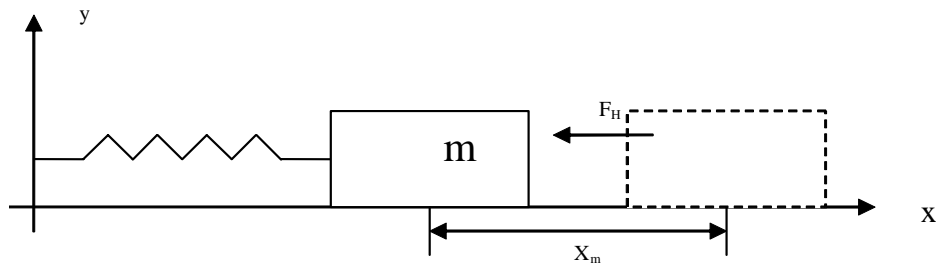


Лабораторная работа №1  
 Механические колебания тела с пружиной.  
 Теоритическая часть.



$$F_H = -kx$$

$$ma_x = -kx$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} \Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 / : m$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

Решением является гармоническая ф - я :

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$V_x(t) = \frac{dx(t)}{dt} = -A \cdot \omega_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$a_x(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -A \cdot \omega_0^2 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$-A \cdot \omega_0^2 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{k}{m} A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) = 0$$

$$\cos(\omega_0 t + \varphi) \left( -\omega_0^2 + \frac{k}{m} \right) = 0, \text{ для } \forall t$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \Leftrightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} - \text{частота собственных колебаний ттела}$$

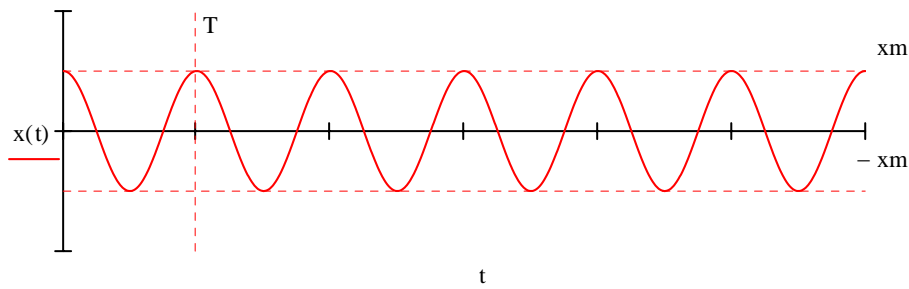
$$\begin{cases} x(0) = x_m \\ V(0) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)|_{t=0} = x_m \\ -A \cdot \omega_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi)|_{t=0} = 0 \end{cases}$$

$$A \cdot \cos \varphi = x_m$$

$$-A \cdot \omega_0 \cdot \sin \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = 0$$

$$A = x_m \Leftrightarrow x(t) = x_m \cos(\omega_0 t)$$

$$x(t) := x_m \cdot \cos(\omega \cdot t)$$



$$T = \frac{1}{f_0} ; \omega_0 = 2\pi f_0 \Leftrightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad \text{Без учета силы трения}$$

2) Среда с потерями

$$k_{mp}(t) = -k_{mp} V(t)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - k_{mp} \frac{dx}{dt} \quad \text{— жидкостное трение}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k_{mp}}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{kx}{m} = 0$$

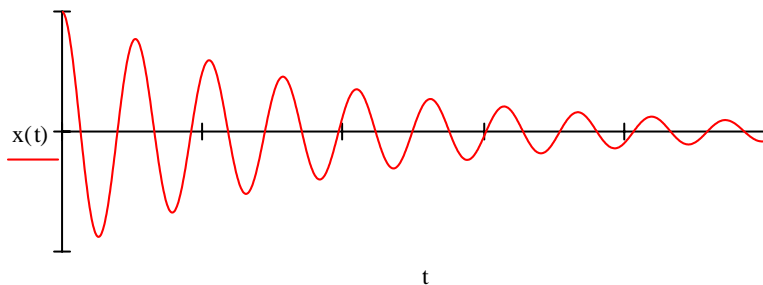
$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$\frac{k_m}{m} = 2\alpha \quad \text{— коэф. затухания}$$

$$x(t) = Ae^{-\alpha t} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Из тех же начальных условий получим:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{k_m^2}{4m^2}}$$



