

Симуляционно изследване на пълен модел на мощни MOS радиочестотни транзистори

Боян Карапенев

Simulation Study of a Complete Model of Powerful MOS Radio-frequency Transistors: This paper presents a complete model of powerful MOS radio-frequency (RF) transistors and its simulation studies. For the complete model of BLF177 transistor are shown results of simulation studies carried out employing Electronics Workbench software: the achieved performance characteristics and defined qualitative parameters. The complete model of powerful MOS RF transistors and the results obtained can be used in modeling, synthesis and simulation study of different circuits used in radio transmission equipment.

Key words: Simulation Study, Complete Model, Powerful MOS Radio-frequency Transistors.

ВЪВЕДЕНИЕ

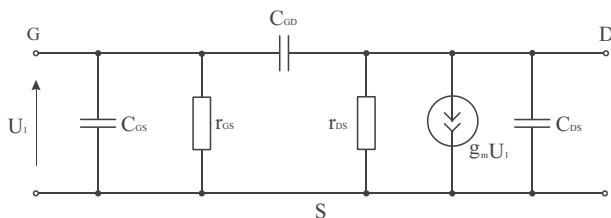
Полевите транзистори (ПТ) се управляват с напрежение, което модулира проводимостта на канала им, а с това и големината на протичащия изходен ток. Входът им е изолиран от изхода. Съществуват два основни вида ПТ - с PN преход и MOS транзистори. Най-широко приложение са намерили MOS транзисторите с изолиран гейт.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Съществуват разнообразни по вид, сложност и сфера на приложение модели на ПТ. Известни са като универсални линейни модели, постояннотокови и линейни модели [1, 2].

Широко използваните в практиката линейни високочестотни модели на ПТ имат П-образна схемна конфигурация, пряко ориентирана към типичните каталожни данни.

На фиг. 1 е показана П-образна еквивалентна схема на ПТ [1].



Фиг. 1 – П-образна еквивалентна схема на полеви транзистор

Моделът се характеризира със следните шест основни моделни параметъра:

g_m – стръмност на транзистора;

r_{DS} – изходно съпротивление за променлив ток;

r_{GS} – входно съпротивление за променлив ток;

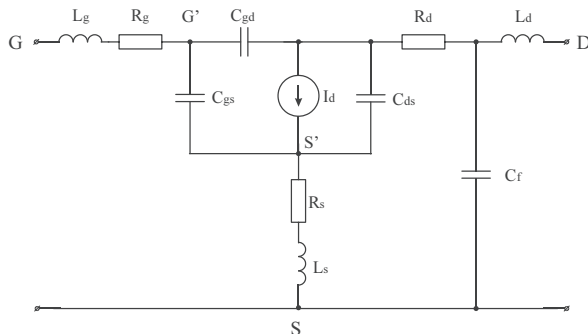
C_{GS} – входен капацитет;

C_{GD} – проходен капацитет;

C_{DS} – изходен капацитет.

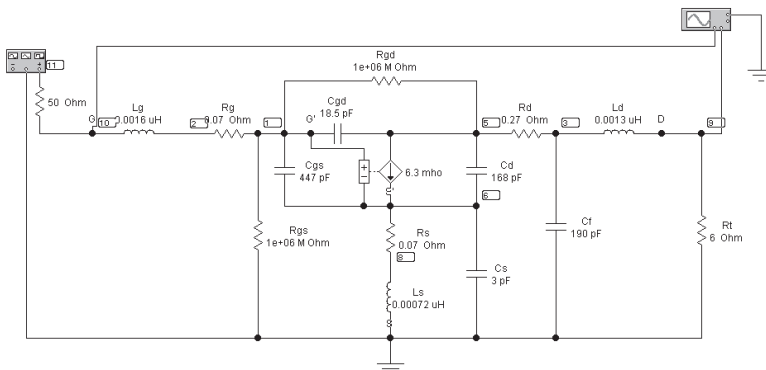
Симуляционни изследвания на пълен модел на мощни радиочестотни MOS транзистори

На фиг. 2 е представен пълен модел на мощен MOS транзистор от радиочестотния обхват (0,1-30) MHz, съдържащ зависим източник на ток, управляван от напрежение ($I_d = g_m \cdot U_G \cdot S'$) и пасивни елементи, моделиращи съответно активното съпротивление, капацитетите и индуктивностите на неговите изводи.



Фиг. 2 – Пълнен модел на MOS транзистор

На фиг. 3 е показана схемата на опитната постановка за симулационно изследване на пълния модел на MOS транзистор BLF177 заедно със съответните стойности на моделните му параметри [3]. Получените резултати от неговото симулационно изследване са показани на фиг. 4 + 9.



