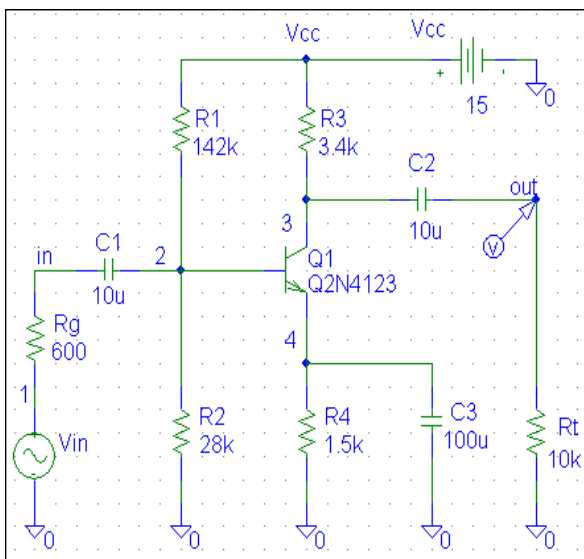


Демонстратор: Времени анализ на стъпало OE с Pspice

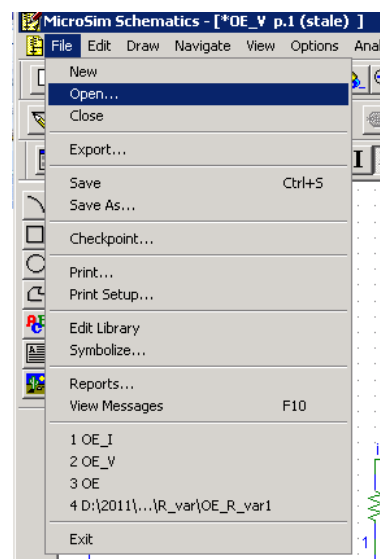
1. Цел

Целта на демонстратора е да ви представи примерна процедура за времеви анализ на едностъпален транзисторен усилвател с **PSpice** (фиг.1). Това ще ви помогне при подготовката и изпълнението, както на упражненията по ТЕС, така и при самостоятелната ви работа със студентската версия на **OrCAD**.

Проследете демонстратора и изпълнете отделните етапи при изследването на времевите характеристики на транзисторния усилвател в схема OE от фиг. 1.



фигура 1



фигура 2

2. Времени анализ с PSpice

Поведението на схемата се изследва във времето, при изменение на един или няколко входни източници, или се изследват генерациите в схемата, ако тя е проектирана като генератор на променливи сигнали. В първия случай, се определя и визуализира реакцията на схемата при входни въздействия с променливи във времето стойности, т.е. изчисляват се напреженията, токовете и логическите състояния в схемата като функции на времето. Във втория случай, само включването на постояннотокното захранване е достатъчно, за да предизвика самовъзбуждането на генераторната схема и тогава **PSpice** изчислява и визуализира формата на генерираните от схемата сигнали.



Времевиият анализ е най-често използваният от проектантите анализ при симулации с **PSpice**. Фурие анализа (хармоничният анализ) се изпълнява заедно с времеви анализ. Изчисляват се постояннотокната съставка и хармоничните съставки (компонентите на Фурие) по отношение на амплитудата и фазата на сигнала, чрез разлагане в ред на Фурие на резултатите от времеви анализ.

3. Визуализиране на файла със схемата

В средата на графичния редактор *Schematics* чрез бутона *Get Open* от менюто

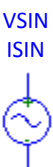
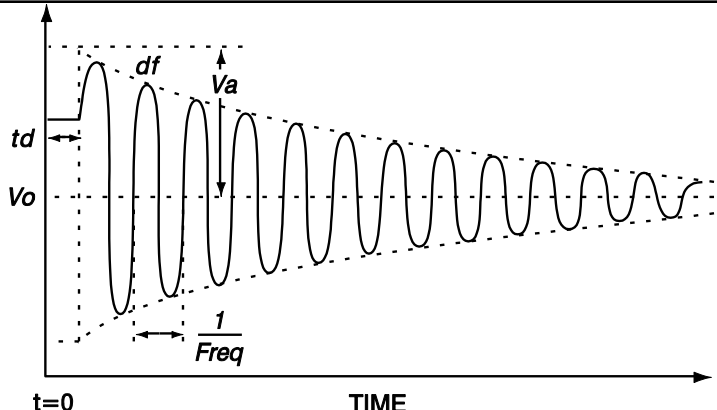
File (фиг. 2) изберете файла с начертаната схема (.sch) на усилвателя от фиг. 1.

