

Моделирание и симулационно изследване на опростен модел на мощни MOS радиочестотни транзистори

Боян Карапенов

Modeling and Simulation Study of a Simplified Model of Powerful MOS Radio-frequency (RF) Transistors: This paper presents modeling of a simplified model of powerful MOS radio-frequency transistors. A procedure for model parameters determining from data sheets is proposed. There are shown results of simulation studies carried out with Electronics Workbench software for BLF177 simplified model: the achieved performance characteristics and defined qualitative parameters. The presented simplified model of powerful MOS RF transistors, performed modeling and obtained results of simulation studies carried out, can be used in modeling, synthesis and simulation study of different circuits used in radio transmission equipment.

Key words: Modeling and Simulation Study, Simplified Model, Powerful MOS RF Transistors.

ВЪВЕДЕНИЕ

За разлика от биполярните транзистори (БТ) температурният коефициент на тока на полевите транзистори (ПТ) е отрицателен. Това улеснява създаването на мощни ПТ (и в частност MOS транзистори), паралелното им включване, използването им в широколентови усилватели, предназначени за сравнително ниски честоти, а така също и в усилватели, работещи в режим клас А, който е особено опасен за мощните високочестотни БТ. ПТ имат по-голямото бързодействие и горна гранична честота, няколко пъти по-висока от тази на БТ.

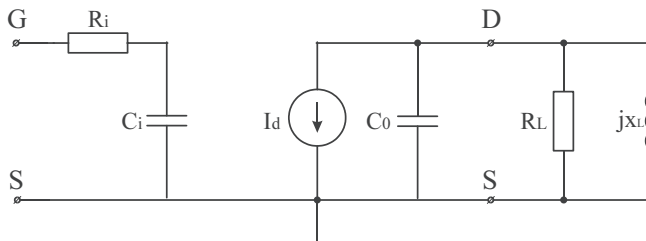
Съществен недостатък на ПТ в сравнение с БТ е по-силната зависимост на входното им съпротивление от честотата, което налага използването на по-сложни схеми на съгласуващо-трансформиращи вериги.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Съществуват разнообразни по вид, сложност и сфера на приложение модели на ПТ. Широко използваните в практиката линейни високочестотни модели на ПТ имат П-образна схемна конфигурация, пряко ориентирана към типичните каталожни данни [1].

1. Моделиране на опростен модел на мощни MOS радиочестотни транзистори

Опростен модел на мощен MOS радиочестотен транзистор от обхвата (0,1-30) MHz е показан на фиг. 1.



Фиг. 1 – Опростен модел на MOS радиочестотен транзистор

За опростения модел на MOS транзистор BLF177 от фиг. 1 товарното съпротивление R_L може да се определи като

$$R_L = \frac{U_d^2}{2 \cdot P_o} \quad (1)$$

където U_d е амплитудата на променливото напрежение на дрейна, а P_o – съответната изходна мощност.

За работа в линеен режим е необходимо стойността на U_d да се избере по-малка от захранващото напрежение ($U_{dd}=50\text{ V}$). При $U_{dd}=44\text{ V}$ и $P_o=150\text{ W}$

$$R_L = \frac{U_{dd}^2}{2 \cdot P_o} = \frac{44^2}{2 \cdot 150} = 6,5\ \Omega \quad (2)$$

При голяма стойност на приложеното дрейново напрежение изходният капацитет C_o е приблизително 15 % по-голям от каталожния параметър C_{OSS} , където

$$C_o = 1,15 \cdot C_{OSS} = 1,15 \cdot 190 \cdot 10^{-12} = 218\text{ pF} \quad (3)$$

Този капацитет трябва да бъде съгласуван с реактивната индуктивност на изхода (свързана паралелно или последователно).

Стойността на тока на зависимия източник I_d е равна на

$$I_d = g_{FE} \cdot U_{GS} \quad (4)$$

където g_{FE} е ефективната проводимост. При работа в режим клас АВ с малък дрейнов ток стойността на g_{FS} е 50 % от зададената каталожна. Допълнително стойността се редуцира приблизително с 25 %, тъй като температурата е по-висока от нормалния режим при съответната мощност, която е съответно приблизително 100°C . При каталожна стойност на g_{FS} 6,2 S

$$g_{FE} = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 6,2 = 2,3\text{ S} \quad (5)$$

Коефициентът на усилване по напрежение A_U е

$$A_U = g_{FE} \cdot R_L = 2,3 \cdot 6,5 = 15 \quad (6)$$

Входният капацитет на опростения модел е

$$C_i = C_{gs} + C_{gd} \cdot (A_U + 1) = (451 \cdot 10^{-12} + 22 \cdot 10^{-12} \cdot (15 + 1)) = 803\text{ pF} \quad (7)$$

където имайки в предвид ефекта на Милер за транзистора BLF177:

$$C_{iss} = 470\text{ pF}, C_{rss} = 19\text{ pF} \text{ и } C_{gs} = C_{iss} - C_{rss} = (470 - 19) \cdot 10^{-12} = 451\text{ pF} \quad (8)$$

При голяма стойност на напрежението на дрейна C_{gd} ($=C_{rss}$) се увеличава с 15 % и $C_{gd} = 1,15 \cdot 19 \cdot 10^{-12} = 22\text{ pF}$.