Выполнение работы

1) Незатухающие колебания

$$x_m = 2$$

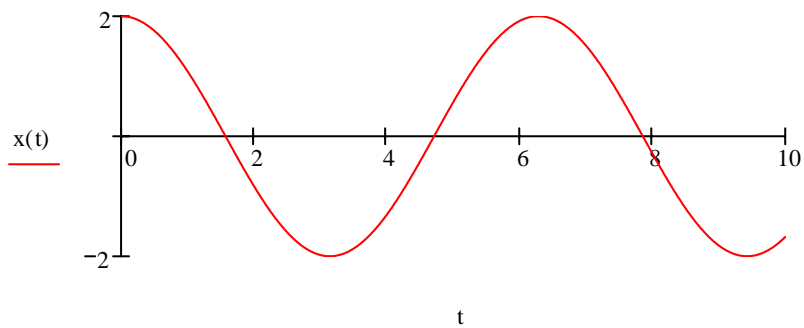
$$m = 1$$

$$k = 1$$

$$k_T = 0$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 2\pi = 6.28$$

$$T_s = 6,3$$



$$x_m = 2$$

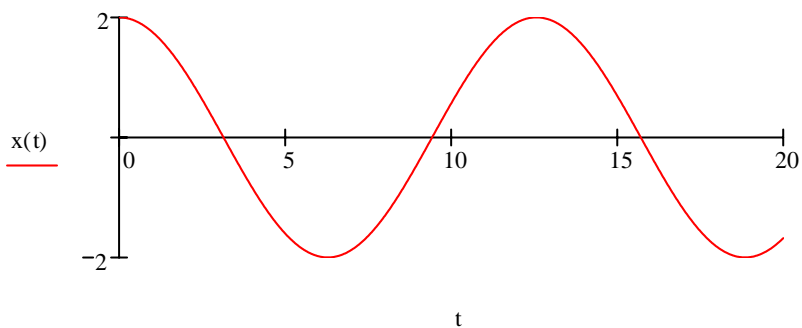
$$m = 4$$

$$k = 1$$

$$k_T = 0$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 4\pi = 12.56$$

$$T_s = 12,5$$



$$x_m = 2$$

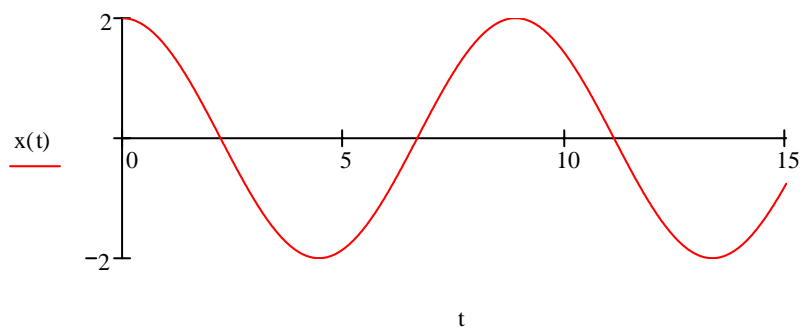
$$m = 4$$

$$k = 2$$

$$k_T = 0$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 8.88$$

$$T_s = 8.9$$



## 2) Затухающие колебания

$$x_m = 2$$

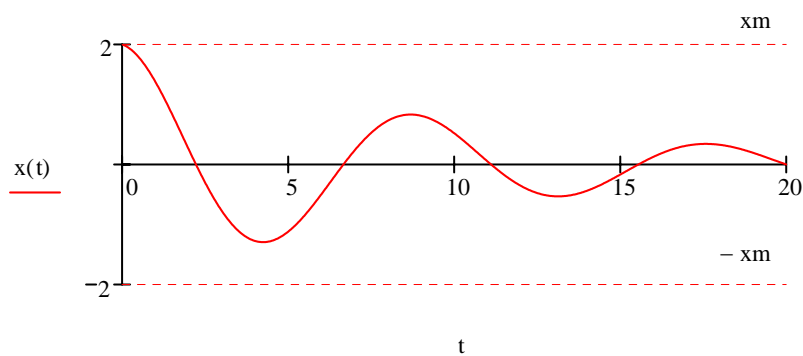
$$m = 4$$

$$k = 2$$

$$k_T = 0,01$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 8.88$$

$$T_s = 8,9$$



$$x_m = 2$$

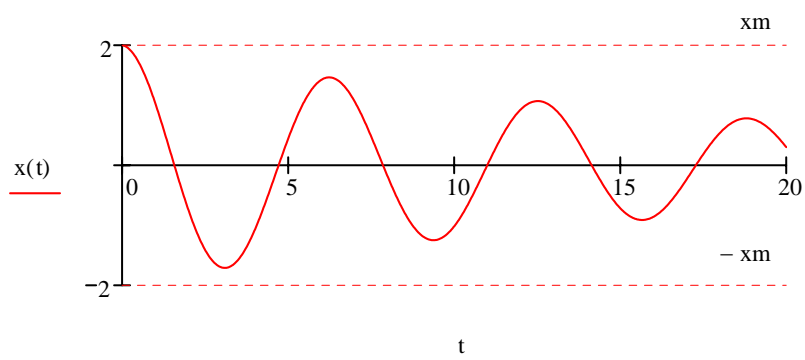
$$m = 2$$

$$k = 2$$

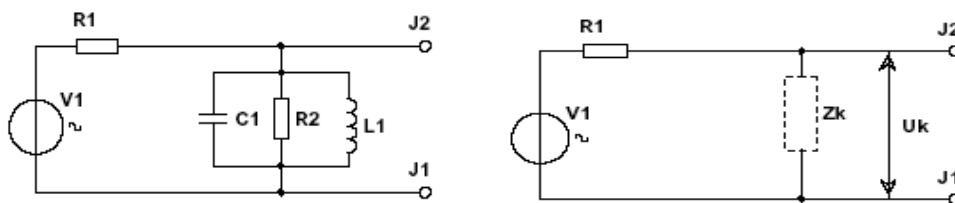
$$k_T = 0,01$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 6,28$$

$$T_s = 6,3$$



Лабораторная работа №2  
 Электромагнитные колебания с потерями  
Теоритическая часть



$$U_k = U_r \frac{Z_k}{Z_k + R_1}$$

$$U_{k \max} \cong U_r$$

$$U_{k \min} \rightarrow 0, \text{ при } Z_k \rightarrow 0$$

$$\frac{1}{Z_k} = \frac{1}{X_C} + \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$$

$$X_L = j\omega L$$

$$\frac{1}{Z_k} = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C = \frac{1}{R} + j\sqrt{\frac{C}{L}} \left( \omega\sqrt{CL} - \frac{1}{\omega\sqrt{CL}} \right)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\frac{1}{Z_k} = \frac{1}{R} + j\sqrt{\frac{C}{L}} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$\alpha = \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad \text{Относительная расстройка контура}$$

Пусть  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$

$$\Delta\omega \ll \omega_0$$

$$\alpha = \frac{\omega_0 + \Delta\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_0 + \Delta\omega} = 1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} - \frac{1}{1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}} = 1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} - \left( 1 - \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right) = \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}$$

$$Z_k = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\sqrt{\frac{C}{L}}\alpha} \cdot R \Rightarrow Z_k = \frac{R}{1 + jR\sqrt{\frac{C}{L}}\alpha};$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}};$$

Волновое сопротивление

$$Q_k = \frac{R}{\rho};$$

Добротность контура

$$Z_k = \frac{R}{1 + jQ_k\alpha}$$

$$\alpha = 0 \Rightarrow Z_k = R, \quad \omega = \omega_0, \quad \Delta\omega = 0$$

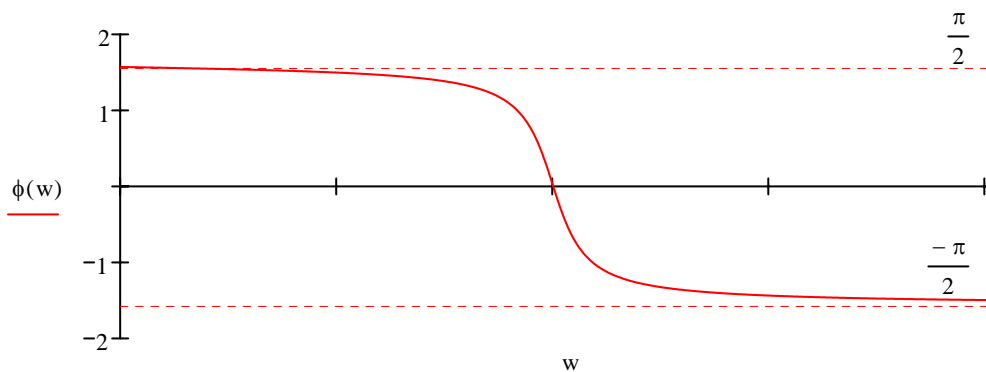
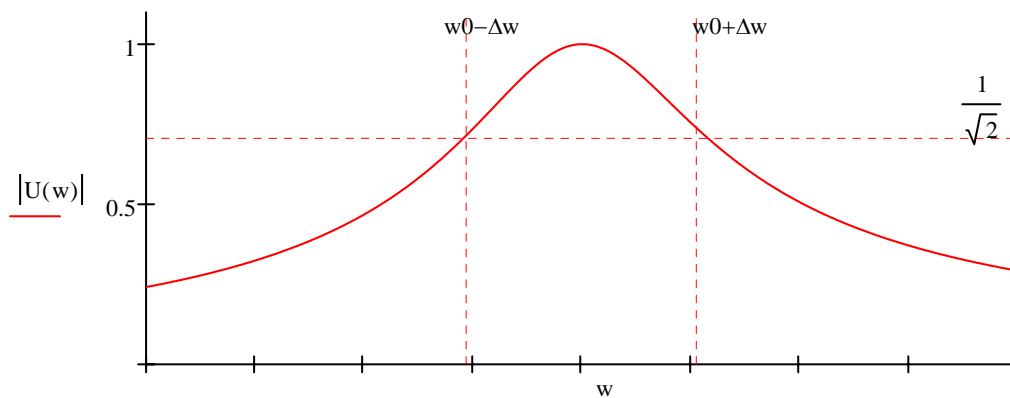
$$U_{C \max} = U_r \frac{Z_k}{Z_k + R_1} = U_r \frac{R}{R + R_1}$$