4. Дефиниране на параметрите на входния сигнал

За да извършите времеви анализ, на входа на вашата схема, трябва да разположите и свържете независим източник с определена форма на входния сигнал (синусоидална, импулсна, експоненциална) и да зададете съответната спецификация за входното въздействие.

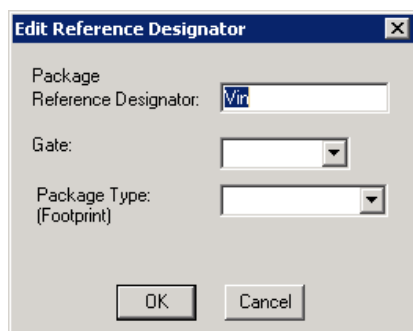
Премахнете VAC източника и на негово място поставете източник на входен сигнал, например, със синусоидална форма (VSIN). Дефинирайте атрибутите на входния сигнал: напрежение с идеална синусоидална форма, амплитуда 1mV и честота 1kHz (таблица 1).

таблица 1

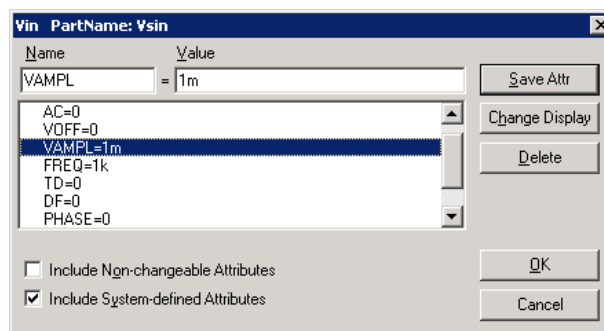
	Основна форма	SIN (<i>ioff</i> <i>iampl</i> <i>freq</i> <i>td</i> <i>df</i> <i>phase</i>) SIN (<i>voff</i> <i>vampl</i> <i>freq</i> <i>td</i> <i>df</i> <i>phase</i>)		
	Пример	ISIG 10 5 SIN(2 2 5Hz 1sec 1 30)		
	Параметри, формиращи сигнала			
	Параметър	Описание	Мерна единица	Заложено по подразбиране
	<i>ioff</i> / (<i>voff</i>)	начален ток / напрежение (постоянно т. отместване)	ампер/волт	няма
	<i>iampl</i> / (<i>vampl</i>)	амплитуда	ампер/волт	няма
	<i>freq</i>	честота	hertz	1/TSTOP
	<i>td</i>	закъснение	секунда	0
	<i>df</i>	коефициент на затихване	1/ секунда	0
	<i>phase</i>	фаза	градус	0
<p>Описание</p> <p>При синусоидалната развивка напрежението първоначално има стойност: $voff + vampl * \sin(2\pi * phase / 360^\circ)$, която задържа за време td секунди, след което развивката продължава като формата на сигнала следва експоненциално затихваща синусоида описана със зависимостта:</p> $voff + vampl * \sin(2\pi * (freq * (TIME - td) + phase / 360^\circ)) * EXP(-(TIME - td) * df).$ <p>Ако затихващият фактор е нула, синусоидалната вълна е без затихване.</p>				
				

Атрибутите на времевия независим източник на напрежение със синусоидална форма **VSIN** са: име **Vin**, постояннотокова амплитуда - **DC**, променливотокова амплитуда - **AC**, начално напрежение (постояннотоково отместване), - амплитуда, - честота; **TD** - закъснение; **DF** - коефициент на затихване; **PHASE** - фаза.

Присвоете име **Vin** (това е източникът на входен сигнал) **DC 0V**, **AC 0V**, **VOFF 0V**, **VAMPL 1mV** (малка амплитуда, за да не се насити транзистора), **FREQ 1kHz** (от честотната лента на усилваея); **TD 0s**, **DF 0s**, **PHASE 0°**, както е показано на (фиг. 3) и (фиг. 4).



