

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені
ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Охріменко Г.М.

ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ПРОЄКТ

ВИВЧЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ МЕТОДОМ
КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ПРОГРАМІ
LTspice™

МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ
для студентів фізичного факультету

Київ 2021

УДК 008.009 (006.21)

ББК 73Ц

I-72

Укладачі: Г. М. Охріменко

I-72 Індивідуальний проєкт. «Вивчення радіоелектронних схем методом комп'ютерного моделювання» : методичне видання - К./ укл. Г. М. Охріменко. – К. : КНУ ім. Т. Шевченка, 2021. – 17 с. (Укр. мов.)

Наведено загальний огляд інструментів, притаманних функціональним можливостям програми LTspice™.

УДК 008.009 (006.21)

ББК 73Ц

© Київський Національний
Університет імені Тараса Шевченка,
2021

ПЕРЕДМОВА

Автор методичного видання позиціонує його як доповнюючу складову методичних вказівок до практикуму з “Основ радіоелектроніки” та “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання” (Multisim™), які (в електронному варіанті) вже багато років успішно використовуються під час виконання лабораторних робіт студентами 2 курсу фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. В такому разі краще було б (з методичної точки зору) керуючись матеріалами видання здійснювати попередню перевірку рівня підготовки студентів до виконання лабораторної роботи шляхом побудови ними комп’ютерної моделі радіоелектронної схеми, яка потім буде реалізована і досліджена ними безпосередньо на макеті за допомогою конкретних приладів (блока живлення, осцилографа, генераторів). За допомогою наведених інструкцій студент буде в змозі провести усі без винятку операції, запропоновані до виконання у аналогічному виданні з моделювання для програми для ОС Windows на macOS або Linux.

Зміст

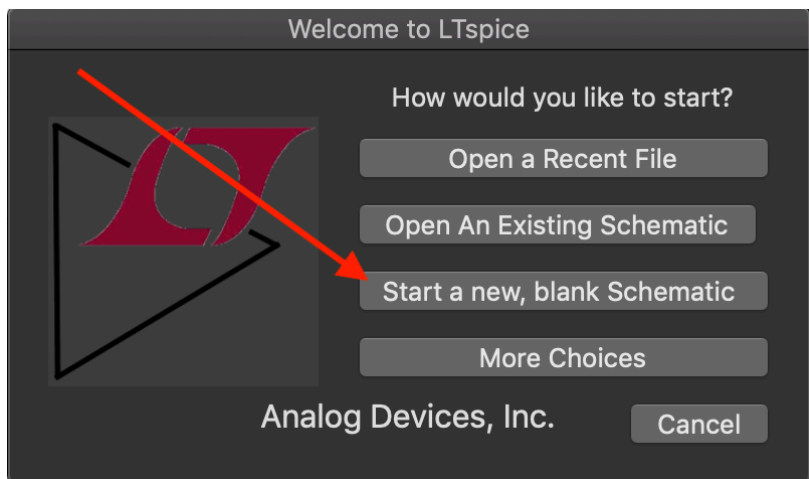
1. УСТАНОВКА ПЗ	5
2. ЗНАЙОМСТВО З ПРОГРАМОЮ.....	5
3. ОПЕРАЦІЇ МОДЕЛЮВАННЯ.....	6
ДОДАТОК: КЛАВІАТУРНІ СКОРОЧЕННЯ	16
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	17

1. Установка ПЗ

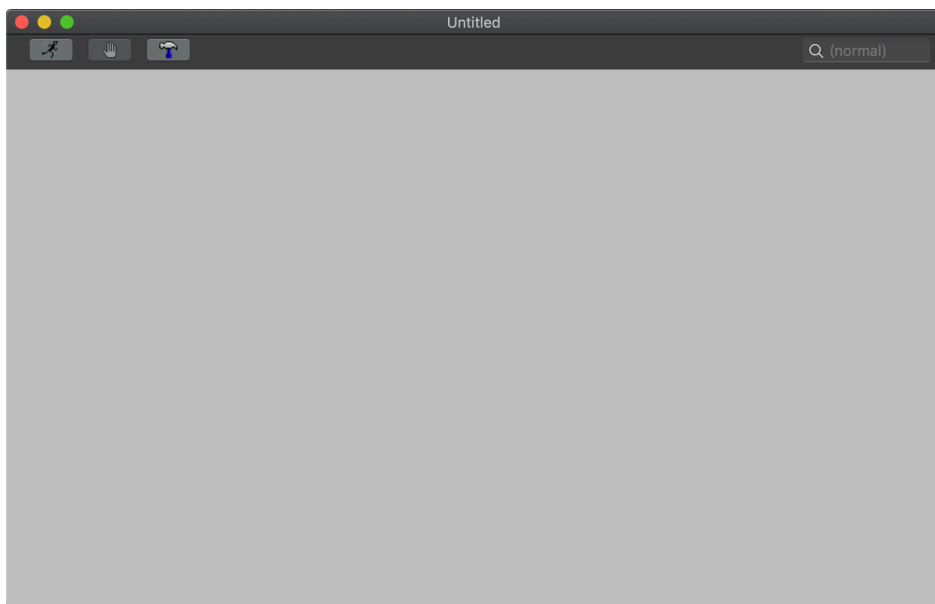
Аби встановити LTspice™ просто перейдіть за посиланням: <http://www.linear.com/LTspice>. Далі відкрийте завантажений віртуальний диск (macOS) і слідуйте інструкціям.

2. Знайомство з програмою

Відкрийте додаток. Одразу ви побачите наступне меню:

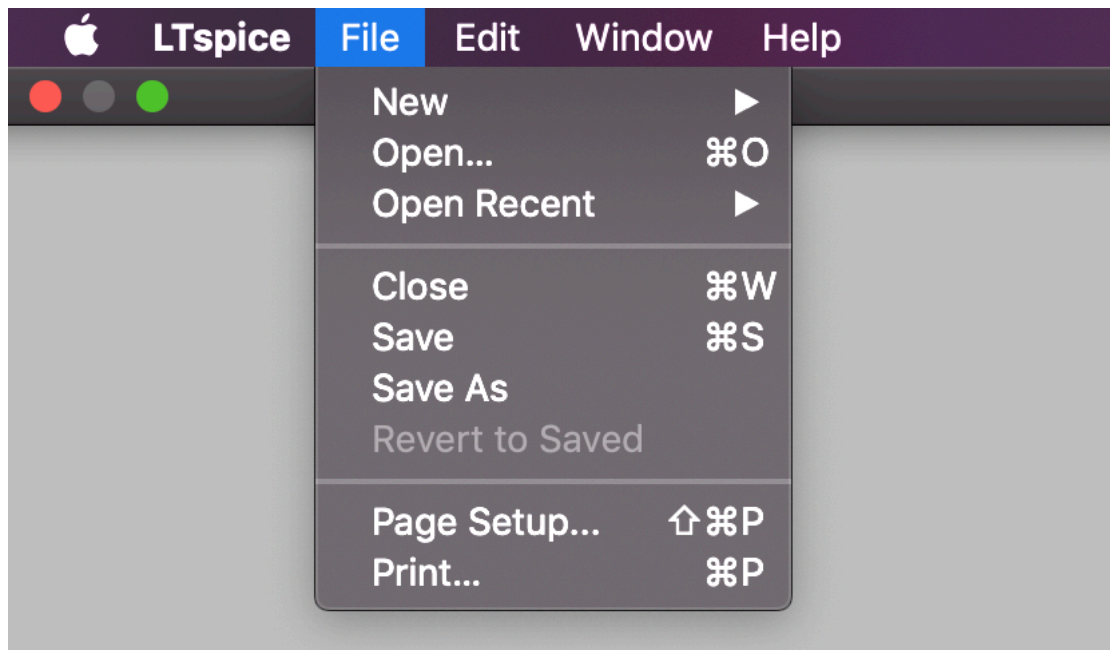


Для початку роботи натиснемо на вказану кнопку. У подальшому можна запускати вже збережені проекти чи заготовки. Після запуску ви зможете спостерігати наступний мінімалізм, який спершу може дещо спантеличити, але не поспішаймо з висновками!



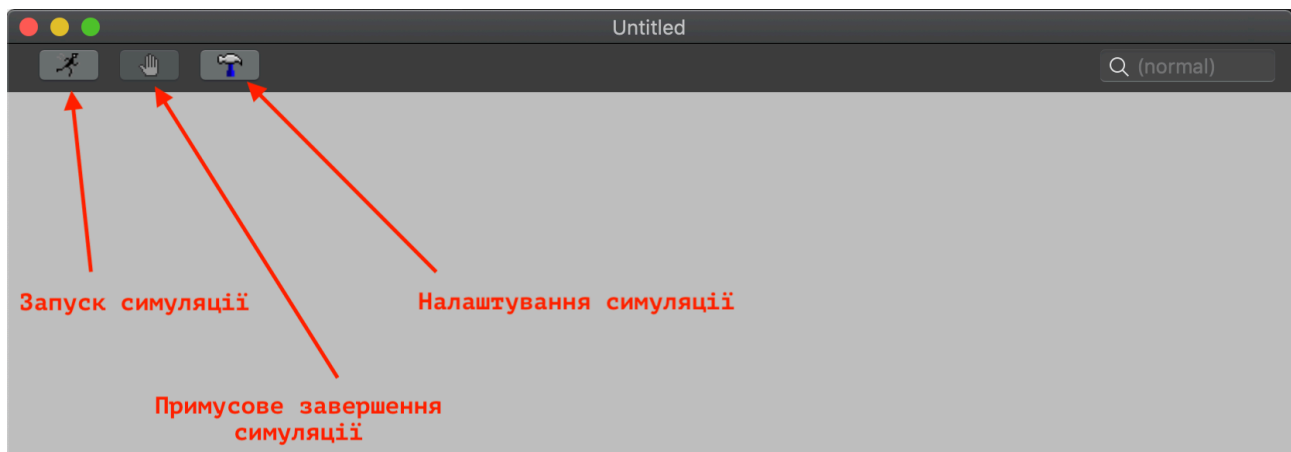
У подальшому з'ясується, що така версія програми, відмінна від того, яку ви можете побачити на більшості інструкцій з офіційного сайту чи YouTube, є виключно зручнішою для

наших потреб. Натомість, доведеться вивчити деякі клавіатурні скорочення (див. Додаток).



Як і в кожній іншій програмі, не забуваймо, що в нашому розпорядженні ще є верхнє контекстне меню для деяких наших потреб.

Тепер розберемось із верхньою панеллю.



Рекомендовано передчасно не змінювати налаштування симуляції. Втім, навіть на той випадок, якщо щось буде порушено, там наявна кнопка скиду до початкових налаштувань. Цей інструмент буде потрібен виключно під час виконання останньої лабораторної роботи для Фур'є-аналізу, про що буде сказано у відео нижче.

3. Операції моделювання

Перейдемо до головної мети нашої роботи: моделювання.

Гарно описано процес моделювання для початківців у наступному відео:

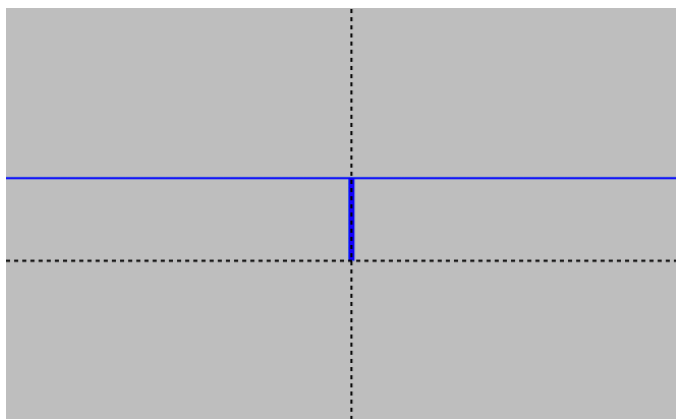
CIRCUITS 1 LTSPICE FIRST 8 MINUTES



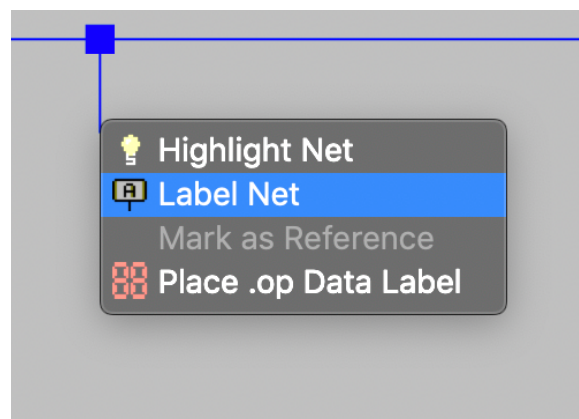
На сказаному у відео я зупинятись не буду, та і повторюватись теж, однак додам корисні поради:

- Спершу поставте одну компоненту зі схеми і встановіть її на віртуальний стіл. Побачивши її розмір (це дасть вам уявлення про масштаб і необхідний розмір всієї схеми), не продовжуйте заповнювати стіл іншими компонентами. Натомість, протягніть дріт приблизно таким прямокутником, який по формі буде схожий на майбутню схему. Далі проведіть дроти решти схеми так, щоб вона виглядала готовою, але ніби всі компоненти з неї зняли. Не бійтесь проводити суцільні дроти на місці майбутніх компонент: при наведенні компоненти на місце суцільного дроту вона встає куди треба, як би «розриваючи» його. Тільки тепер ставте решту компонент.
- Варто не забувати ставити «землю» у схемах. Є один нюанс лише щодо неї, але він буде описаний у наступному пункті. А поки опишу спосіб ставити «землю» естетичніше, ніж у відео.