$$R_k \gg R_1$$

$$\dot{U}_k = \frac{U_{k \max}}{1 + jQ_k \alpha} \Rightarrow U_k = \frac{U_{k \max}}{\sqrt{1 + (Q_k \alpha)^2}} \quad \text{-АЧХ}$$

$$\Pi = 2\Delta\omega_0 = \frac{\omega_0}{Q_k} \quad \text{Полоса пропускания}$$

$$\varphi_k(\omega) = \arctg(Q_k \alpha) \quad \text{-ФЧХ}$$



Выполнение работы

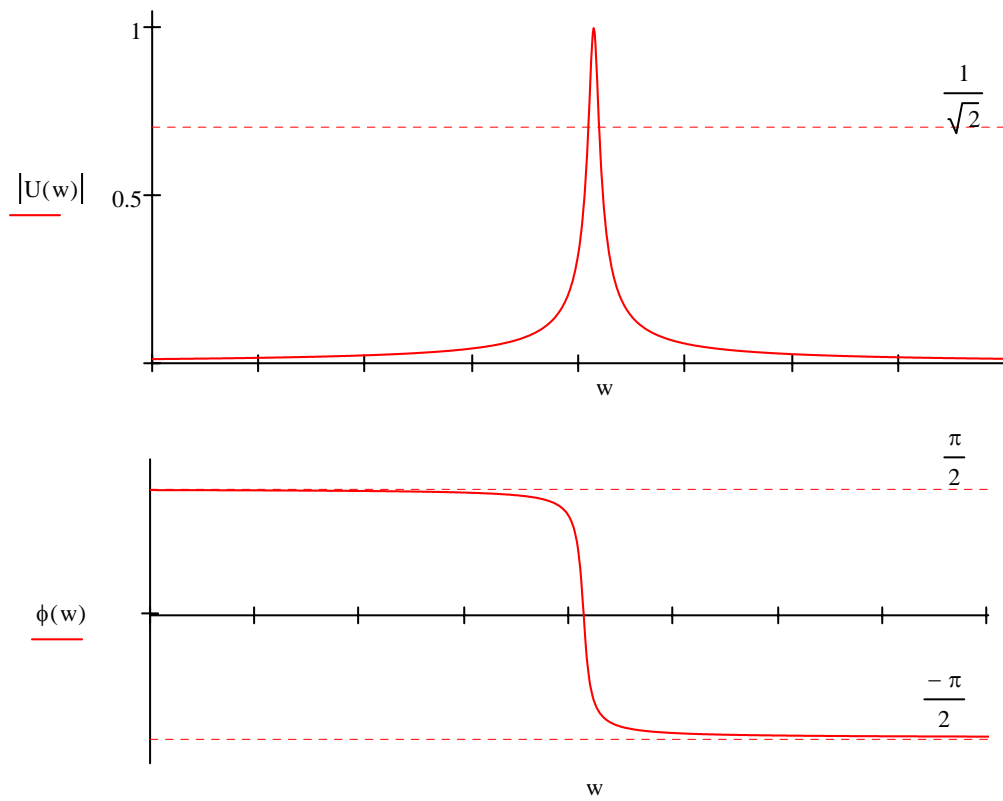
1) RLC контур

$$R_1 := 10^3 \text{ Ом}$$

$$R := 10^6 \text{ Ом}$$

$$L := 10^{-3} \text{ Г}$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$



$$\omega_{0_{\text{эксн}}} = 3,557\kappa\Gamma\mathcal{U}$$

$$\omega_0 = 22,36\kappa\Gamma\mathcal{U}$$

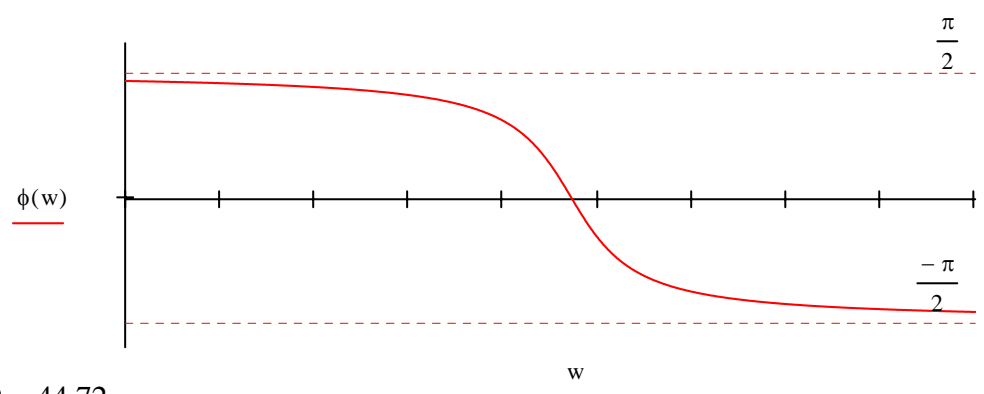
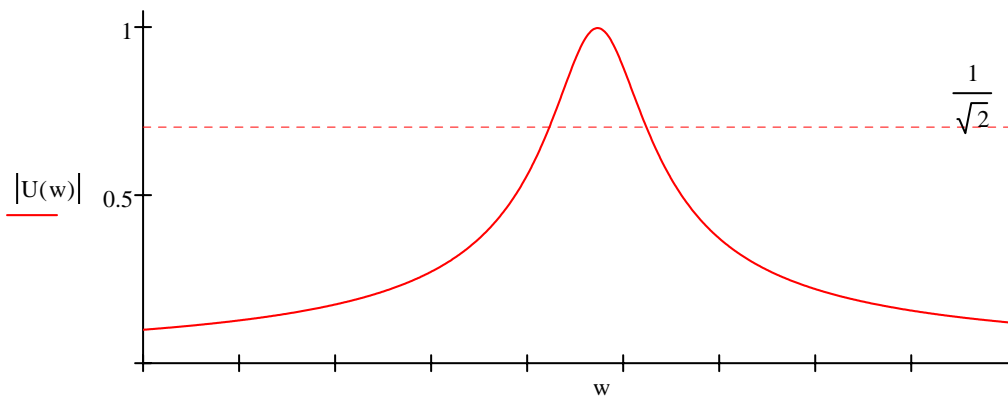
$$Q = 44721.4$$