фигура 3




фигура 4

! За извършването на времеви анализ е задължително въвеждането на всички атрибути на **VSIN** (**VOFF**, **VAMPL**, **FREQ**, **TD**, **DF**, **PHASE**). Ако сте поставили времеви източник **VSIN**, може да задавате и извършвате едновременно постояннотоков, честотен и времеви анализ.

5. Специфициране параметрите на времевите анализи **Transient ...** и **Fourier Analysis**

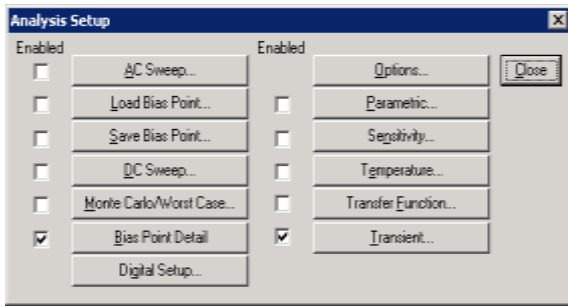
Времевият анализ предполага формиране на схемните уравнения в интегрално-диференциален вид (по някои от известните методи, например по метода с възловите потенциали), и решаването им чрез числено интегриране. По принцип, времето за изчисления е пропорционално на броя дискретни моменти от времето, в които схемата се моделира и анализира, а избраната времева стъпка определя точността на полученото решение. Необходимо е да се подчертае още, че при времевия анализ **PSpice** симулира поведението на схемата винаги, започвайки от време нула до зададено крайно време.

! По принцип **Transient ...** се използва винаги, когато искаме да построим графика, при която по абсцисната ос се изобразява времето.

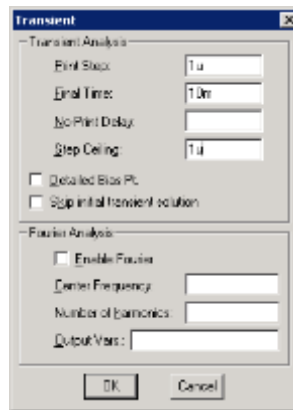
От менюто **Analysis** чрез опцията **Setup** или чрез бутона  отворете диалоговия прозорец от фиг. 5 и изберете **Transient ...**.

След отварянето на диалоговия прозорец **Transient ...** е необходимо да зададете параметрите на времеви и Фурие анализа (фиг. 6 и фиг. 7).

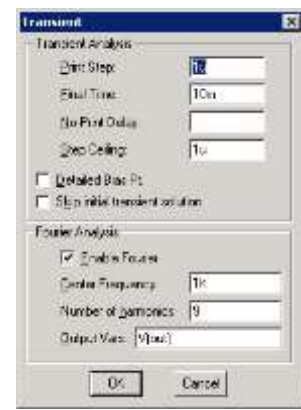
! Времевият анализ се извършва винаги от началния момент **0**, следователно е необходимо да се зададете само крайното време (**Final time**).



фигура 5



фигура 6



фигура 7

Крайното време се определя съобразно конкретната задача: ако трябва да определите параметрите на сигнала (преден и заден фронт, скорост на нарастване и др.) ви препоръчваме да зададете 1-2 периода на входния сигнал. Ако извършвате Фурие анализ, ви препоръчваме задаването поне на 10 периода (обикновено се изследват 9 хармоника).

В разглеждания случай задайте **10ms (10*T)** за **Final time**.

При времеви анализ на линейни схеми **PSpice** изчислява напреженията и токовете в схемата с вътрешна стъпка на изменение на времето, която се настройва автоматично от системата. Нейната максимална стойност можете да контролирате чрез задаването ѝ в полето **Step Ceiling**. Степента на гладкост на изобразяваната графиката се контролира чрез **Print step**.

