

2.3. Анализ на нелинейни електронни схеми по постоянен ток

**2.3.1. Итерационни методи за анализ на нелинейни схеми по постоянен ток-
графична илюстрация.**

2.3.2. Определяне на постояннотоковия режим на електронни схеми, многовариантен постояннотоков и температурен анализ с програми от типа на PSpice. Определяне на предавателната характеристика и изследване на шумоустойчивостта на цифров инвертор чрез постояннотоков анализ.

2.3.1. Итерационни методи за анализ на нелинейни схеми по постоянен ток - графична илюстрация.

Нелинейният постояннотоков анализ (ПТА) се извършва за схеми, които освен резистори съдържат **нелинейни елементи (диоды, транзистори), зависимостите между токовете и напреженията на които се представят с **нелинейни уравнения**.**

- В резултат на ПТА се получава информация за **статичния режим** на схемата, т. е. изчисляват се работните точки на всички полупроводникови прибори.
- При ПТА на електронните схеми се прилагат **итерационни методи**, при които се извършва **линеаризация на нелинейните функции** и получените системи линейни алгебрични уравнения се решават на стъпки.

Илюстрация на методите –

с диодно-резисторната схема от фиг. 1

Уравнения, описващи схемата:

Уравнения за компонентите:

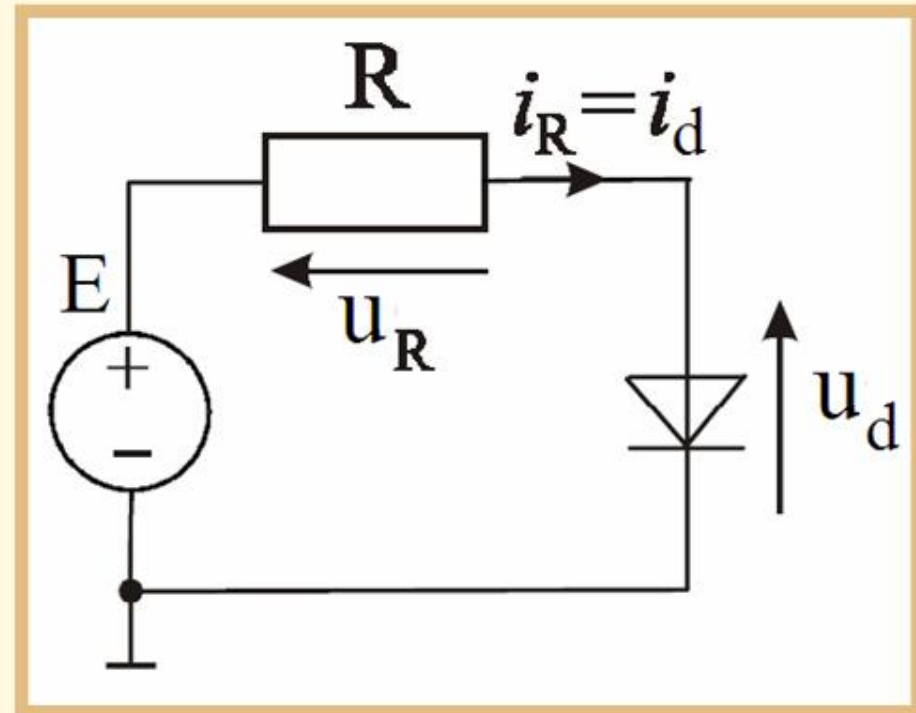
□ **за резистора:**

$$u_R = Ri_d \quad (1)$$

□ **за диода:**

$$i_d = I_S \left(e^{u_d/U_T} - 1 \right). \quad (2)$$

$$u_d = E - Ri_d, \quad (3)$$

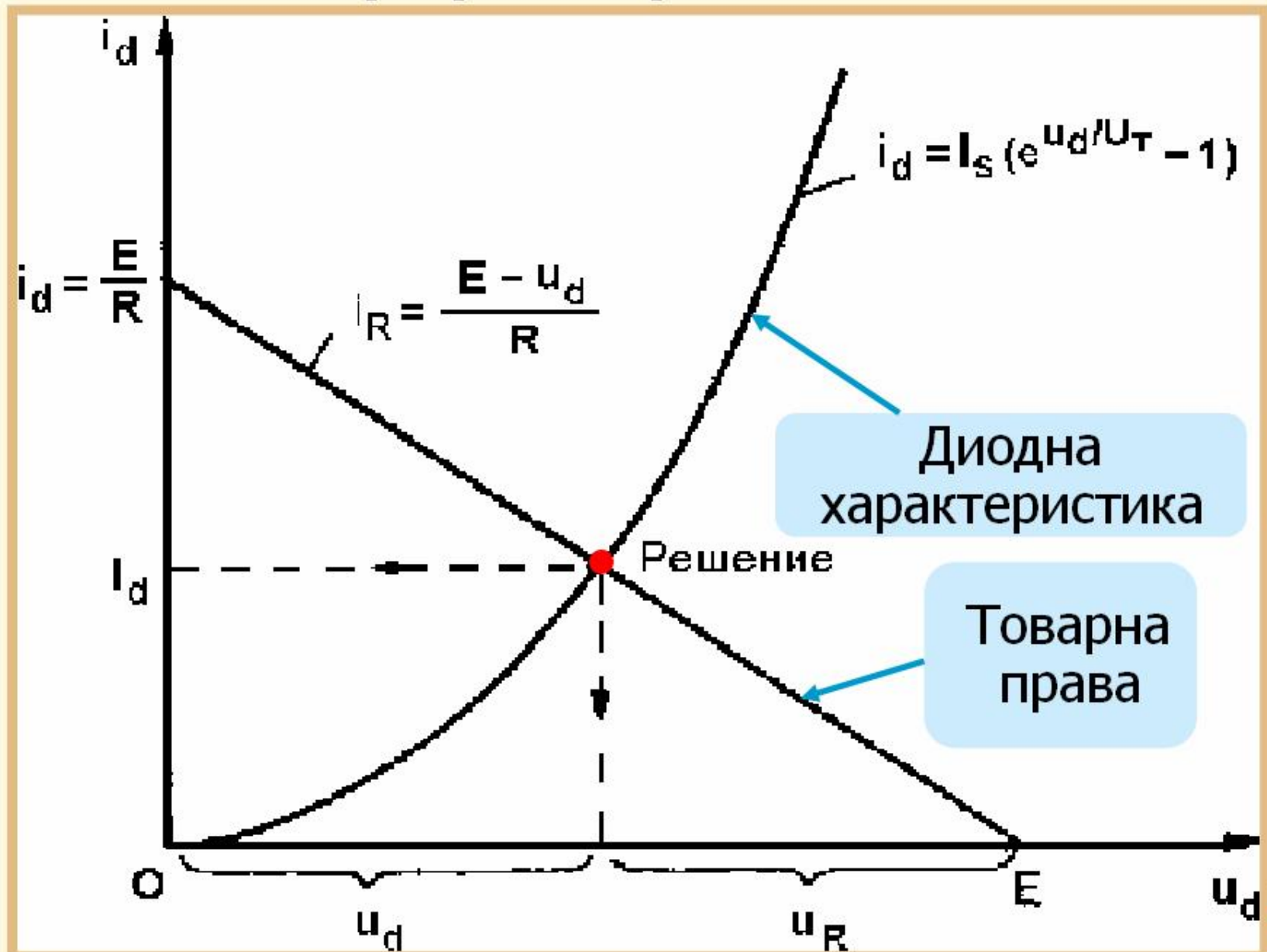


фиг. 1

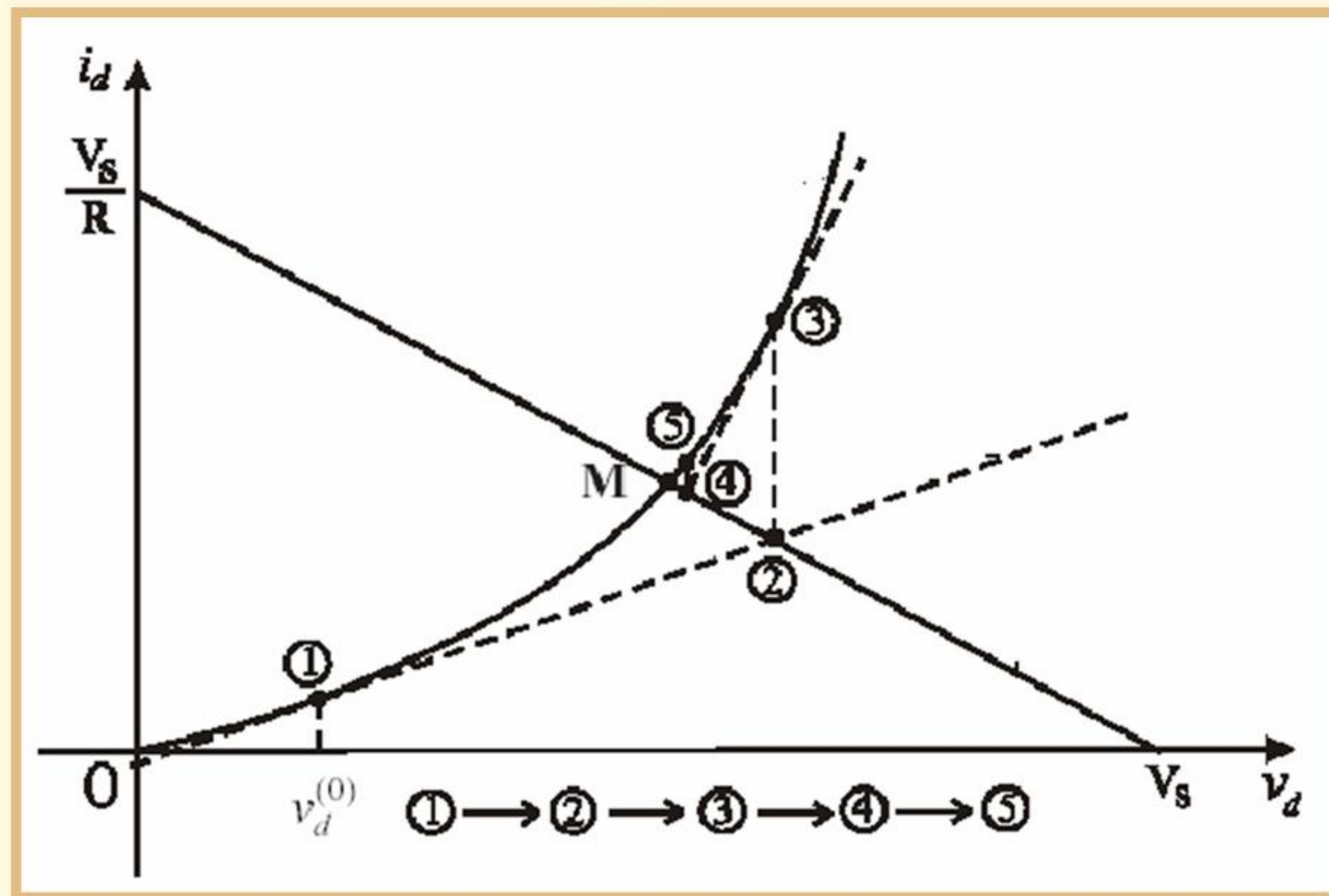
След заместване на (3) в (2) се получава аналитичното решение