$$\Pi = 0,5\kappa\Gamma\mathcal{U}$$

$$\Pi_{\text{эксн}} = 0,071\kappa\Gamma\mathcal{U}$$

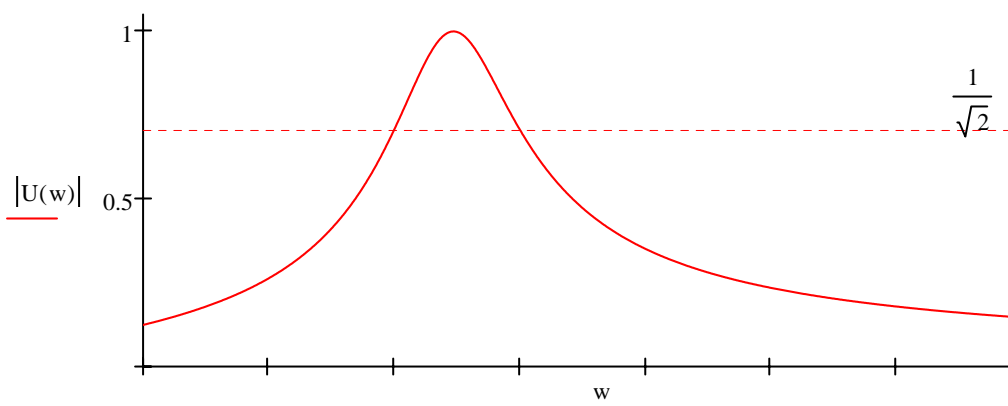
$$R := 10^3$$

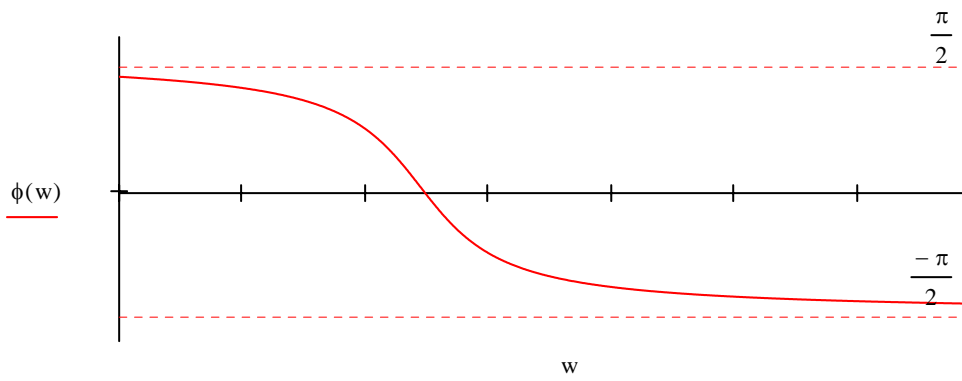




$Q = 44,72$   
 $\Pi = 500\kappa\Gamma\eta$

$R := 10^2$

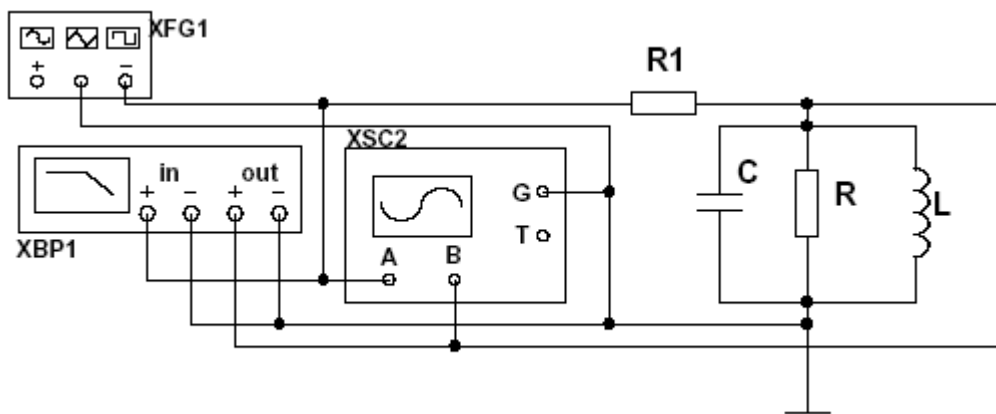
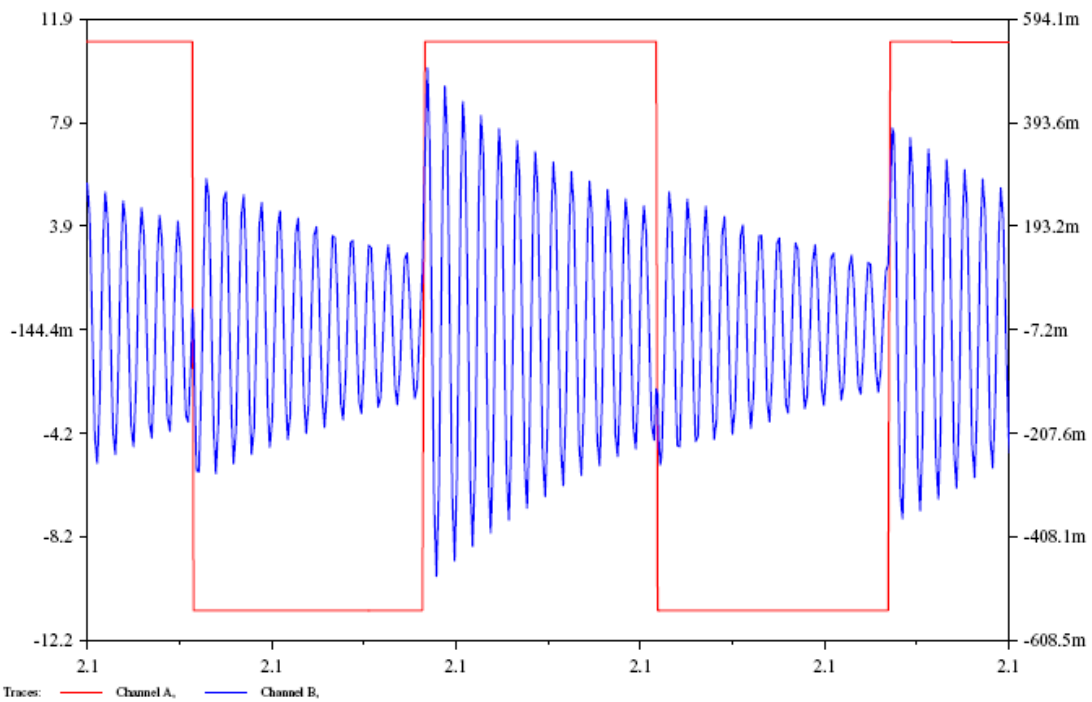