И двете стъпки (**Step Ceiling** и **Print step**) в случая задайте с една и съща стойност. За определяне на стъпката, използвайте познатата формулата

$Inc = \frac{t_{end} - t_{start}}{1000}$. В разглеждания случай $Inc = \frac{T}{1000}$. Периодът на входния сигнал е

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1.10^3} = 1ms, \text{ тогава за двете стъпки задайте } 1\mu s.$$

Често пъти, преходният процес продължава дълго време. Тогава, чрез задаване на стойност в полето **No-Print Delay**, ще определите след колко време от началния момент, ще започне изобразяването на графиката.

Ако изобразяването започва от началния момент, не задавайте нищо в полето **No-Print Delay**.

Времеви анализ, може да бъде извършен самостоятелно. Изпълнението на Фурие анализ е възможно само след завършването на преходния анализ. Затова, предварително се задават необходимите спецификации за времеви и хармоничен анализ.

Хармоничният анализ в действителност изчислява постоянната компонента на сигнала и първите n хармоници (по амплитуда и фаза) на резултата от преходния анализ. По подразбиране се изчисляват първите девет елемента в

реда на Фурие, но е възможно да зададете изчислението и на повече елементи.

И така, за централна честота (честота на основния хармоник) (**Center Frequency:**) задайте **1kHz**; за брой хармоници (**Number of harmonics**) задайте **9**; за изходна променлива (**Output Vars:**) задайте напрежението в изходния възел (**V(out)**).



Ако не разрешите извършването на Фурие анализ (**Noise Enabled** - разрешен), въпреки, че сте задали параметрите му, хармоничен анализ няма да бъде извършен.

В средата на схемния редактор **Schematics** стартирайте симулациите.

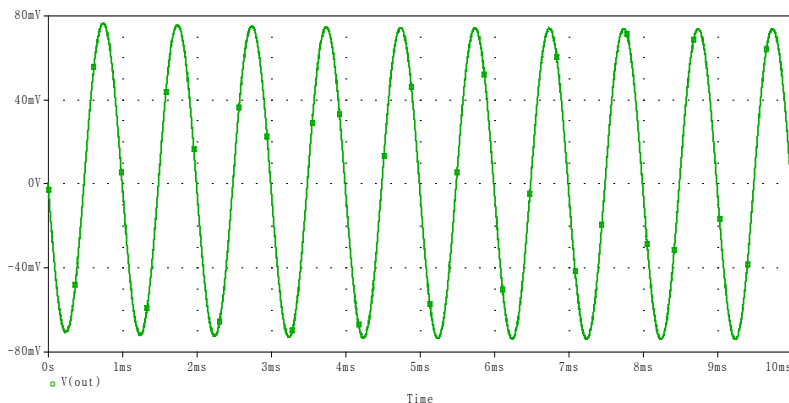
Netlist-a на схемата и командите, с които се задават анализите, са показани на фиг. 8 и фиг. 9.

<pre> * Schematics Netlist * C_C1 in 2 10u R_Rg 1 in 600 V_Vcc Vcc 0 15 R_Rt 0 out 10k Q_Q1 3 2 4 Q2N4123 C_C2 3 out 10u C_C3 0 4 100u R_R1 2 Vcc 142k R_R2 0 2 28k R_R3 3 Vcc 3.4k R_R4 0 4 1.5k V_Vin 1 0 DC 0 AC 0 +SIN 0 1m 1k 0 0 0 </pre> <p style="text-align: center;">фигура 8</p>	<pre> ** Analysis setup ** .tran 1u 10m 0 1u .four 1k 9 V([out]) .OP - анализ 'Детайли на работната точка' </pre> <p style="text-align: center;">фигура 9</p>
--	---

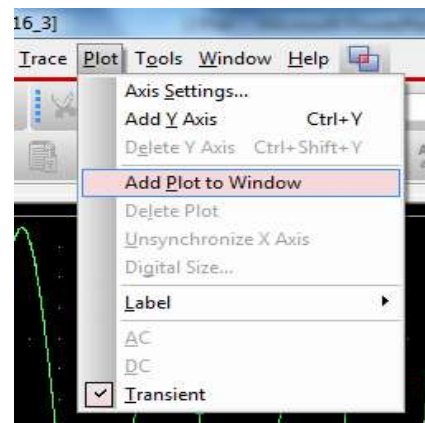
6. Визуализиране на времевите характеристики в Probe



Резултатите от анализа **Transient ...** са само в графичен вид. След завършване на изчислителните процеси, автоматично се отваря графичният постпроцесор (програмен осцилоскоп) **Probe**.