$$i_d = I_S \left(e^{(E - Ri_d)/U_T} - 1 \right)$$

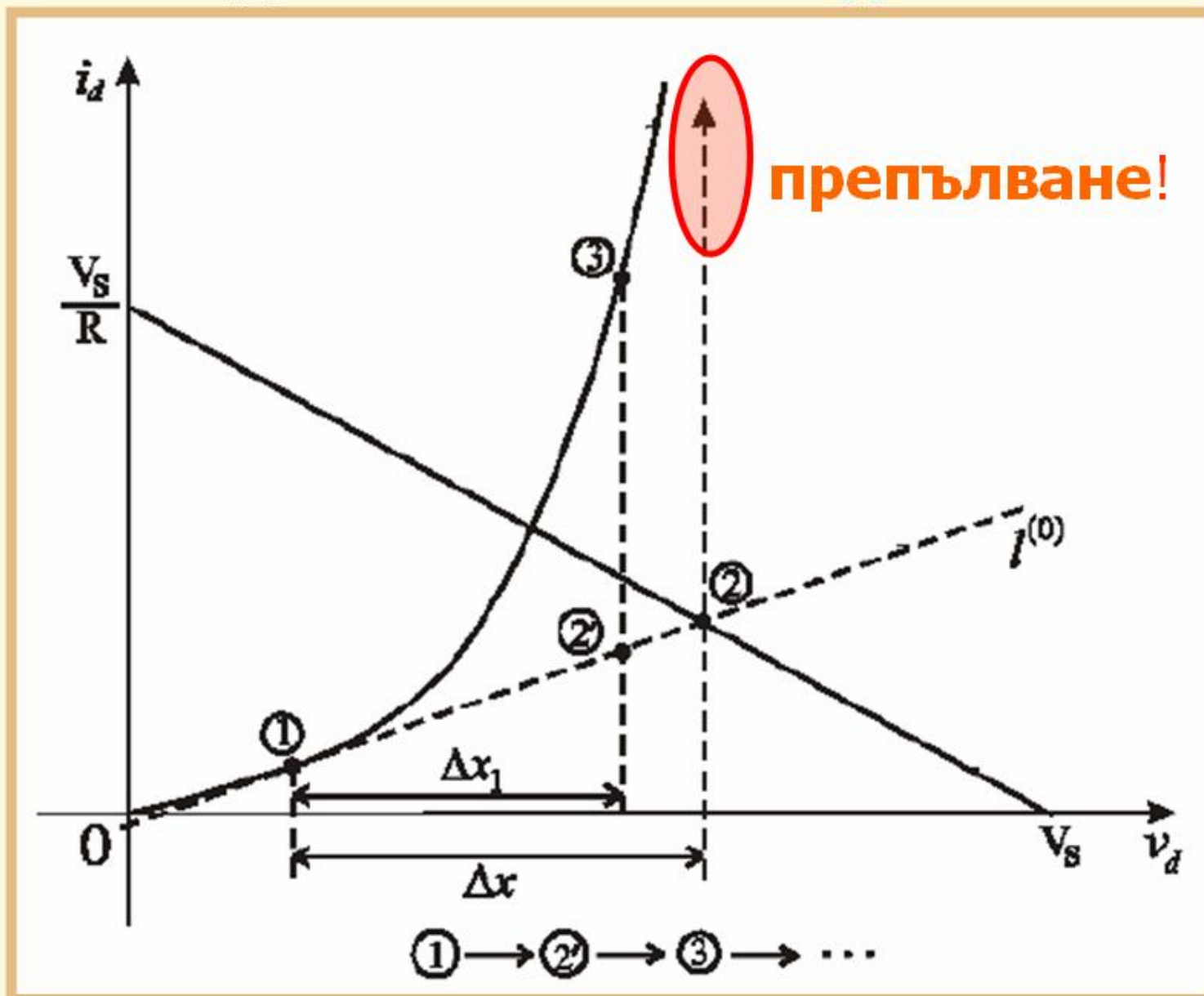
Графично решение



1. Метод на Нютон

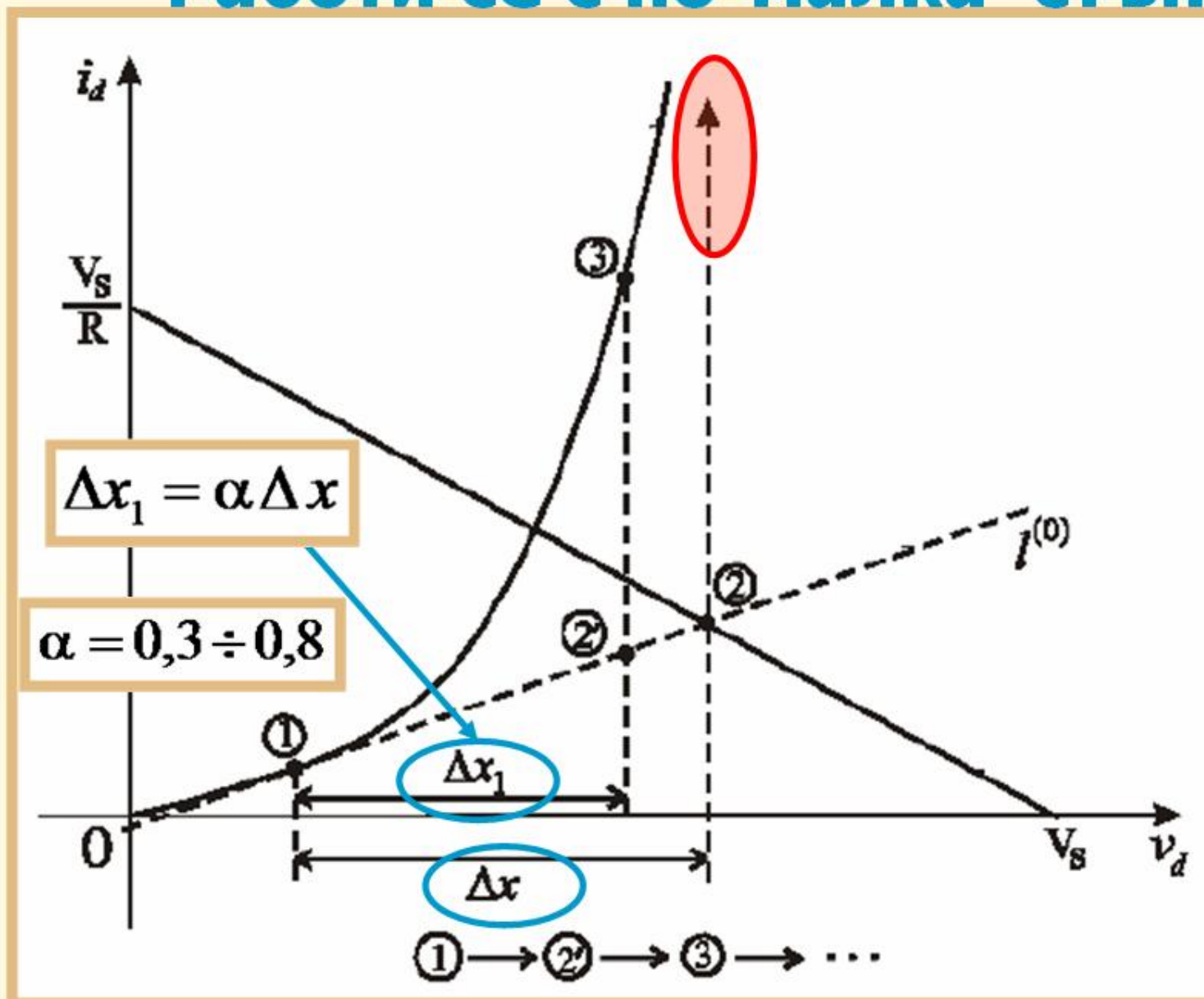


1. Метод на Нютон - недостатък

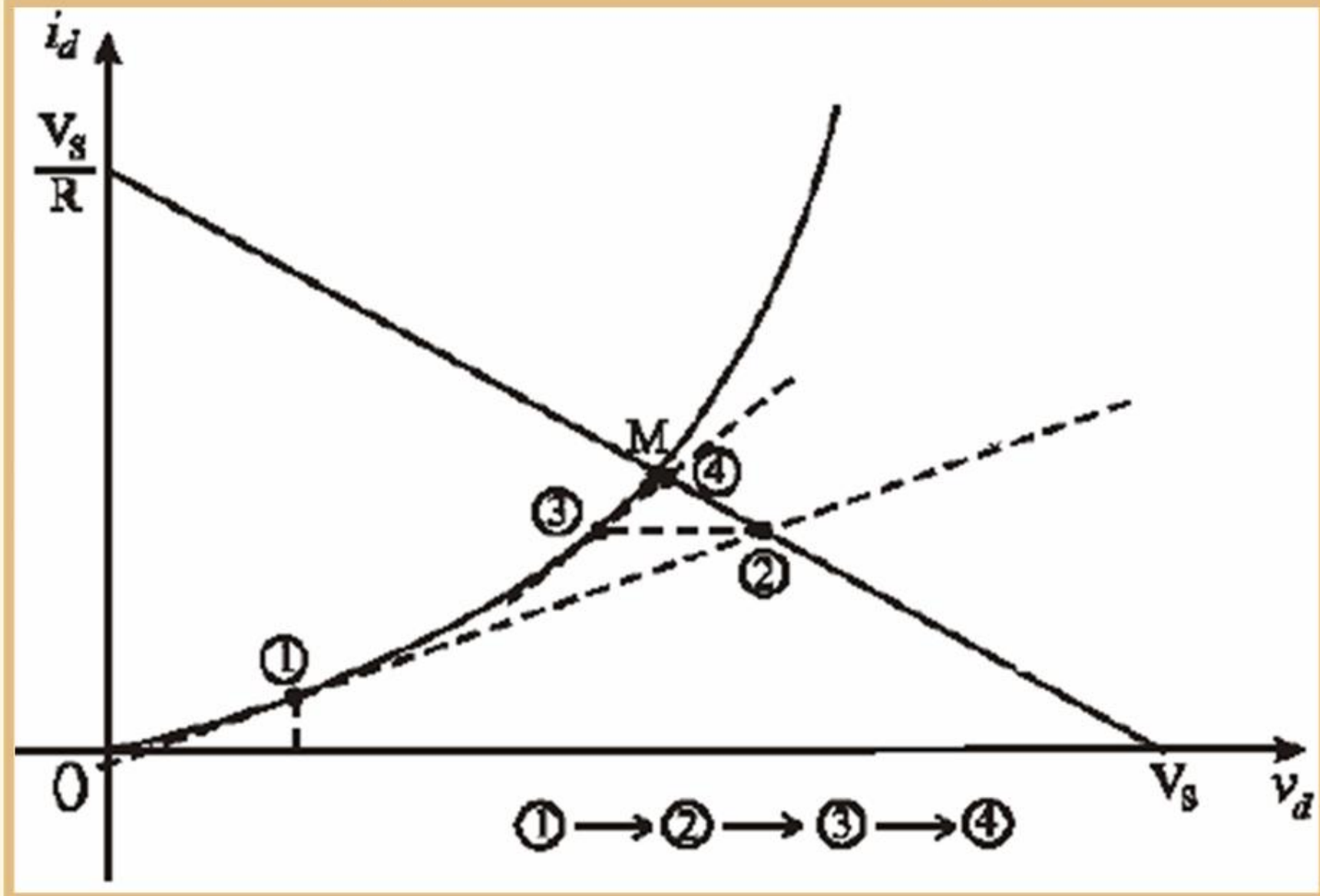


Метод на Бройден

Работи се с по-малка стъпка

 Δx_1 

Метод на Нютон – Рафсон



Метод на Нютон – Рафсон

Недостатък – трудно стартира от начални условия близо до 0



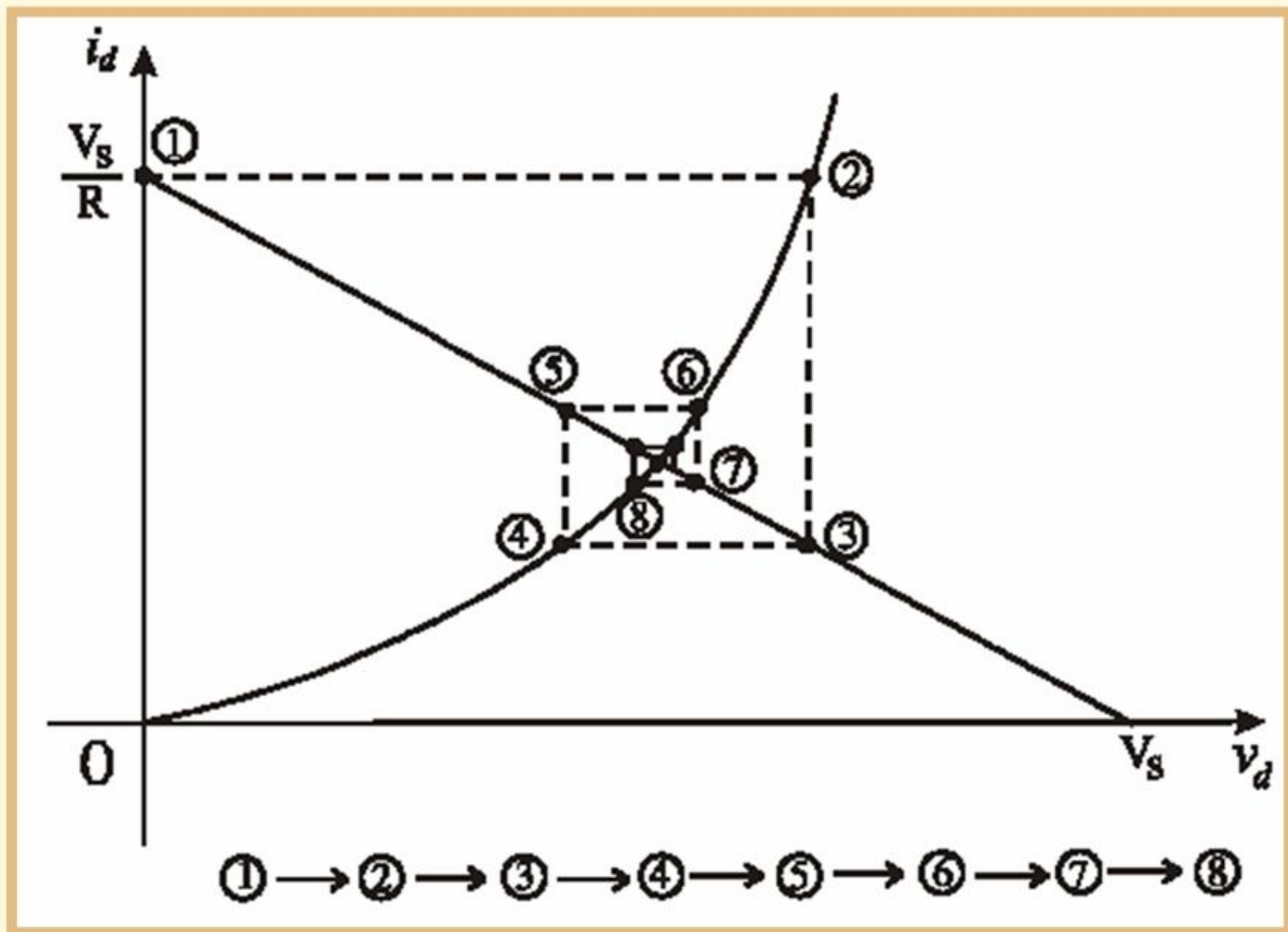
Метод на началната права

Вместо допирателна към т.1 се прекарва права между началото O и т.1

Преодолява недостатъка на метода на Нютон – Рафсон

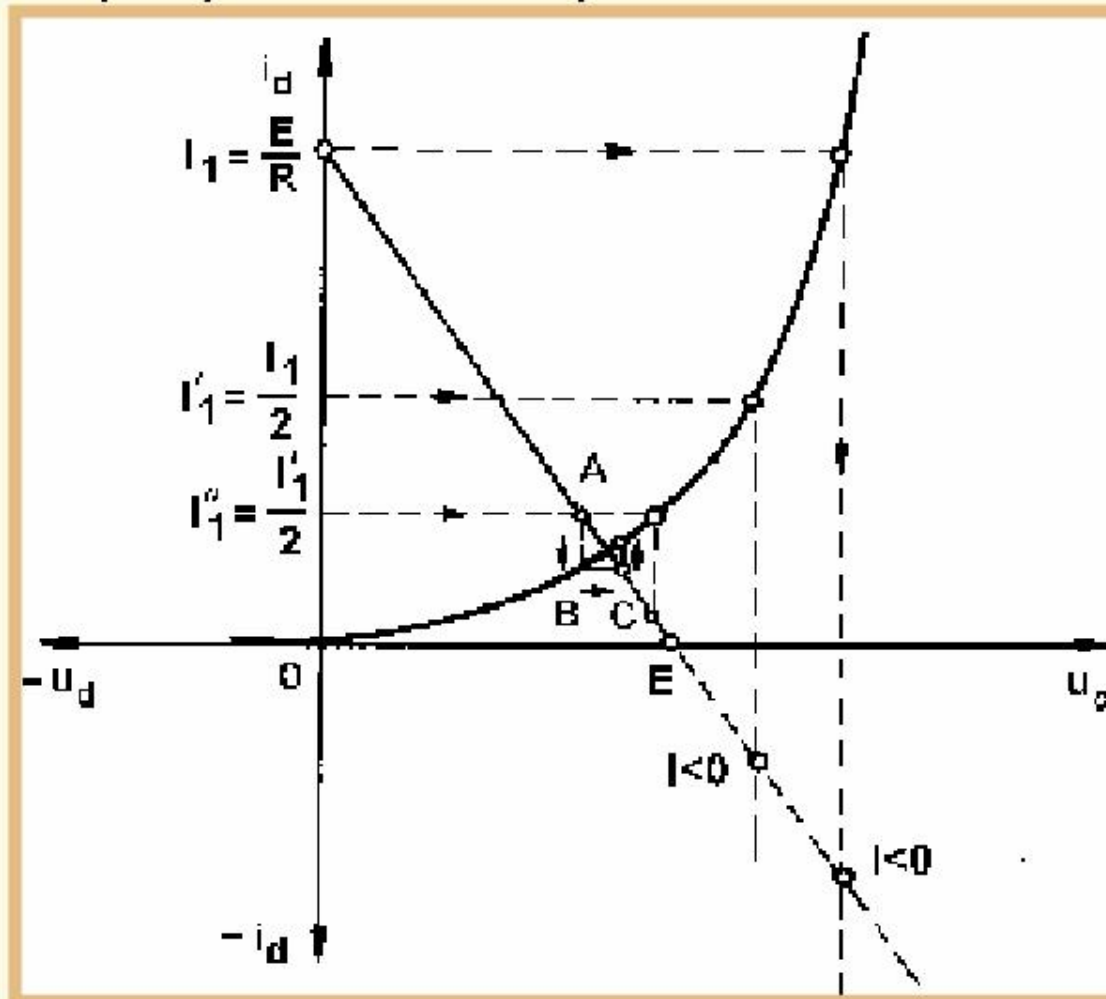


Метод на спиралата



Метод на спиралата - особености

- ❑ **когато в пресечната точка с товарната права $I_d < 0$** : стартира се от $I_1/2$, $I'_1 = I_1/2$, ...