$$Q = 4,472$$

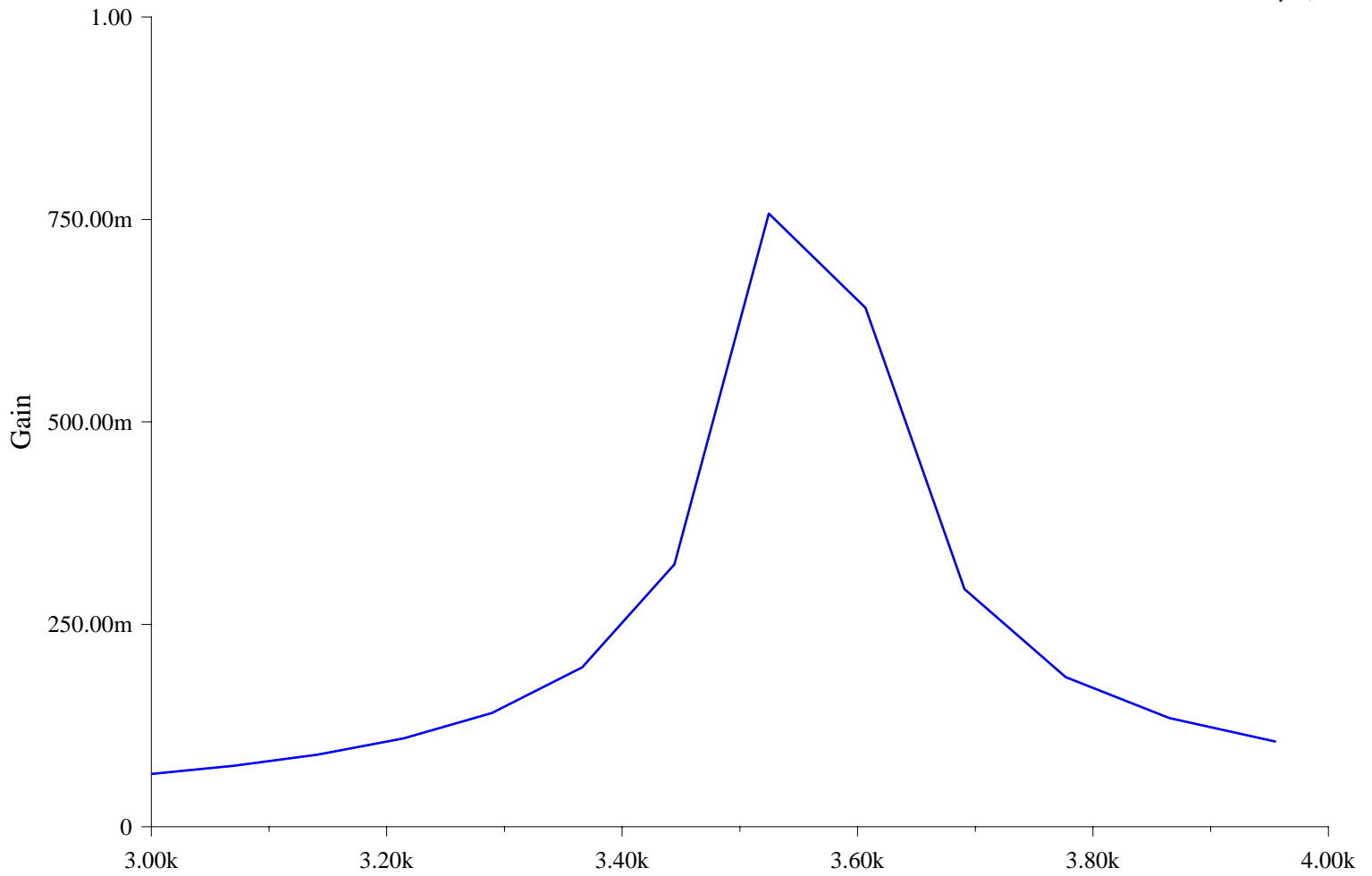
$$\Pi = 5M\Gamma\text{ц}$$

Ударное возбуждение контура

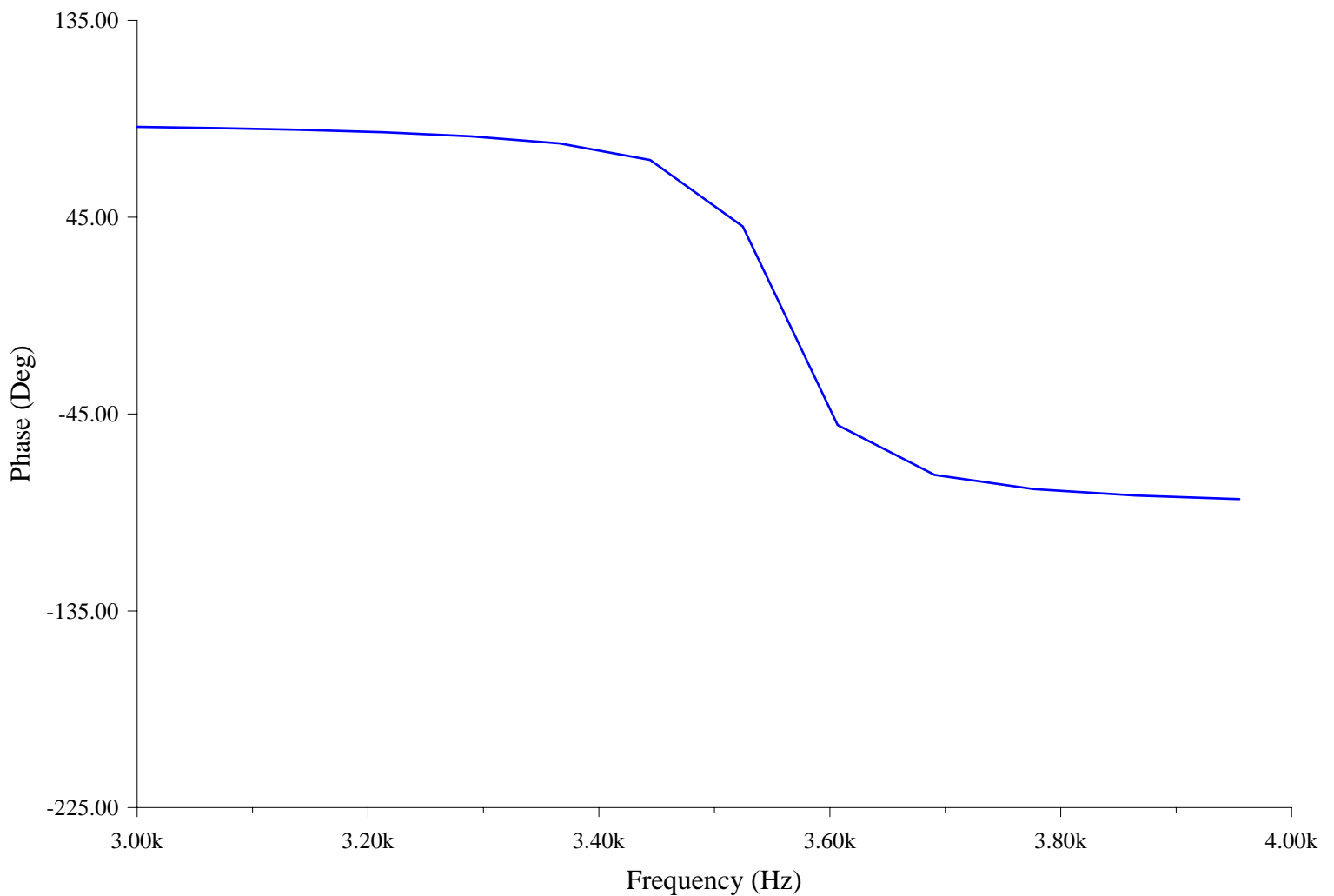