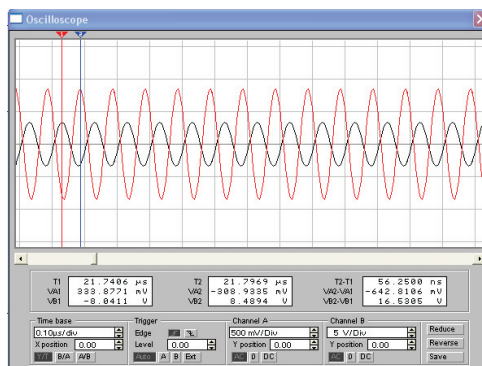
Фиг. 3 – Схема за симулационно изследване на пълния Модел на MOS транзистор BLF177

При зададени параметри на Функционалния генератор $U=1\text{ V}$ и $f=10\text{ MHz}$ получената осцилограма на изхода при хармоничен входен сигнал, подаден на входа на пълния модел на MOS транзистора BLF177, е показана на фиг. 4.

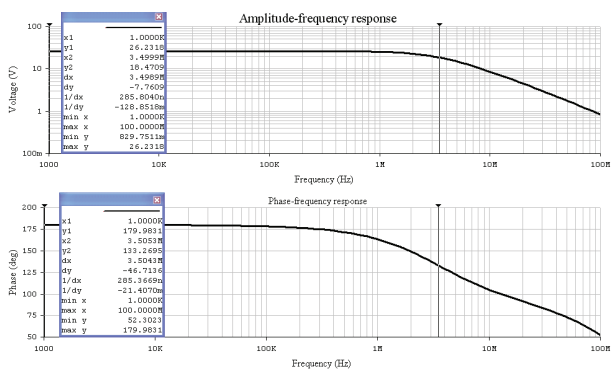
От получените резултати, изобразени на времедиagramата (фиг. 4), се установяват моментните стойности на входното и изходното напрежение. Коефициентът на усилване по напрежение може да се изчисли чрез отношението на максималните стойности – $A_u=U_{o\max}/U_{i\max}=8,5/0,334\approx 25,5$. Изходният сигнал за работни честоти до $f\approx 0,1\text{ MHz}$ е дефазирен спрямо входния точно на ъгъл $\varphi=180^\circ$.

Получените резултати от извършения променливочестотен анализ (AC Frequency) с продукта Electronics Workbench – АЧХ и ФЧХ са представени на фиг. 5.

От представената на фиг. 5 АЧХ на пълния модел на MOS транзистора BLF177 на ниво -3 dB се определя долна и горна гранична честота, и широчината на пропусканата честотна лента $f_b=1\text{ kHz}$, $f_h=3,5\text{ MHz}$, $\Delta f\approx 3,5\text{ MHz}$. Дефазирането между изходното и входното напрежение при горната гранична честота е $\varphi=133^\circ$.



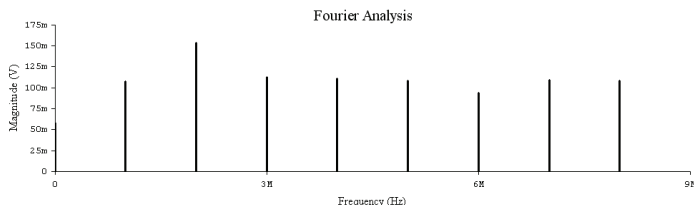
Фиг. 4 – Осцилограма на входния и изходния сигнал, получена от симулационното изследване на пълния модел на MOS транзистор BLF177



Фиг. 5 – АЧХ и ФЧХ на пълния модел на MOS транзистор BLF177

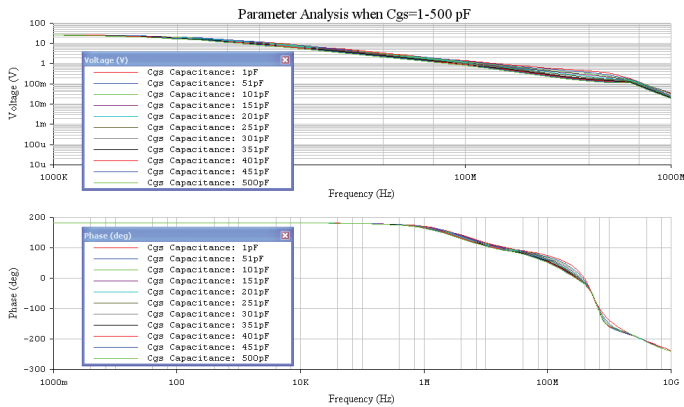
Пълният модел на транзистора BLF177 притежава максимален и постоянен коефициент на усилване по напрежение A_u до работни честоти 1 MHz.

На фиг. 6 са представени амплитудите на първите 9 хармонични съставлящи на изходния сигнал. Втората хармонична съставляща (при $f=2$ MHz) има амплитуда 153 mV.