фигура 10

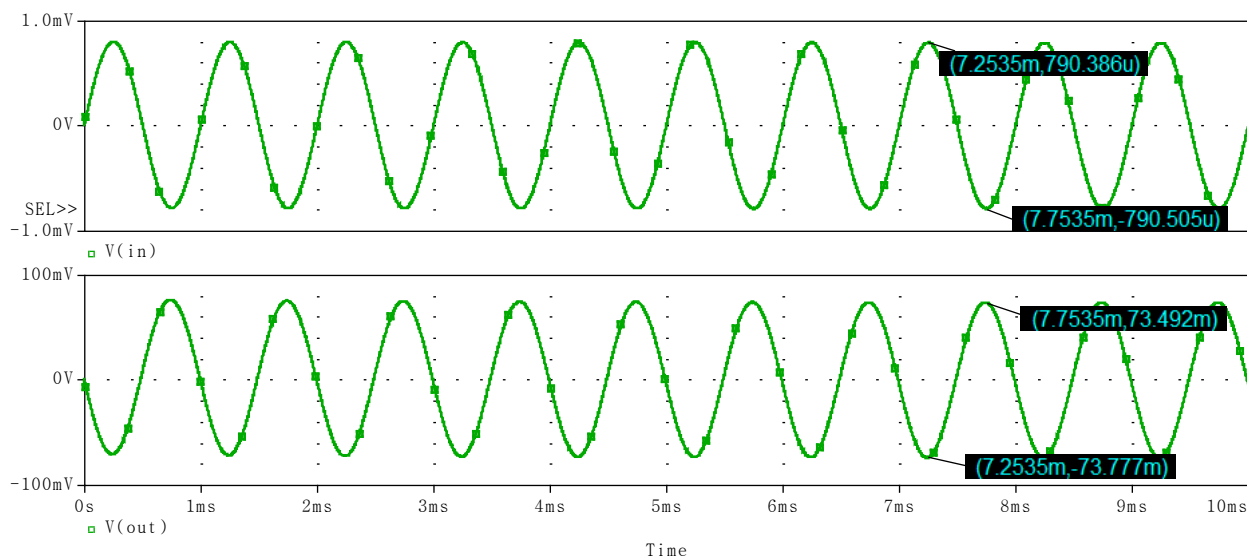


фигура 11

Ако искаме да бъде изобразено само изходното напрежение ($V(out)$), е уместно върху схемата да поставим маркер (фиг. 1). С автоматичното отваряне на *Probe*, се изобразява зададената графика (фиг.10).

За да се улесни анализа на получените резултати е добре в същата страница, но в ново работно поле да се построи графиката на входното напрежение.

За да поставите второ работно поле в работната страница, от менюто *Plot* изберете *Add Plot* (фиг. 11). В новото поле задайте $V(in)$, за да изобразите входното напрежение (фиг.12).



фигура 12

Оценяването на графичните резултати от времевия анализ ни позволява с помощта на курсор да отчетем параметрите на входния и изходния сигнал (Таблица2).

таблица 2

Параметър		Стойност	Измервателна единица
Символ	Наименование		
$U_{вх\ min}$	Минимално входно напрежение	-790,505	μV
$U_{вх\ max}$	Максимално входно напрежение	790,386	μV
$U_{изх\ min}$	Минимално изходно напрежение	-73,777	mV
$U_{изх\ max}$	Максимално изходно напрежение	73,492	mV

От получените резултати може да се направят изводите:

- Входният и изходният сигнал имат правилна синусоидална форма.
- Входното и изходното напрежение са в противофаза (изходният сигнал е инвертиран);
- Коефициентът на усилване по напрежение на положителната полувървна е **92,98** ($73,492 \cdot 10^{-3} / 790,386 \cdot 10^{-6}$), а на отрицателната полувървна **93,34** ($-73,777 \cdot 10^{-3} / -790,386 \cdot 10^{-6}$).
- Положителната и отрицателната полувървна се усилват балансирано;

Резултатите от **хармоничния (Фурие)** анализ са само в текстов вид и могат

да се открият в изходния файл.