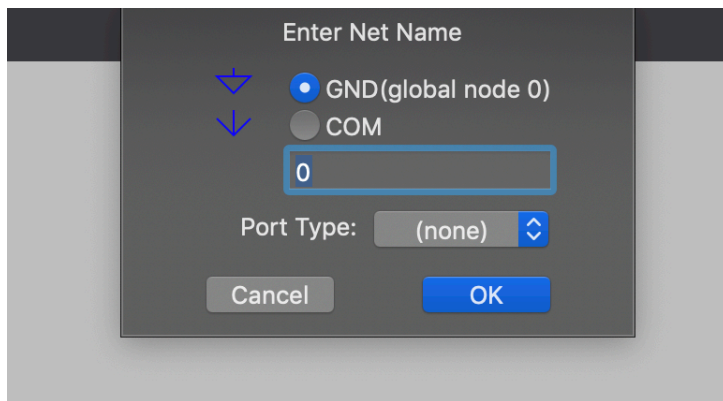
Крок 1: робимо хвостик



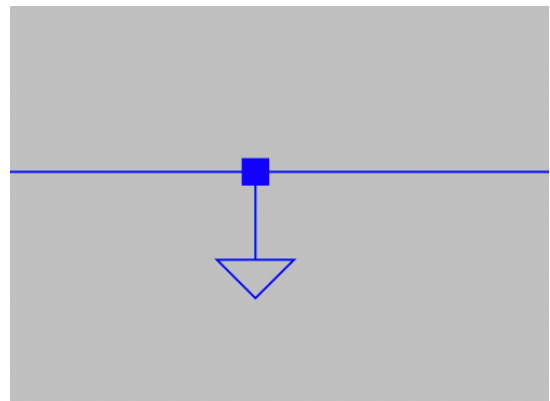
Крок 2: правий клік і обираємо це



Крок 3: обираємо це



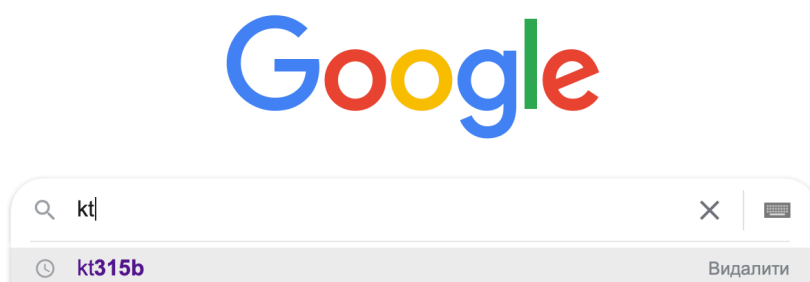
Крок 4: готово



- Наступне, що варто зазначити: як ви могли уже переконатись у відео, у даній програмі НЕМАЄ осцилографа як окремої компоненти, що безумовно добре. Це зменшує на 50% ймовірність некоректної роботи на початках, адже саме така частина помилок зазвичай пов'язана з правильним підключенням і «заземленням» осцилографа. І тепер ключовий момент: будуючи схему за зразком з книжки [1], пам'ятайте про те, що вам НЕ ПОТРІБНО «заземлювати» осцилограф. Ви заземлюєте (як у більшості схем) нижню гілку дроту, або ж просто ту, яка підводиться до мінуса джерела живлення. Словом, дивіться по схемі і відштовхуйтесь від того, що компоненти мають функціонувати (у протилежному випадку, міряючи напругу в гілках при запусненій схемі, ви побачите вгорі при наведенні на якусь гілку «This node is 0», що означатиме, що ця гілка заземлена). Якщо ви не хотіли заземляти її, то трошки виправте схему.
- Головна порада: звикайте до клавіатурних скорочень. Потрібних реально вам не так багато, тож у Додатку я виділив їх окремо. Разом із ними ви повністю розкриєте зручність цієї програми та перевагу над іншими програмами з моделювання. Натиснувши клавішу «fn» (MacBook з TouchBar), або одразу поглянувши на клавіші **f1-f12** (MacBook без TouchBar) ви бачите перед собою, фактично, всі ті інструменти, які у попередніх версіях програми були для чогось винесені на верхню панель. Щоб краще запам'ятати, де є що, методом «тику» спробуйте самі понатискати на ці **f-ки** і розібратись, яка за що відповідає. Вже за 5 хвилин ви будете здатні збирати схему феноменально швидко.
- Швидко знаходьте необхідні компоненти. Так, порада не універсальна, адже щоб знайти необхідний аналог транзистора чи діода до наведених у книжці [1] часом доведеться звертатись до Google, однак базові типи: резистор, конденсатор, джерело і т.п. ви повинні навчитись «drop-ати» за лічені секунди. Це відбувається так: **fn+f2**→*навіть окремо не клікаючи на строку пошуку (вона автоматично активована) починаєте вводити початок назви компонента*→*клавіша return (на MacBook)*→*якщо

потрібно перевертаєте деталь комбінацією **cmd⌘+R*→*** встановлюєте на потрібному місці*. Якщо навіть Google вам не допоміг, то є такий спосіб:

Крок 1: Пошук по назві (нам потрібні характеристики в будь-якому вигляді: табличка, документація і т.д.)



Крок 2: найчастіше, перше посилання

eandc.ru › catalog › detail ▼ [Перекласти цю сторінку](#)

[КТ315Б, Транзисторы биполярные, характеристики ...](#)

Транзисторы **КТ315Б** кремниевые эпитаксиально-планарные структуры п-р-п усилительные. Предназначены для применения в усилителях высокой, ...