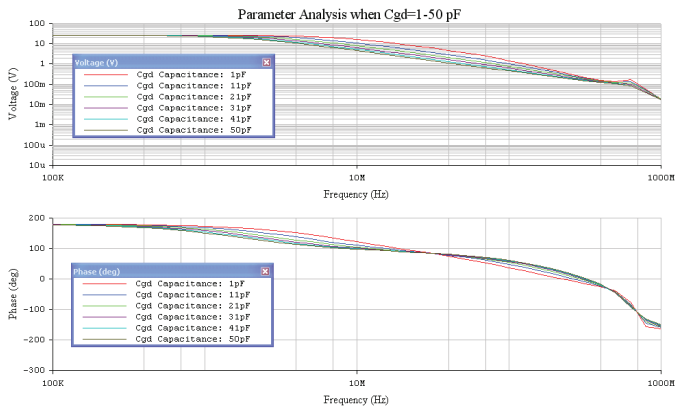


Фиг. 6 – Резултати от извършения Фурие-анализ на пълния модел на MOS транзистор BLF177

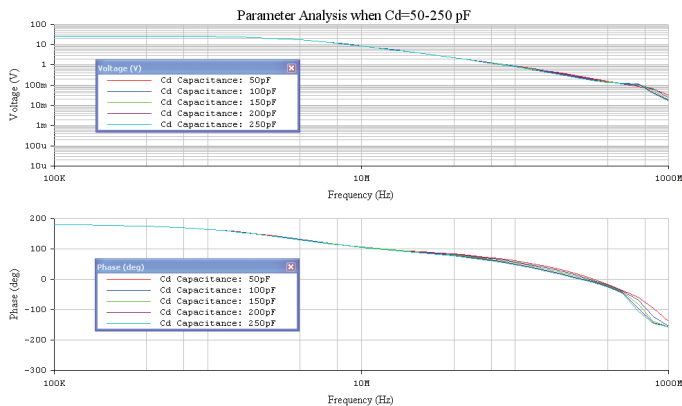
На фигури 7, 8 и 9 са представени получените резултати при извършването на параметрични анализи за различни стойности на капацитетите C_{gs} , C_{gd} и C_d . Стойността на съответния моделен параметър (фиг. 3) има средна стойност спрямо зададените начална и крайна.



Фиг. 7 – АЧХ и ФЧХ на пълния модел на транзистор BLF177 при различни стойности на капацитета $C_{gs} = (1-500)$ pF



Фиг. 8 – АЧХ и ФЧХ на пълния модел на транзистор BLF177 при различни стойности на капацитета $C_{gd} = (1-50)$ pF



Фиг. 9 – АЧХ и ФЧХ на пълния модел на транзистор BLF177 при различни стойности на капацитета $C_d = (50-250)$ pF

От представените резултати се установява, че най-голямо влияние върху АЧХ и ФЧХ в честотния обхват (0,1-30) MHz оказва стойността на капацитета C_{gd} .

Следователно, за разширяване на АЧХ към областта на високите честоти (ВЧ) е необходимо да се намали стойността на капацитета C_{gd} , а също така и на входния капацитет на MOS транзистора, който оказва по-слабо влияние.

Извършени са и параметрични анализи относно влиянието на стойността на индуктивностите на разсейване на изводите на пълния модел на MOS транзистора BLF177. В границите (0,3-53) nH се установява слабо увеличаване на A_u на областта на ВЧ, за честоти по-големи от 220 MHz. Най-голямо влияние върху АЧХ оказва стойността на L_s . Колкото тя е по-малка, толкова е по-разширен ВЧ обхват.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният пълен модел на мощния MOS RF транзистор BLF177 (фиг. 2 и 3) се характеризира със сложна еквивалентна схема, голям брой моделни параметри и трудност при определянето на техните стойности. Техническата документация на разглежданите транзистори обикновено съдържа 9-16 страници с основни каталожни данни (параметри) и характеристики.

От извършените симулационни изследвания се установява, че пълният модел на MOS транзистора BLF177 се характеризира с тясна пропускана честотна лента.

Необходимо е моделирането на опростен модел на мощни MOS радиочестотни транзистори, представянето на зависимости за определяне на стойностите на моделните му параметри и извършването на негово симулационно изследване.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Боянов Й., Е. Шойкова. Справочник по машинни модели на полупроводникови прибори. Издателство „Техника“, София, 1983 г.

[2] Неделчев И. Модел на MOSFET за мощен усилвател клас Е. Международна научна конференция, УНИТЕХ'09 Габрово, стр. I-288 ÷ I-294, 21-22 ноември 2009.

[3] Application Reports. Bipolar & MOS transmitting transistors. Philips, 1998.

За контакти:

гл. ас. д-р инж. Боян Димитров Карапенов, Катедра “Комуника-ционна техника и технологии”, Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

Докладът е рецензиран.