# contur

May 15, 2004 14:24:21



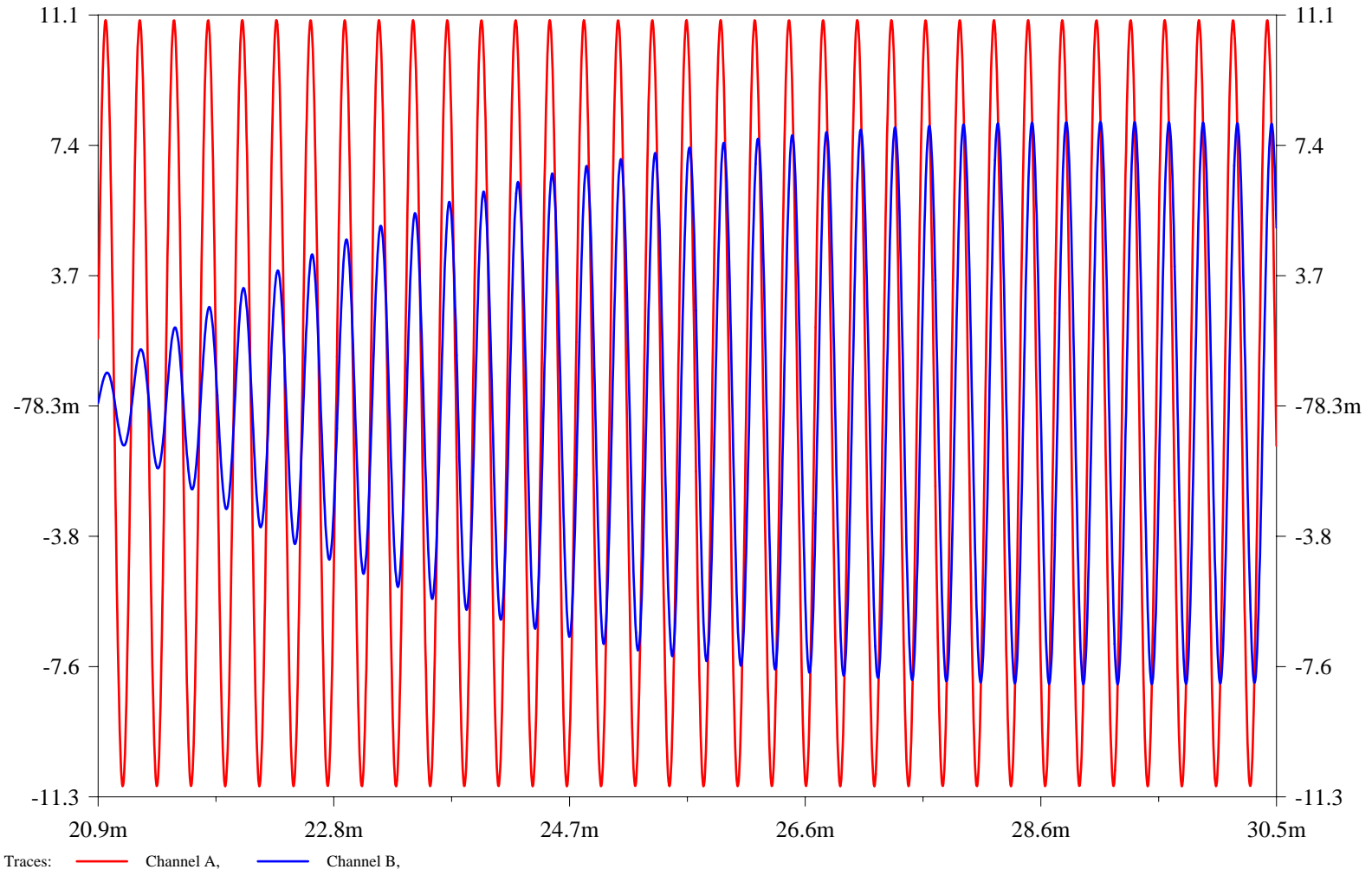
Traces: Bode Result,



Traces: Bode Result,