Постоянната съставка на изходното напрежение е с амплитуда:

DC COMPONENT = 1.424794E-04

Амплитудата и фазата на първите 9 хармоника на изходното напрежение са както следва:

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED (DEG)	PHASE PHASE	NORMALIZED (DEG)
1	1.000E+03	7.376E-02	1.000E+00	-1.768E+02	0.000E+00
2	2.000E+03	4.204E-04	5.699E-03	9.689E+01	4.505E+02
3	3.000E+03	7.276E-05	9.864E-04	3.579E+01	5.662E+02
4	4.000E+03	5.740E-06	7.781E-05	-2.217E+01	6.850E+02
5	5.000E+03	4.368E-05	5.921E-04	-1.650E+02	7.190E+02
6	6.000E+03	4.349E-06	5.896E-05	6.543E+01	1.126E+03
7	7.000E+03	3.847E-05	5.216E-04	-1.519E+01	1.222E+03
8	8.000E+03	2.815E-06	3.816E-05	-3.161E+01	1.383E+03
9	9.000E+03	2.950E-05	3.999E-04	1.391E+02	1.730E+03

- Параметрите на основния хармоник са дадени в 1 ред;
- Нормализираната амплитуда (4 колона) се получава, като амплитудата на хармониците се разделя на амплитудата на основния хармоник;
- Нормализираната фаза (6 колона) се получава, като от фазата на хармониците се изважда фазата на основния хармоник;

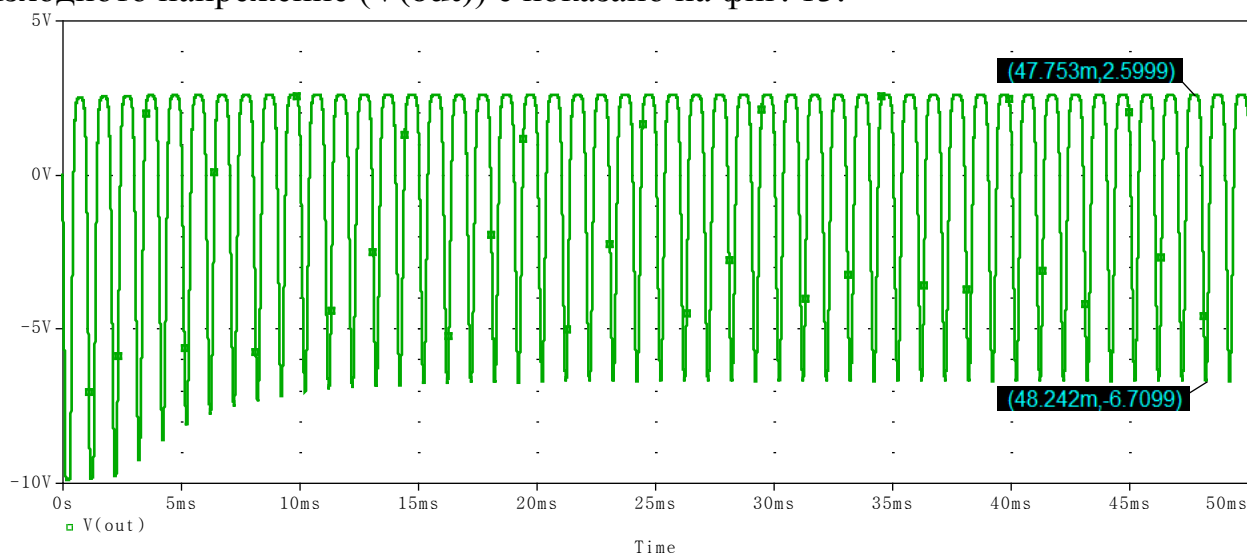
Коефициентът на нелинейни изкривявания има стойност:

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 5.852077E-01PERCENT

Коефициентът на нелинейни изкривявания k_h не превишава 1%.

Също така, интерес представлява изследването на схемата при повишаване на амплитудата на входния сигнал. За целта променете за **Vin** атрибута **VAMPL** от **1mV** на **100mV** и крайното време (**Final time**) за извършване на анализа от **10ms** на **50ms** (**50*T**).