- ❑ **ако процесът се получи разходящ** – сменя се редът на образуване на спиралата



Сравнителна оценка на методите: предимства и недостатъци

Метод на	сходимост	скорост	проблеми
Нютон	добра	висока	Опасност от препълване
Бройден	много добра	средна	-
Нютон-Рафсон	много добра	много висока	Трудно стартира от нулеви начални приближения
началната права	много добра	средна	-
спиралата	много добра	средна	$l_d < 0$, разходяща спирала

2.3.2. Определяне на постояннотоковия режим на електронни схеми, многовариантен постояннотоков и температурен анализ с програми от типа на OrCAD PSpice. Определяне на предавателната характеристика и изследване на шумоустойчивостта на цифров инвертор чрез постояннотоков анализ.

Cadence PSpice позволява да се извършва ПТА за изследване на статичния режим на схемата. Основни задачи, решавани чрез ПТА:

- Определяне на токовете и напреженията в работната точка при нелинейни схеми (режим **.OP);**

- Многовариантен ПТА за изследване на стационарните токове и напрежения при изменение на параметрите на елементите, които влияят върху статичния режим (режим **.DC).**

1. Анализ в работната точка

- При стартиране на PSpice се извършва **автоматично ПТА** и се определят **параметрите на линеаризирания модел на схемата в работната точка.**
- Какъвто и друг анализ да се заяви от страна на потребителя, **симулаторът трябва да мине успешно през постояннотоковия анализ.**
- Налага се потребителят да бъде запознат с основните **средства за контрол и настройване на изчислителния процес при постояннотоков анализ**, за да може успешно да преодолява евентуално възникнали изчислителни проблеми.

Извеждане на резултатите от анализа на работната точка

- В табличен вид в изходния (.out) файл.**
- Визуализиране върху екрана на възлови потенциали, токове и мощности в работната точка.**

2. Многовариантен ПТА с една променлива величина

Извършва се ПТА за определяне на стационарните токове и напрежения при изменение на стойностите на елементи, влияещи върху статичния режим:

- параметри на независими източници на ток или напрежение ;**
- температура ;**
- параметри на модели на елементите и др.**

Този режим се осъществява чрез **постояннотокова развивка (DC Sweep).**

3. Многовариантен постояннотоков анализ с две променливи величини (построяване на фамилии от криви)

- Използване на **вложен цикъл** за построяване на фамилия от криви (Secondary sweep)
- Използване на **параметричен анализ** за построяване на фамилия от криви (Parametric Analysis)

4. Многовариантен постояннотоков анализ чрез комбиниране на вложен цикъл с параметричен анализ