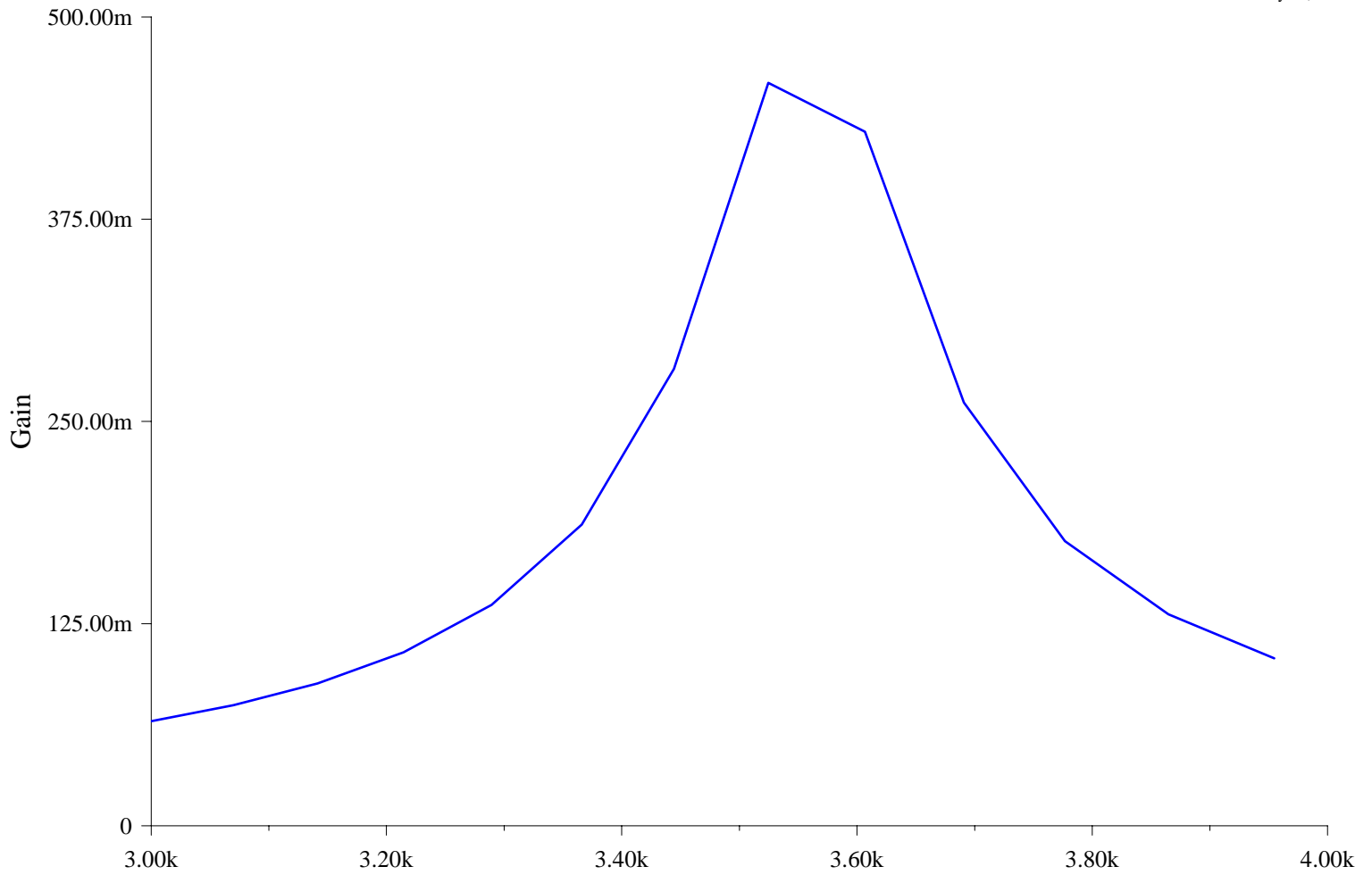
# contur

May 15, 2004 14:24:21

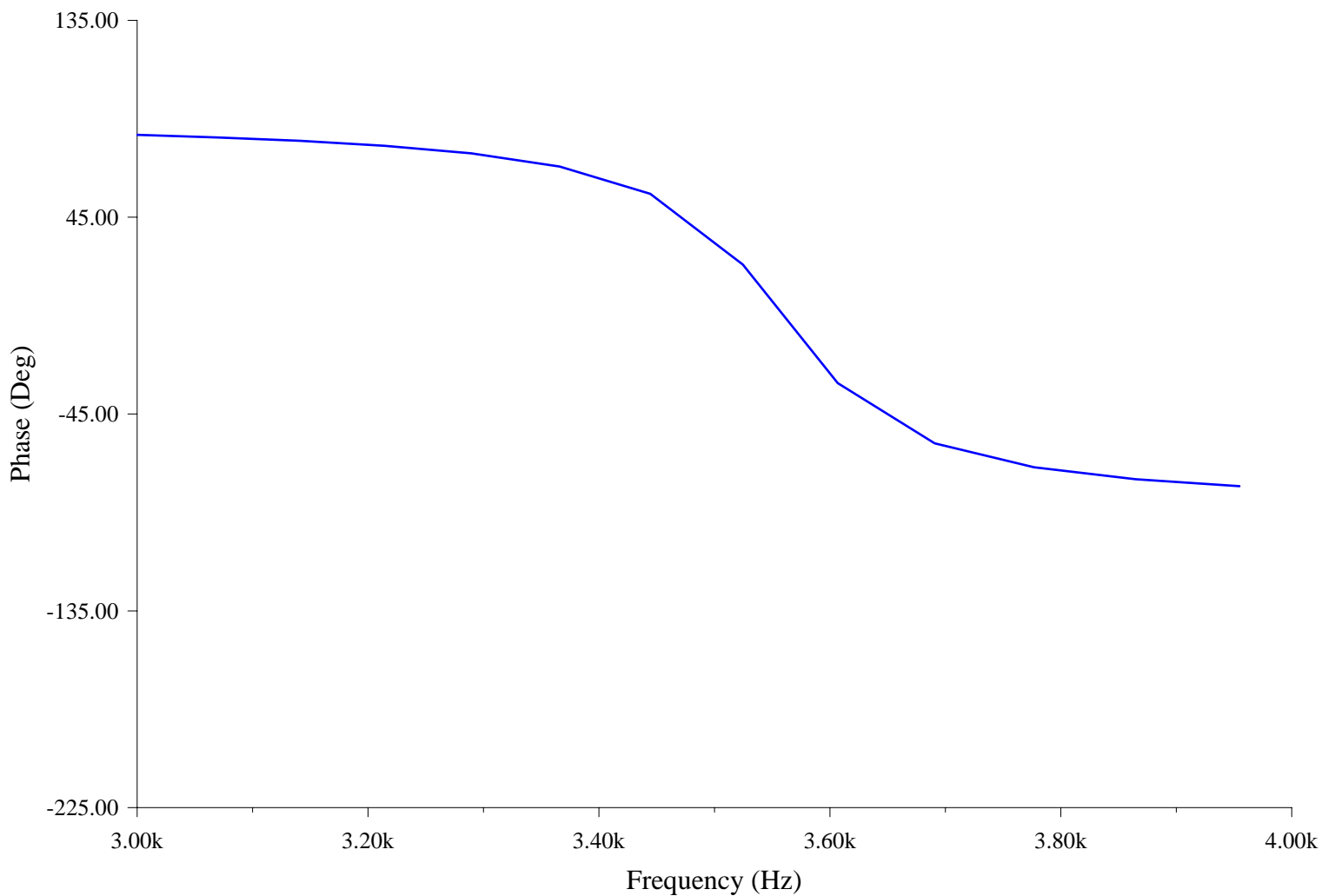


# contur1

May 15, 2004 16:15:09