Люди також шукають

[КТ315 характеристики](#)

[BC547](#)

[КТ315 чем заменить](#)

[КТ814](#)

[КТ315 содержание драгметаллов](#)

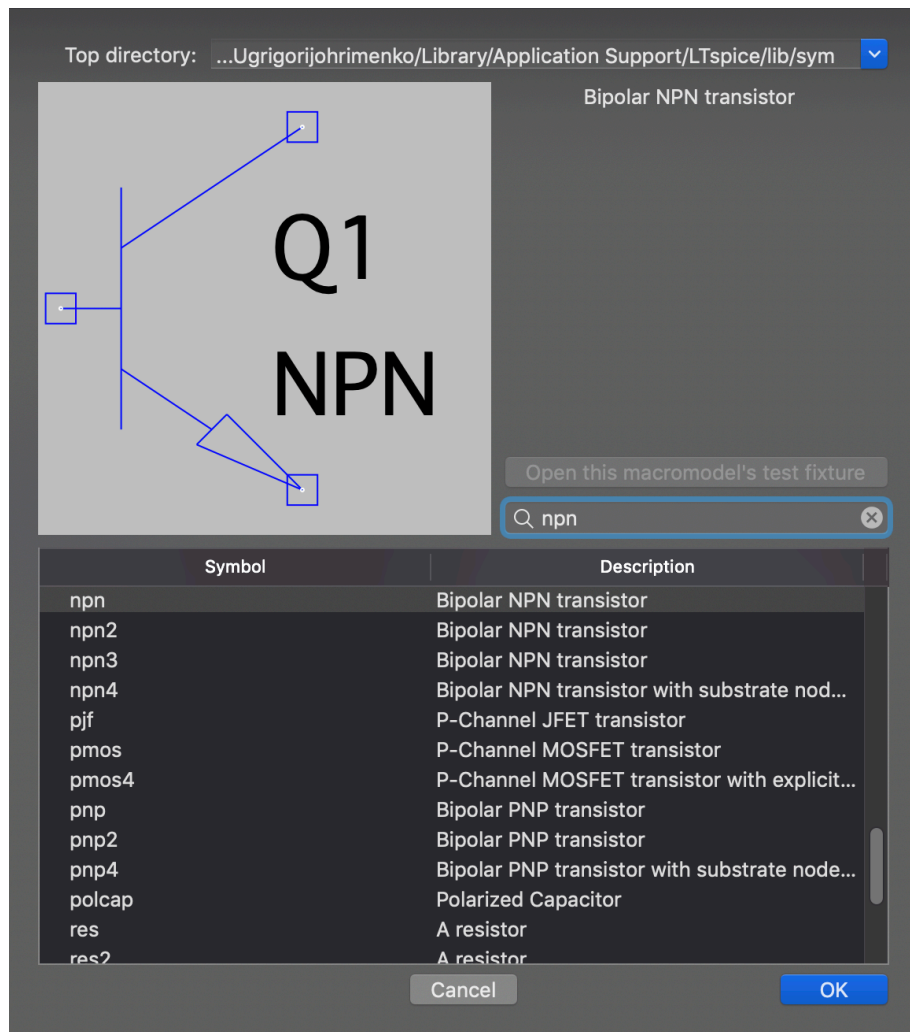
[КТ315Б характеристики](#)

Крок 3: знаходимо потрібний

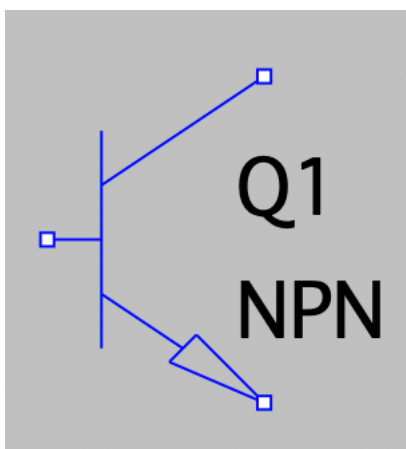
Характеристики транзисторов КТ315А, КТ315Б, КТ315В, КТ315Г, КТ315Д, КТ315Е, КТ315Ж, КТ315И, КТ315Р:

Тип транзистора	Структура	Предельные значения параметров при Тп=25°C						Значения параметров при Тп=25°C							Тп max	Т max
		Ik max	Ik. и. max	UкэR max (Uкэ0 max)	Uкб0 max	Uэб0 max	Рк max (Рк. и. max)	h21э	Uкэ нас.	Ikб0	f гр. (f h21)	Кш	Ск	Сэ		
		мА	мА	В	В	В	мВт		В	мкА	МГц	дБ	пФ	пФ	°C	°C
КТ315А	п-р-п	100	-	25	-	6	150	30...120	0,4	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315Б	п-р-п	100	-	20	-	6	150	50...350	0,4	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315В	п-р-п	100	-	40	-	6	150	30...120	0,4	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315Г	п-р-п	100	-	35	-	6	150	50...350	0,4	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315Д	п-р-п	100	-	40	-	6	150	20...90	0,6	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315Е	п-р-п	100	-	35	-	6	150	50...350	0,6	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315Ж	п-р-п	50	-	20	-	6	100	30...250	0,5	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315И	п-р-п	50	-	60	-	6	100	30	0,9	1	250	-	7	10	120	-60...+100
КТ315Р	п-р-п	100	-	35	-	6	150	150...350	0,4	1	250	-	7	10	120	-60...+100

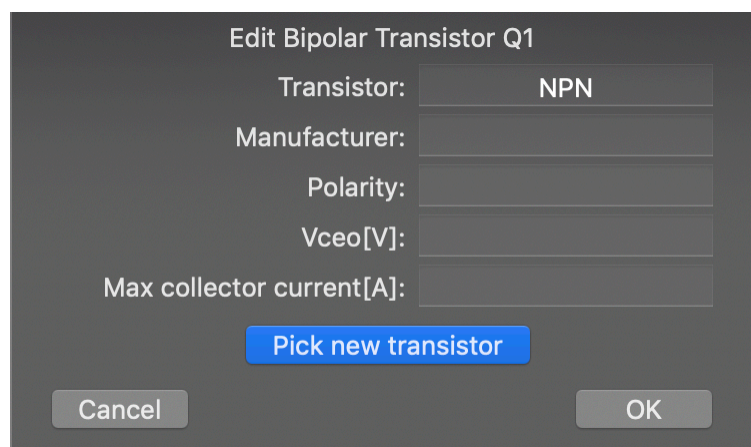
Крок 4: обираємо «заготовку» (у даному випадку, нам потрібен конкретний npn транзистор)



