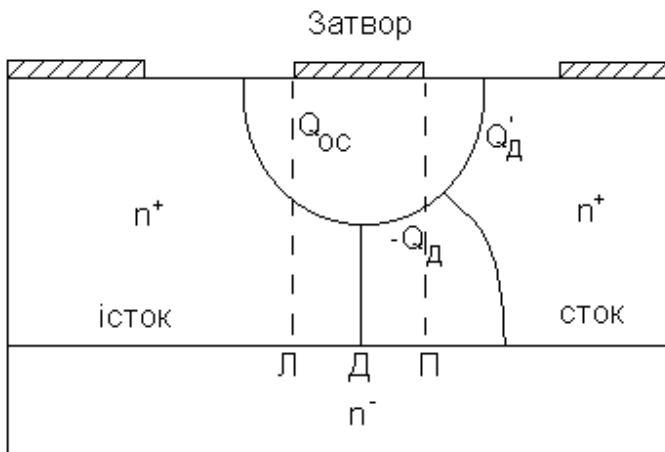


Рис.2. Структурна схема польового транзистора з бар'єром Шотткі для надвисокочастотного діапазону

Значення τ також може бути розраховане за допомогою Y -параметрів активної області транзистора [5].

В моделі транзисторного негатрона на польовому транзисторі, крім часу прольоту враховується комплексний опір, який створюється об'ємним зарядом в об'ємі напівпровідника (рис.16). Комплексний опір об'ємного заряду на еквівалентній схемі представлений у вигляді паралельного з'єднання опору R_s і ємності C_s , де

$$R_s = X_a; \quad C_s = C_{ic} + X_c$$

Залежність вхідної ємності C_{sc} та вхідного опору розраховується за формулами:

$$C_{si}(U_{si}) = C_{si} / (1 - U_{si} / j_E)^{1/2}; \quad R_{si} = t_{si} / C_{si}$$

причому $U_{si} < -U_{відс}$

де $U_{відс}$ - напруга відсідки, $j_E = 0,8$ eB- висота бар'єра Шотткі. Ємність C_{sc} береться постійною.

Лавинне множення носіїв струму в прольотному просторі не враховується, тому що при звичайному рівні легування $N_D = 2,5 \cdot 10^{17} \text{ нс}$ час прольоту носіїв струму дорівнює $t_l = 1,46 \text{ нс}$ час дрейфу електронів скрізь прольотний простір $t_e = 2,49 \text{ нс}$. Час розвитку лавини складає приблизно $2t_l = 2,92 \text{ нс}$, що значно менше періоду коливань. Приблизно в 100 разів для частоти 4ГГц.

При розрахунку параметрів матриці комплексних опорів [Z] або повних провідностей [Y]

необхідно враховувати індуктивності та ємності виводів транзистора та ємності між выводами і корпусом транзистора. Еквівалентна схема польового транзистора приведена на рис. 3, де:

R_n, R_c - омичний опір епітаксiального шару відповідно між затвором і истоком, та між затвором і стоком, які контролюються напругою затвора,

R_3 - опір металізації затвора,

$R_{КП}, C_{КП}$ - опір розтікання і ємність області просторового заряду контактних площадок затвора,
 $C_{СП}$ - ємність стiк-витiк крiзь високоомну підложку,

L_{31}, L_{c1}, L_{i1} - внутрішні корпусні індуктивності виводів кристала;

L_{32}, L_{c2}, L_{i2} - зовнішні індуктивності виводів кристала (по за корпусом),

C_s, C_c, C_i - ємності між выводами і корпусом транзистора.

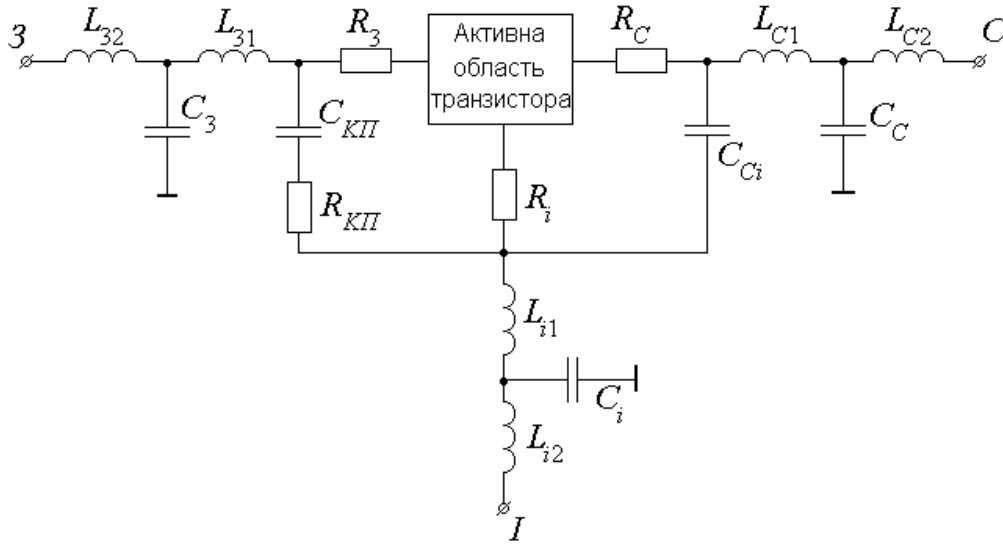


Рис.3. Еквівалентна схема польового транзистора з врахуванням ємностей та індуктивностей корпусу і виводів транзистора

За допомогою отриманої еквівалентної схеми можуть бути розраховані коефіцієнти матриці провідностей або опорів транзисторних негатронів при застосуванні всіх схем включення транзистора.

Висновки

Описана теоретична модель негатрона на польовому транзисторі, яка дозволяє розраховувати струми, напруги и інпеданс негатрона у широкому діапазоні напруг на выводах транзистора. Визначено, що при змінному струмі в прольотному просторі польового транзистора виникають рухомі об'ємні заряди, які викликають викривлення характеристик енергетичних зон, і можуть бути описані за допомогою диференційної ємності X_c та активного опору X_a . Комплексний опір, викликаний зміною об'ємного заряду залежить від прикладеного сигналу збудження. Описана еквівалентна схема, яка враховує вплив рухомих об'ємних зарядів, а також вплив конструктивних елементів, виводів і корпусу польового транзистора.

Література

1. Молчанов П.А. Моделирование активных измерительных перетворювачів//Контроль і моделювання в технічних системах.-Вінниця:Універсум,1997.
2. Филинюк Н.А., Гаряинов С.А., Серьезнов А. Н., Степанова Л.Н. Негатроника. - Новосибирск.: Наука, 1995.
3. Chione G., Naldi C.U., Filicori F. Physical modeling of GaAs MESFET's in an integrated environment//IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. - 1989.- Vol.MTT-37, N 3. - P. 457-468.
4. Willing H.A., Sentis P. Modelling of Gunn-domain effects in GaAs MESFET's//Electronics Letters. -1977. -Vol.13, N 18. - P.537-539.
5. Гарбер Г.З. Численный метод расчета характеристик нелинейной эквивалентной схемы СВЧ полевых транзисторов// Микроэлектроника. -1990. -Т.19, Вып.4.