Входното съпротивление R_i в по-голямата си част се определя от индуктивността на източника L_S . То се определя като

$$R_i = w_{r(\text{eff})} \cdot L_S \cdot g_{FE} \cdot \frac{L_S}{C_i} = 2,3 \cdot \frac{0,72 \cdot 10^{-9}}{803 \cdot 10^{-12}} = 2,1\ \Omega \quad (9)$$

където стойността на L_S е $0,72\text{ nH}$ [2].

Еквивалентното паралелно съпротивление на входа на модела за честота 28 MHz е $26\ \Omega$.

За някои случаи, при които се връща сигнал по обратната връзка (ОВ), входът се шунтира със съпротивление от $6,25\ \Omega$.

Коефициентът на усилване по мощност е

$$A_p = 10 \cdot \log(g_{FE}^2 \cdot R_L \cdot R_{GS}) = 10 \cdot \log(2,3^2 \cdot 6,5 \cdot 6,25) = 23,3\text{ dB} \quad (10)$$

Необходимите каталожни данни за извършване на моделиране на някои мощни MOS радиочестотни транзистори по представения опростен модел от фиг. 1 са представени в таблица 1 [3], а получените стойности на моделните параметри – в

таблица 2. В случая е прието, че $P_o = \frac{2}{3} \cdot P_{tot}$, W.

Таблица 1. Каталогни данни на мощни MOS радиочестотни транзистори

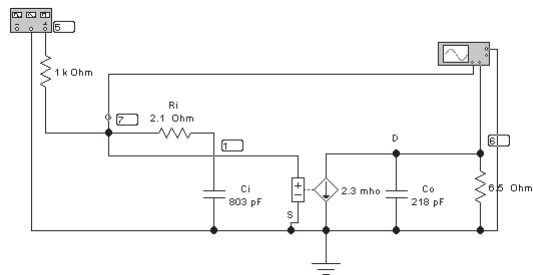
MOS транзистор	Каталоген параметър				
	P_{tot} , W	g_{FE} , S	C_{is} , pF	C_{os} , pF	C_{rs} , pF
BLF145	68	1,2	125	75	7
BLF147	220	7,5	450	360	55
BLF175	68	1,6	130	36	3,7
BLF177	220	6,2	480	190	14
BLF245	68	1,9	125	75	7
BLF246	130	4,2	225	180	25
BLF545	92	0,9	32	24	6,4
BLF548	330	3,5	105	90	25
MRF136	55	400	24	27	5,5
MRF150	300	7	400	240	40

Таблица 2. Изчислени моделни параметри на мощни MOS радиочестотни транзистори

MOS транзистор	Моделен параметър						
	R_i , Ω	C_i , pF	g_{FE} , S	C_o , pF	R_L , Ω	A_U	A_P
BLF145	2,49	130	0,45	75	1,59	0,72	3,04
BLF147	3,85	526	2,81	360	0,49	1,38	13,83
BLF175	3,22	134	0,60	36	1,59	0,95	5,54
BLF177	3,38	496	2,33	190	0,49	1,14	12,21
BLF245	2,19	203	0,71	75	1,59	1,13	7
BLF246	4,41	258	1,58	180	0,83	1,31	11,12
BLF545	9,26	35	0,45	24	1,17	0,53	1,7
BLF548	8,13	116	1,31	90	0,33	0,43	5,5
MRF136	65,81	1641	150	27	1,96	294	54,4
MRF150	4,32	438	2,63	240	0,36	0,95	11,92

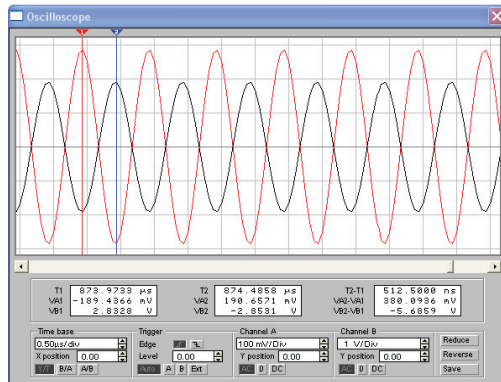
2. Симулационно изследване на опростения модел на мощния MOS радиочестотен транзистор BLF177

На фиг. 2 е показана схемата за симулационно изследване на опростения модел на MOS транзистор BLF177 със стойностите на моделните параметри, получени в резултат от извършеното му моделиране по зависимости (1)-(10).