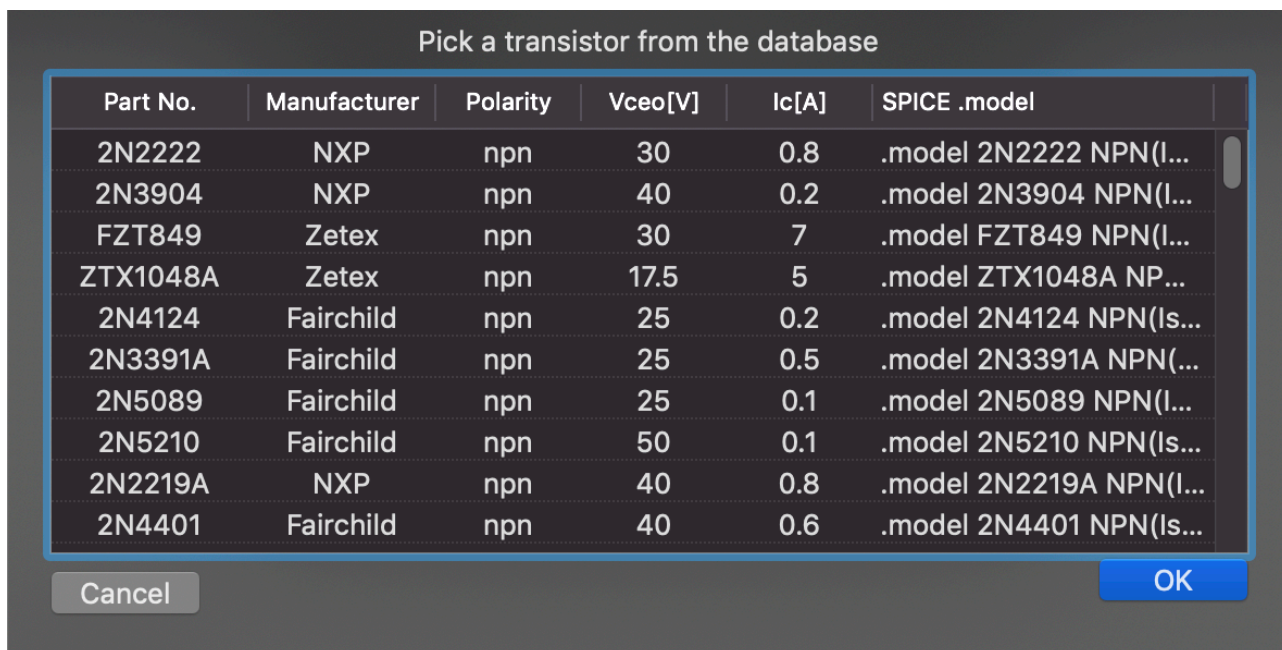
Крок 5: наводимо курсор, щоб з'явився вказівний палець і правий клік



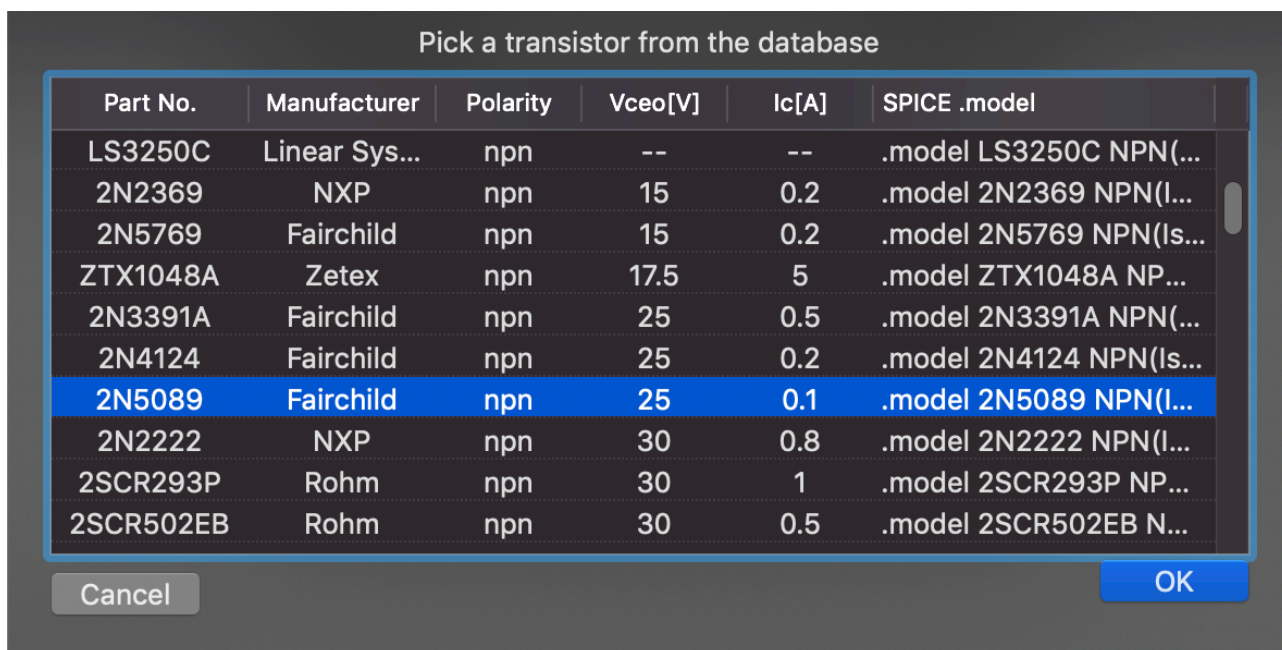
Крок 6: обираємо це



Крок 7: у каталогу відсортовуємо за першою ж характеристикою (тут Vceо), клікаючи на неї



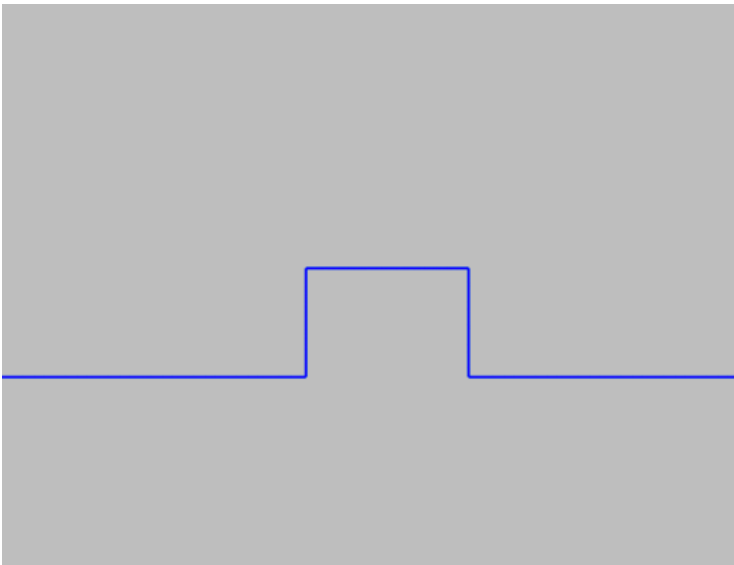
Крок 8: знаходимо найбільш схожий по характеристиках