5. Контрол на точността и сходимостта на изчислителния процес

Точността на анализа се управлява с параметрите от команда **.OPTIONS:**

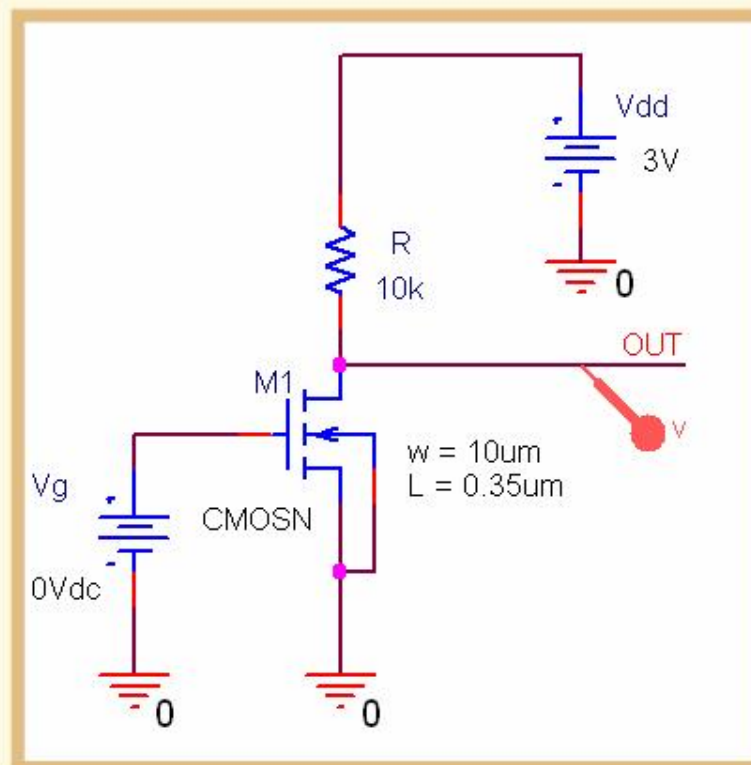
- ❑ **RELTOL** - относителна грешка;
- ❑ **VNTOL** - абсолютна грешка за напреженията;
- ❑ **ABSTOL** - абсолютна грешка за токовете.

Стойностите по подразбиране са:

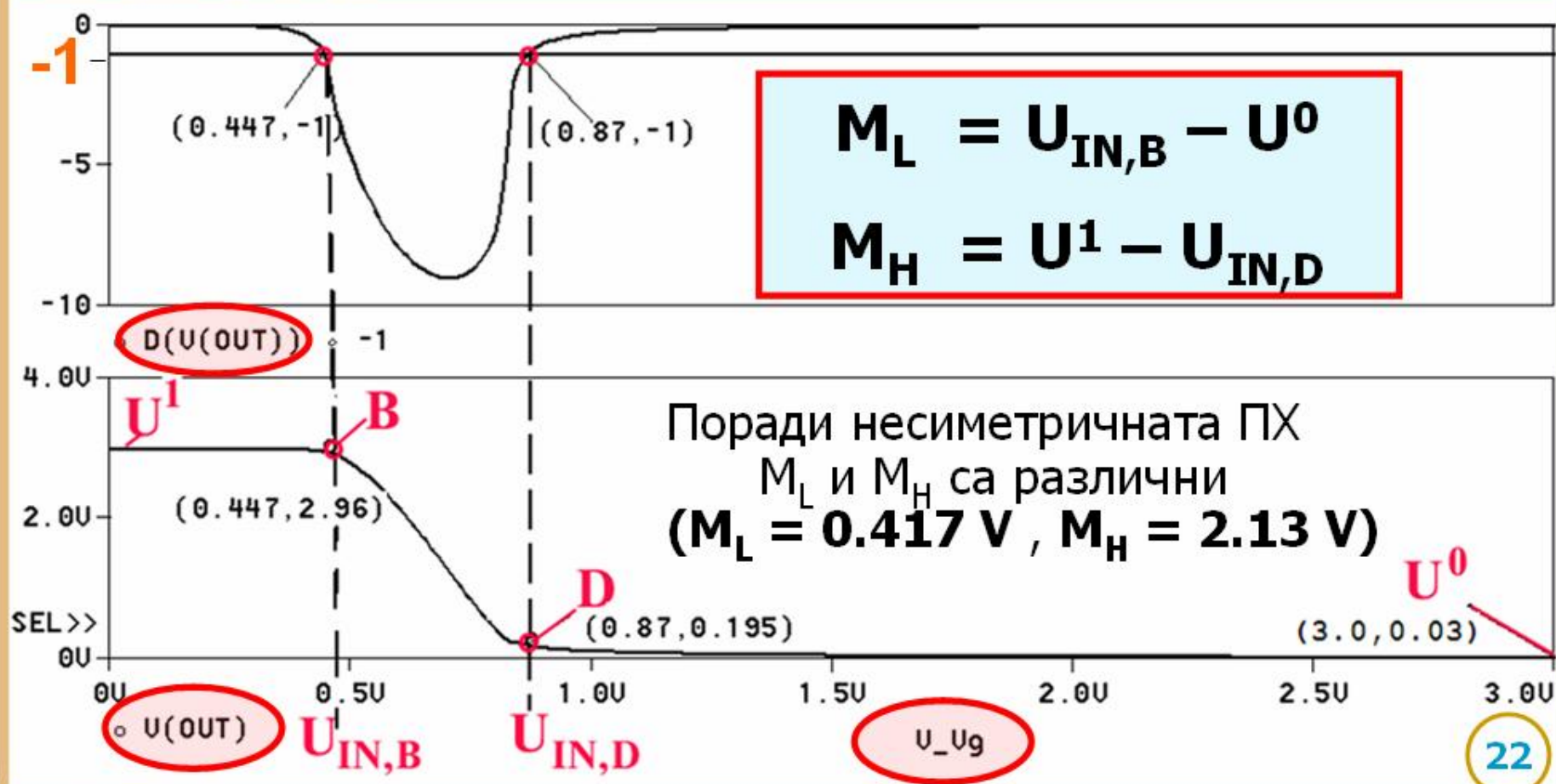
RELTOL=0.001
VNTOL=1E-6 V
ABSTOL =1E-12 A