Изходното напрежение (**V(out)**) е показано на фиг. 13.



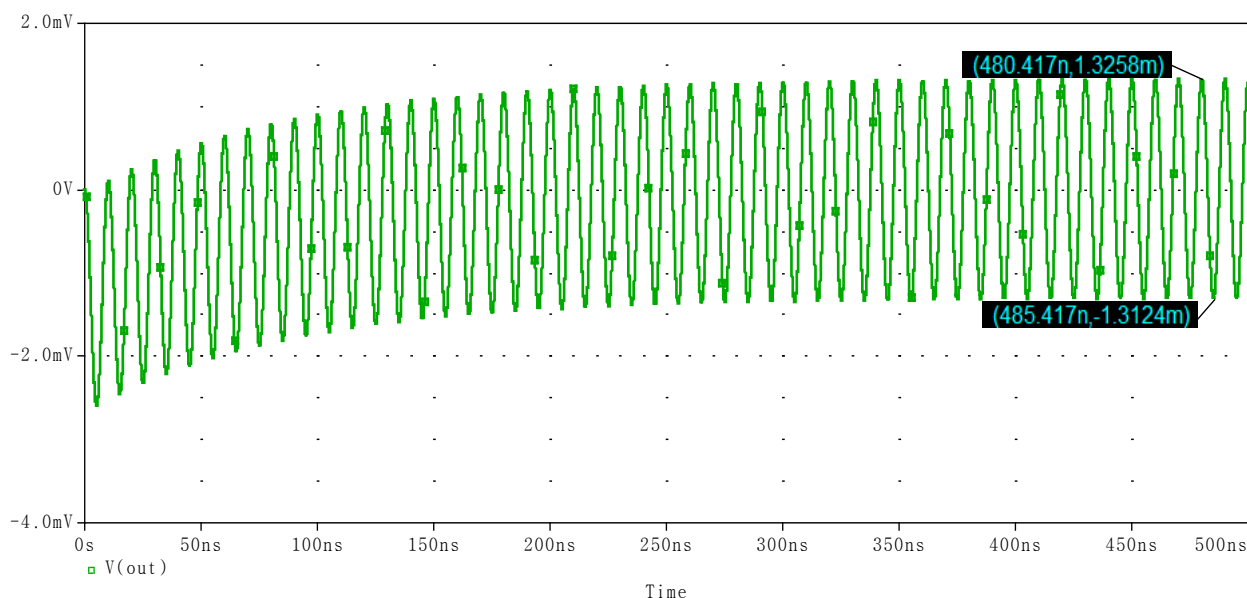
фигура 14

В резултат на увеличението на амплитудата на входния сигнал:

- нараства времето за установяване на устойчивото състояние на работа на схемата (преходният процес продължава по-дълго);
- формата на изходния сигнал се променя значително поради нарушената линейност;
- транзисторът ограничава положителната и отрицателната полуълна на изходния сигнал в различна степен;
- коефициентът на нелинейни изкривявания нараства значително (**51,51526 %**).

Друго интересно изследване на схемата е при честота на входния сигнал извън честотната лента. За целта променете за **Vin** атрибура **FREQ** от **1kHz** на **100MHz** (възстановете **VAMPL** на **1mV**). Също така, променете крайното време (**Final time**) за извършване на анализа от **10ms** на **500ns** (**50*T**), както **Step Ceiling** и **Print step** от **1μs** на **10ps** (**T/1000**).

Изходното напрежение (**V(out)**) е показано на фиг. 14.



фигура 14

При въздействието на входен сигнал с честота по-голяма от високата гранична честота на усилвателя, от графигата на фиг. 14 се вижда, че настъпват значителни промени в изходния сигнал:

- Коефициентът на усилване спада до **1**;
- Нараства времето за установяване на устойчивото състояние на работа на схемата (преходния процес продължава по-дълго);
- Коефициентът на нелинейни изкривявания нараства значително (**282,8390 %**).



Начертайте и анализирайте електронни схеми по ваш избор, за да се уверите, че можете да използвате времевите анализи с PSpice.