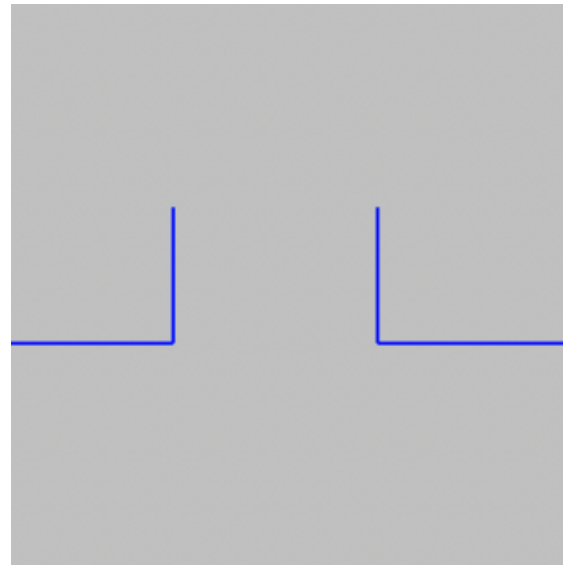
До цього пункту хотілося б додати місцеві назви компонент, які треба швидко набирати в пошук, щоб обрати і поставити на віртуальний стіл. Наводжу лише базові (перші три літери, за якими вже знаходить шукане), решту ви запам'ятаєте з практики, шукаючи вручну: **cap**, **res**, **nnp**, **pnnp**, **vol**, **bat**, **dio**, **led**, **zen**.

- **Важливо!** Деталей як механічний перемикач та потенціометр в програмі нема, але **вихід є!** Щодо першого, пропоную такий варіант:

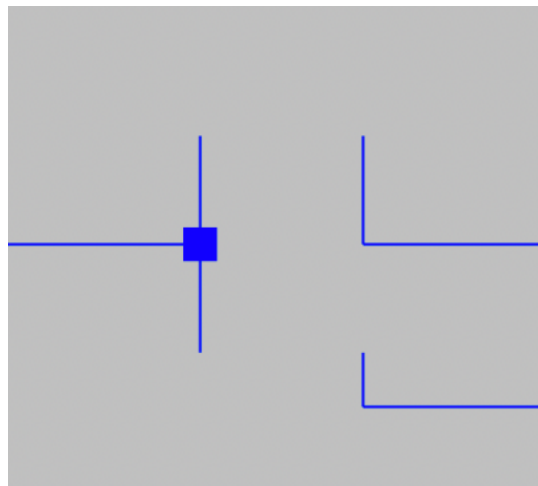
Крок 1: будуємо горбик саме так, як показано



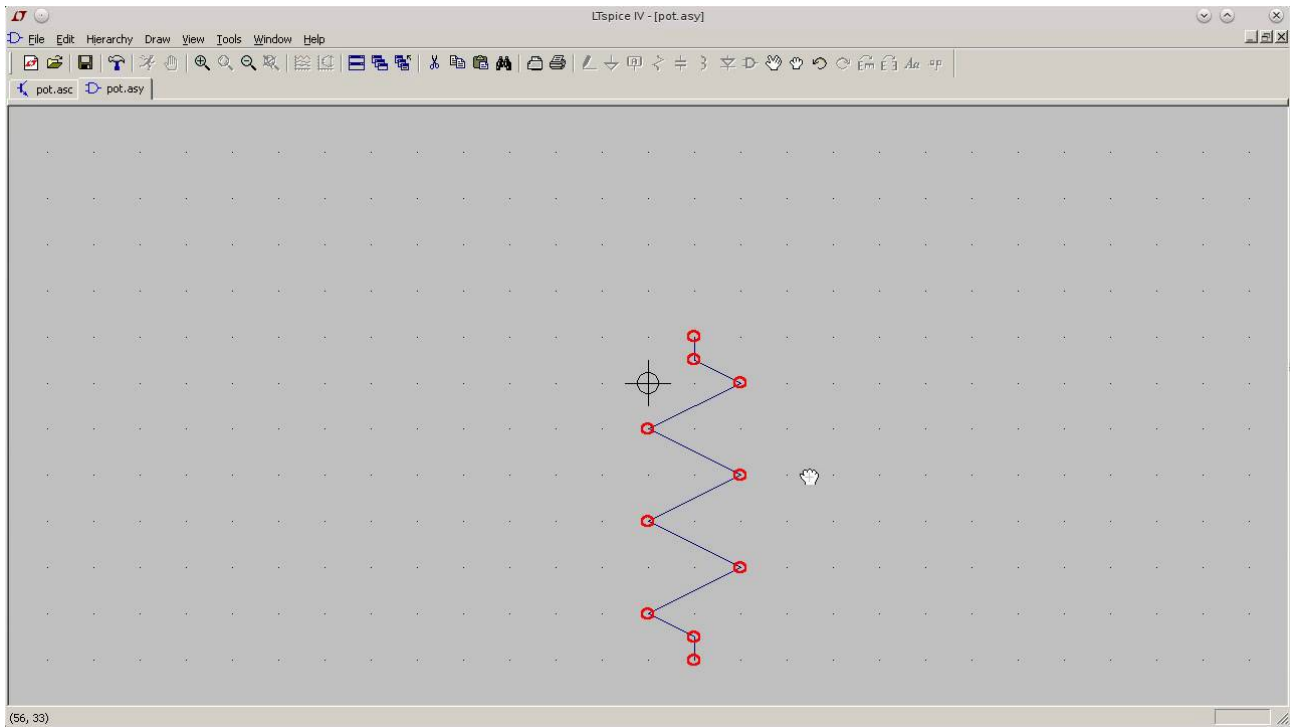
Крок 2: для розмикання зрізаємо
ножицями верхню «планочку»



Перемикач між двома лініями
будується ось так. У розімкненій
лінії пзрізаємо «планочку», а у
потрібній ставимо



Тепер щодо другого: потенціометра. Замість тисячі слів — ~~дві тисячі слів~~ відео, де лаконічно коротко і максимально, як це можливо швидко пояснено, як його сконструювати. Для коректної роботи, коли уже зібрали, максимальне значення не 100%, а 99% — пам'ятайте про це.