6. Пример за ПТА: определяне на предавателната характеристика и изследване на шумоустойчивостта на цифров инвертор

Построяване чрез постояннотокова развивка на **предавателната характеристика** (ПХ) $V_{OUT} = f(V_g)$
Шумоустойчивост (**запасът на шумоустойчивост**)
 M_L на U^0 (логическата нула) и M_H на U^1 (логическата единица)

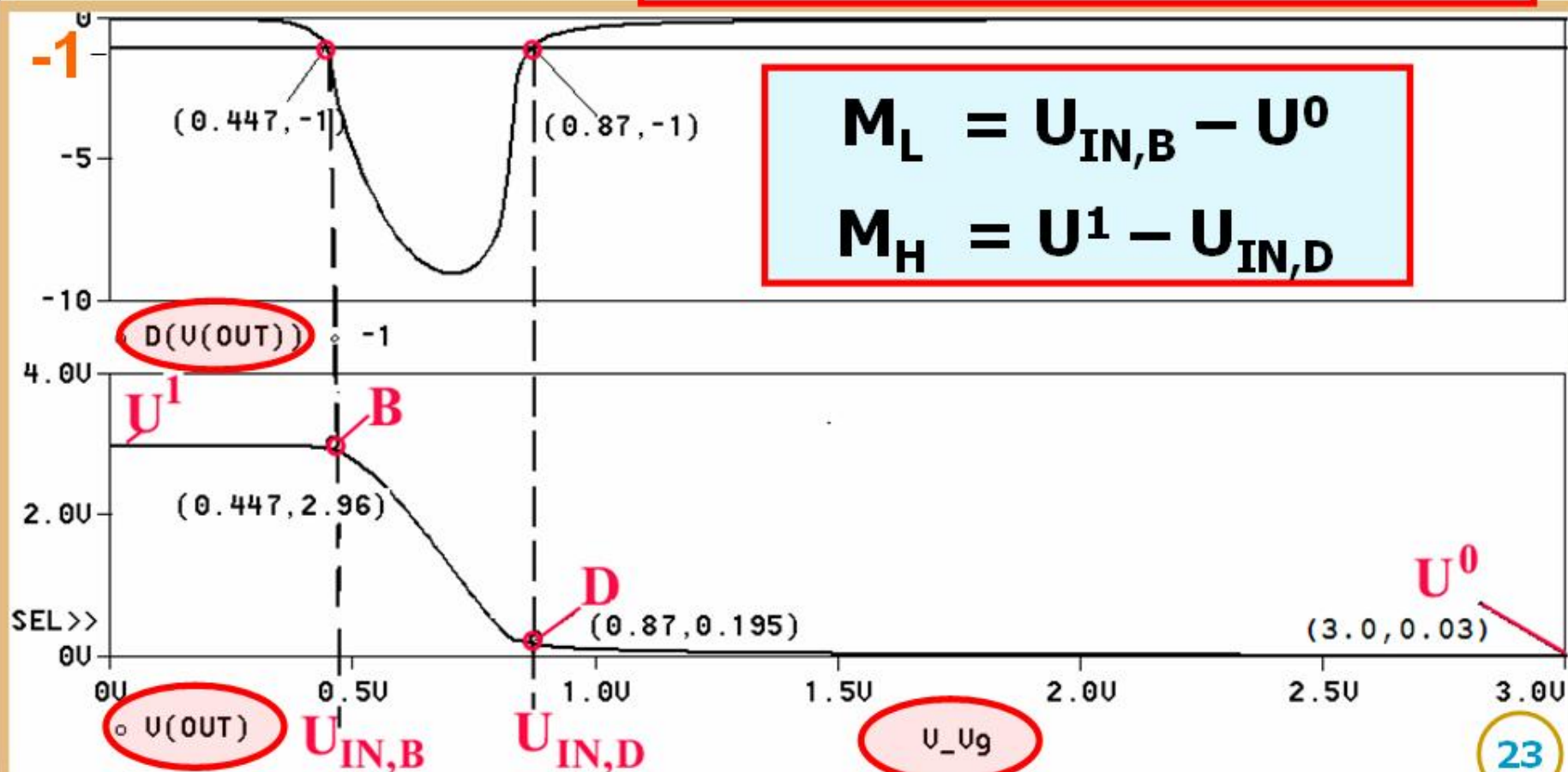


Определят се т. **B** и т. **D** от ПХ, при които допирателната към нея е под ъгъл -45° . За целта се диференцира функцията $V(\text{OUT})$ с помощта на вградената функция на *Probe* $D(\)$. Прекарва се хоризонталната права -1 . От пресечните точки с производната $D(V(\text{OUT}))$ се определят точки **B** и **D**.



Определяне на M_L и M_H
в Probe с макросите:

$U0 = \text{MIN}(V(\text{OUT}))$
 $U1 = \text{MAX}(V(\text{OUT}))$
 $UINB = \text{XatNthYn}(D(V(\text{OUT})), -1, 1)$
 $UIND = \text{XatNthYp}(D(V(\text{OUT})), -1, 1)$
 $MH = U1 - UIND$
 $ML = UINB - U0$



Приложение на **параметричен анализ** за симетриране на P_X и изравняване на M_L и M_H в схема на CMOS инвертор

Параметър: **Wp**

PARAMETERS:

WP = 21um