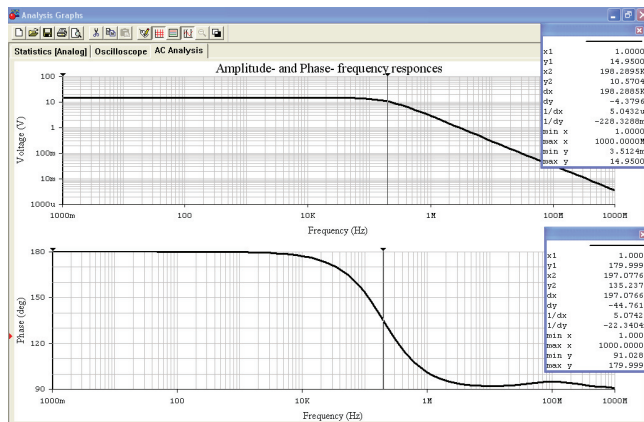
Фиг. 2 – Схема за симулационно изследване на опростен модел на MOS транзистор BLF177

Получената осцилограма на входния и изходния сигнал е показана на фиг. 3. От нея се установяват следните параметри: $A_u = 14,89 \approx 15$ и $\phi(f=1 \text{ MHz}) = 180^\circ$.



Фиг. 3 – Осцилограма на входния и изходния сигнал на опростения модел на MOS транзистор BLF177

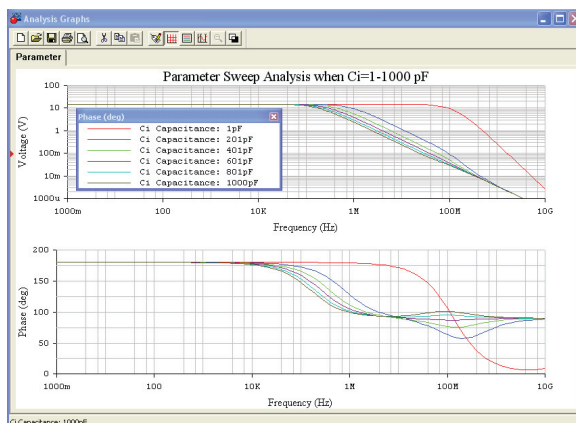
На фиг. 4 са представени получените резултати от извършения променливо-честотен анализ на опростения модел на MOS транзистора BLF177.



Фиг. 4 – Резултати от извършения променливо-честотен анализ на опростения модел на MOS транзистор BLF177

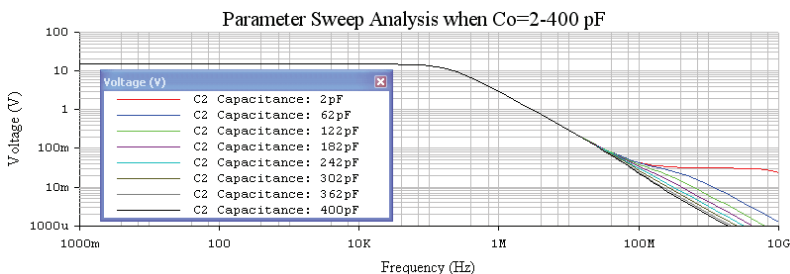
От получените резултати на графичния анализатор се вижда, че максималната стойност на изходното напрежение Y_{max} е 14,95 V при входно напрежение 1 V. От тук се определя, че коефициентът на усилване по напрежение A_U е приблизително равен на 15, а широчината на пропусканата честотна лента е от порядъка на 200 kHz.

Влиянието на стойността на входния капацитет C_i е илюстрирано на фиг. 5, където са представени получените резултати от извършения параметричен анализ. Установява се, че с намаляване на стойността на моделния параметър „входен капацитет“ C_i се увеличават стойността на горната гранична честота f_h , а оттам се разширява и пропусканата честотна лента. При стойност $C_i=1$ pF $f_h=85,3$ MHz и $\Delta f \approx 85,3$ MHz, а при $C_i=201$ pF - $f_h=800$ kHz и $\Delta f \approx 800$ kHz.



Фиг. 5 – Резултати от извършения параметричен анализ спрямо стойността на C_i на опростения модел на MOS транзистор BLF177

От извършените параметрични анализи относно стойността на изходния капацитет C_o се установява, че тя оказва влияние върху горната гранична честота за честоти по-големи от 40 MHz, което е извън границите на зададения работен честотен обхват. На фиг. 6 са представени получените резултати.



Фиг. 6 – Резултати от извършения параметричен анализ спрямо стойността на C_o на опростения модел на MOS транзистор BLF177

Извод: Със задаване на стойността на C_i може да се осигури необходимата широчина на пропусканата честотна лента на опростения модел на мощните MOS радиочестотни транзистори.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният опростен модел на мощни MOS радиочестотни транзистори, предложените зависимости за определяне на моделните параметри и получените резултати от извършените симулационни изследвания доказват, че те успешно могат да се използват при моделирането, синтеза и симулационното изследване на различни схеми, използвани в радиопредавателната техника, в т.ч. на високо-честотни еднотактни и двутактни усилвателни модули, широколентови усилватели, и др.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

[3] <http://www.nxp.com>

За контакти:

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

Докладът е рецензиран.