- Наступна важлива дрібниця: префікси, у які ви пишете у одиницях виміру у програмі. Ось вони:

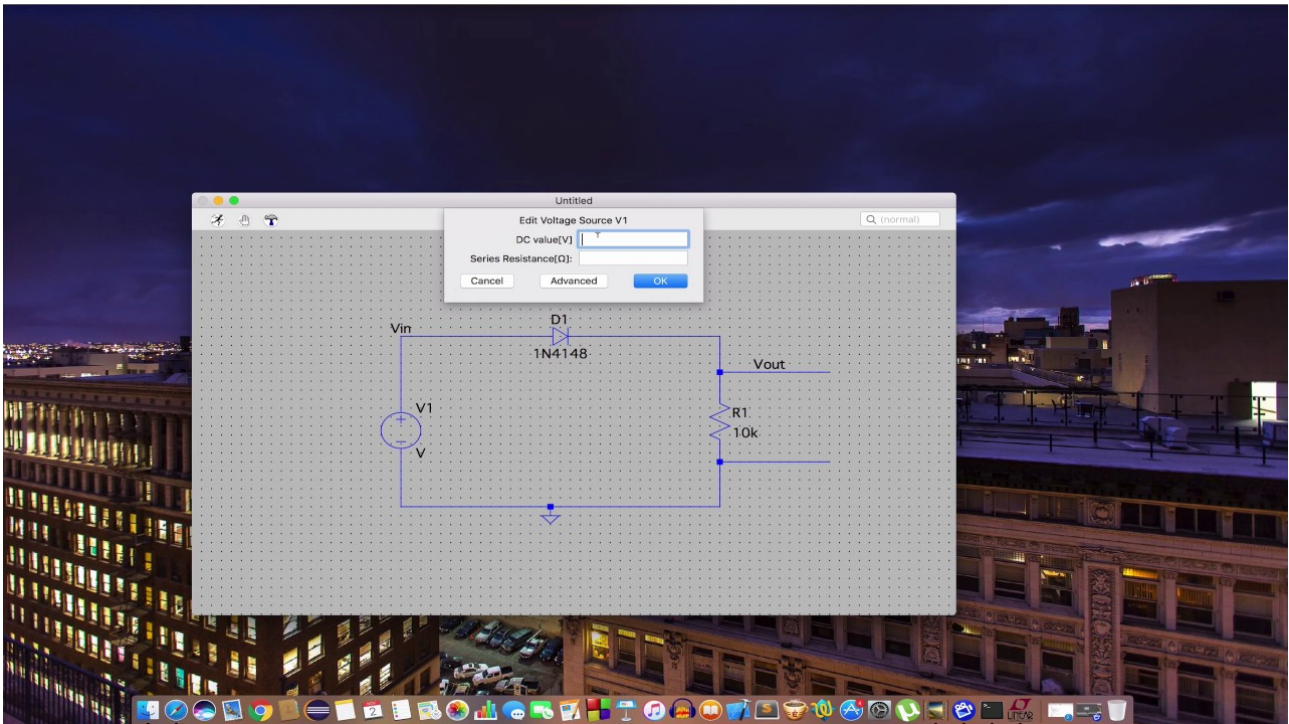
Use Labels to Specify Units in Circuit Elements Attributes

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| ◆ K = k = kilo = 10^3 | ◆ m = M = milli = 10^{-3} |
| ◆ MEG = meg = 10^6 | ◆ u = U = micro = 10^{-6} |
| ◆ G = g = giga = 10^9 | ◆ n = N = nano = 10^{-9} |
| ◆ T = t = terra = 10^{12} | ◆ p = P = pico = 10^{-12} |
| | ◆ f = F = femto = 10^{-15} |

Important

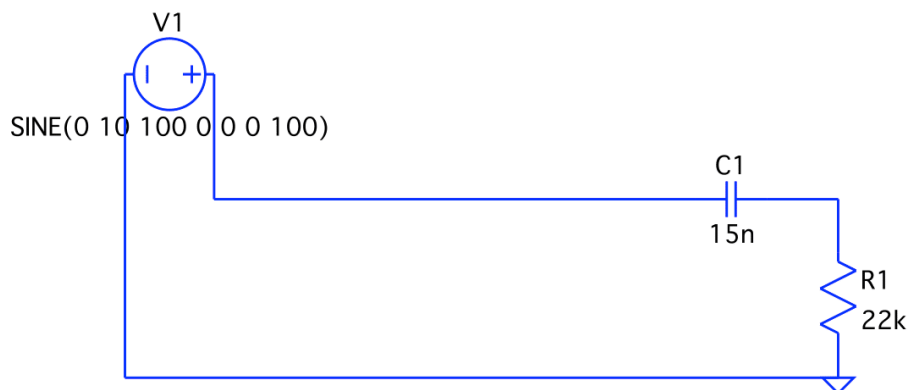
- ◆ Use **MEG** to specify 10^6 , not *M*
- ◆ Enter **1** for 1 Farad, not *1F*

- Підходимо до найскладнішого і найголовнішого, мабуть, питання: як запустити схему? Який режим обрати? Про все це у відео (тайм-код 4:28):



Від себе додаю:

1. В основному, вам знадобиться лише режим transient analysis. Час симуляції обираєте відповідно до того, як вказано у книжці [1]. Якщо цього там не сказано, то просто погляньте там же на графік осцилографа. З нього видно по позначках на осях чи кількості коливань (при відомій частоті), за який час розглядається процес.
2. Зрідка вам буде необхідно розглядати одну й ту саму схему у двох режимах. У такому випадку аналогія з програмуванням: наносите обидві команди на віртуальний стіл. Одну вказуєте, як simulation command, а іншу як коментар. При зміні режиму міняєте навпаки.

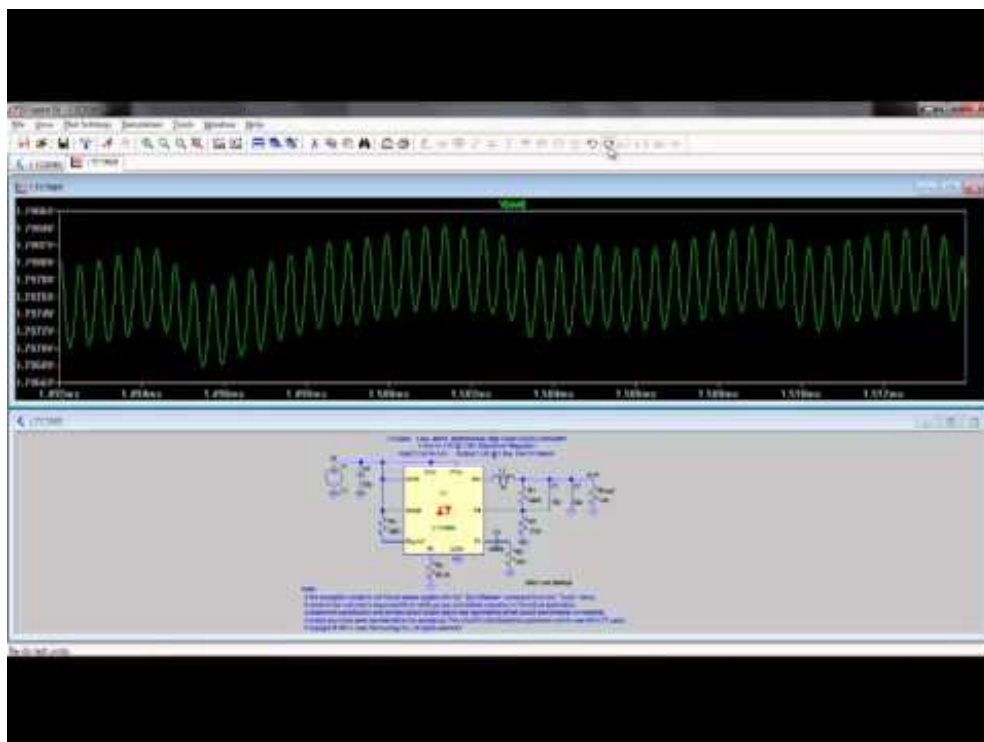


.tran 20ms

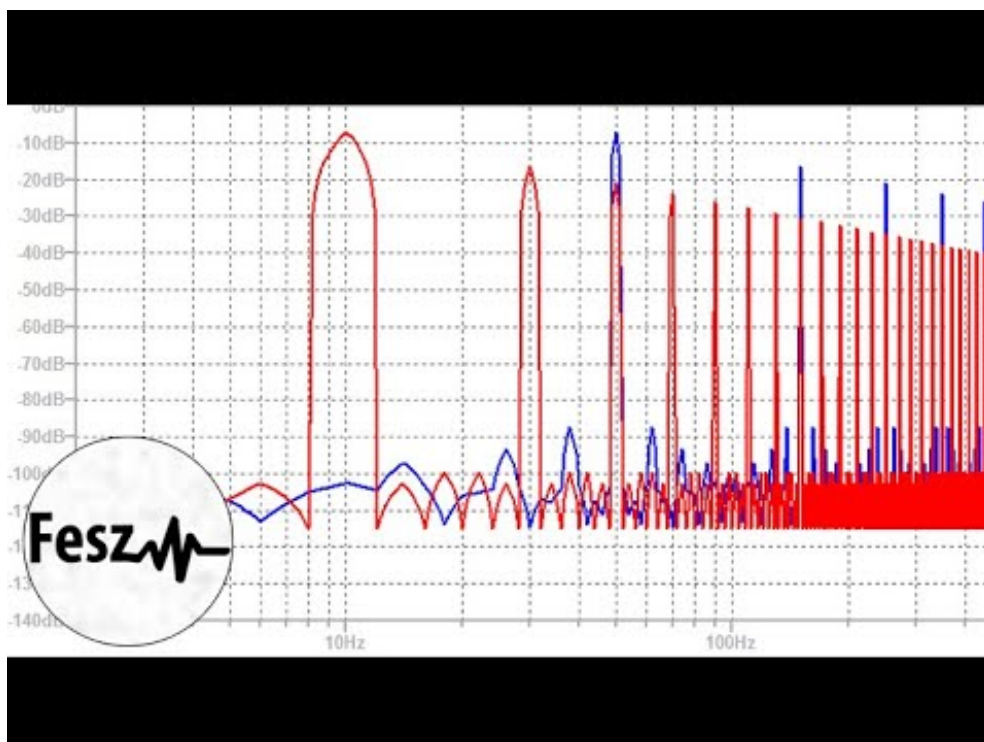
.ac dec 30 10 1MEG

- Ще декілька корисних відео та посилань щодо операцій, які стануть у знадобляться для виконання лабораторних робіт:

1. Перегляд декількох ВАХ водночас (співставлення). Тайм-код 6:02



2. Фігури Лісажу <https://electronics.stackexchange.com/questions/365545/how-do-i-achieve-xy-mode-on-ltspice>
3. Фур'є-аналіз (остання лабораторна робота). Тут важливе все відео.



Додаток: клавіатурні скорочення

a		DRAW CIRCLE
b		BUS TERMINATION
g		GROUND
l		DRAW LINE
s		ADD SPICE DIRECTIVE (right click for HELP ME EDIT)
t		ADD TEXT COMMENT
w		DRAW BOX
⌘	H	HIDE LTSPICE
⌘	L	SPICE LOG
⌘	N	NEW SCHEMATIC
⌘	O	OPEN
⌘	Q	QUIT LTSPICE
⌘	S	SAVE
⌘	Z	UNDO
⇧⌘	Z	REDO
⌘	M	MINIMIZE
⌘	M	MINIMIZE ALL
⌘	W	CLOSE
⌘	W	CLOSE ALL
⌘	P	PRINT
⇧⌘	P	page seupt
F2		COMPONENT
F3		WIRE
F4		NET NAME
F5		DELETE
F6		DUPLICATE
F7		MOVE (CNTRL-R to rotate, CNTRL-E to mirror)
F8		DRAG (CNTRL-R to rotate, CNTRL-E to mirror)
F9		UNDO
⇧F9		REDO

SPACE BAR	ZOOM TO FIT
2 FINGER PINCH	ZOOM IN
2 FINGER SPREAD	ZOOM OUT

Here are the modifier key symbols you may see in OS X menus:

⌘	COMMAND
⌥	ALT OR OPTION
⇧	SHIFT

Список використаної літератури

1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИКУМУ «ОСНОВИ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ
ФІЗИЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ / УПОРЯД. О.В.СЛОБОДЯНЮК.
2. LTSPICE INFORMATION FLYER & SHORTCUTS
3. LTSPICE GETTING STARTED GUIDE