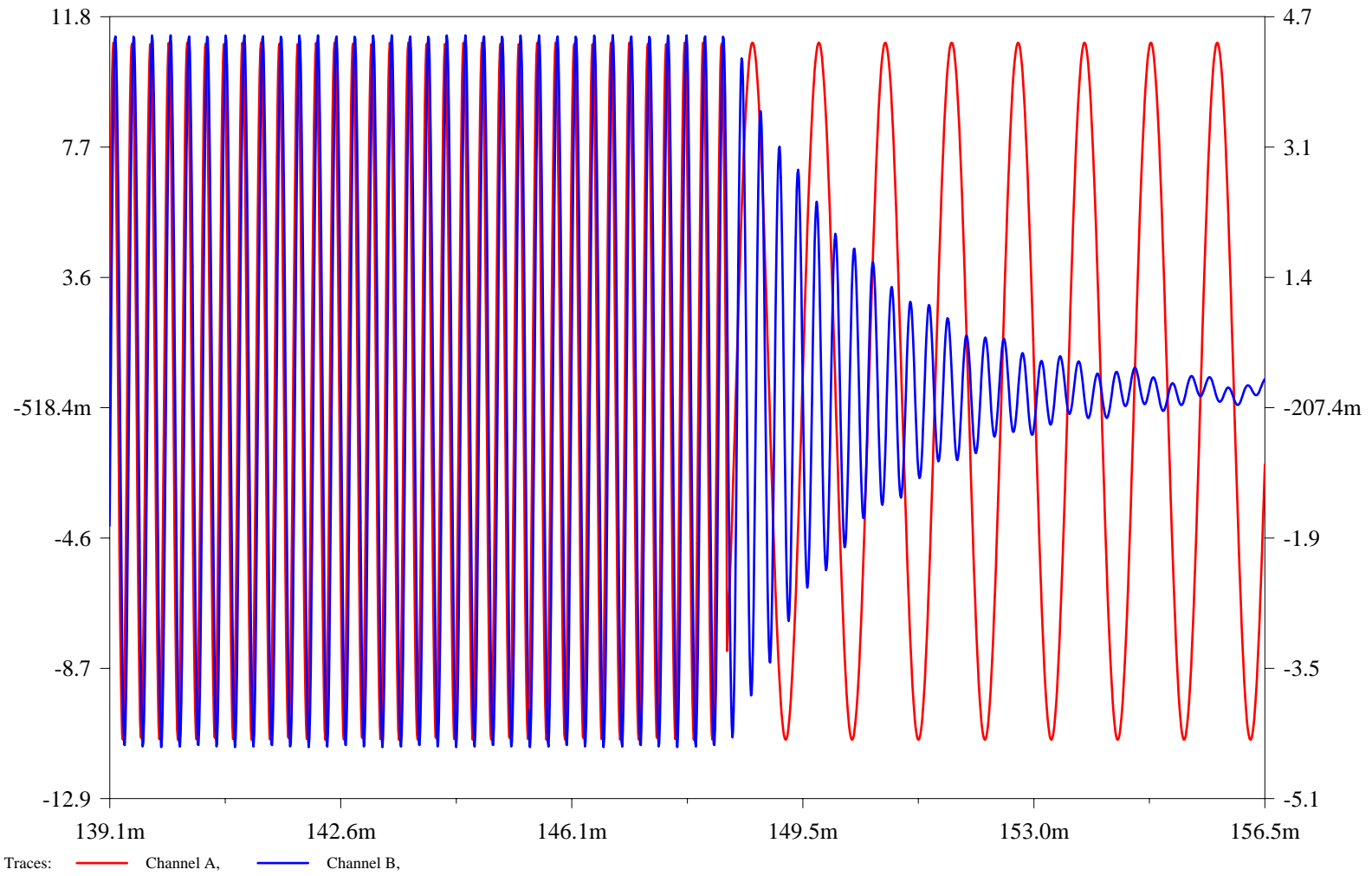
Traces: Bode Result,



Traces: Bode Result,

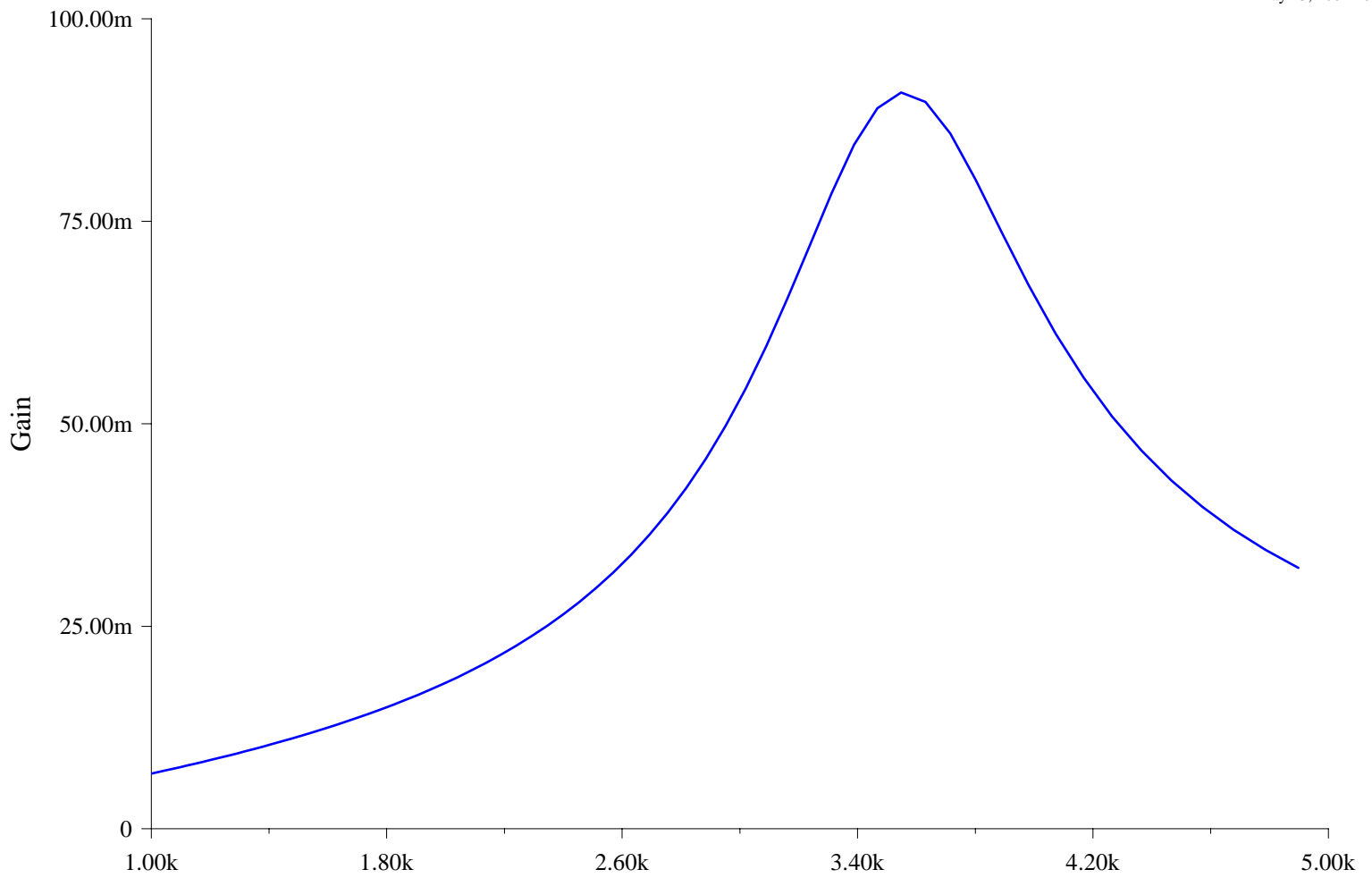
# contur1

May 15, 2004 16:15:09

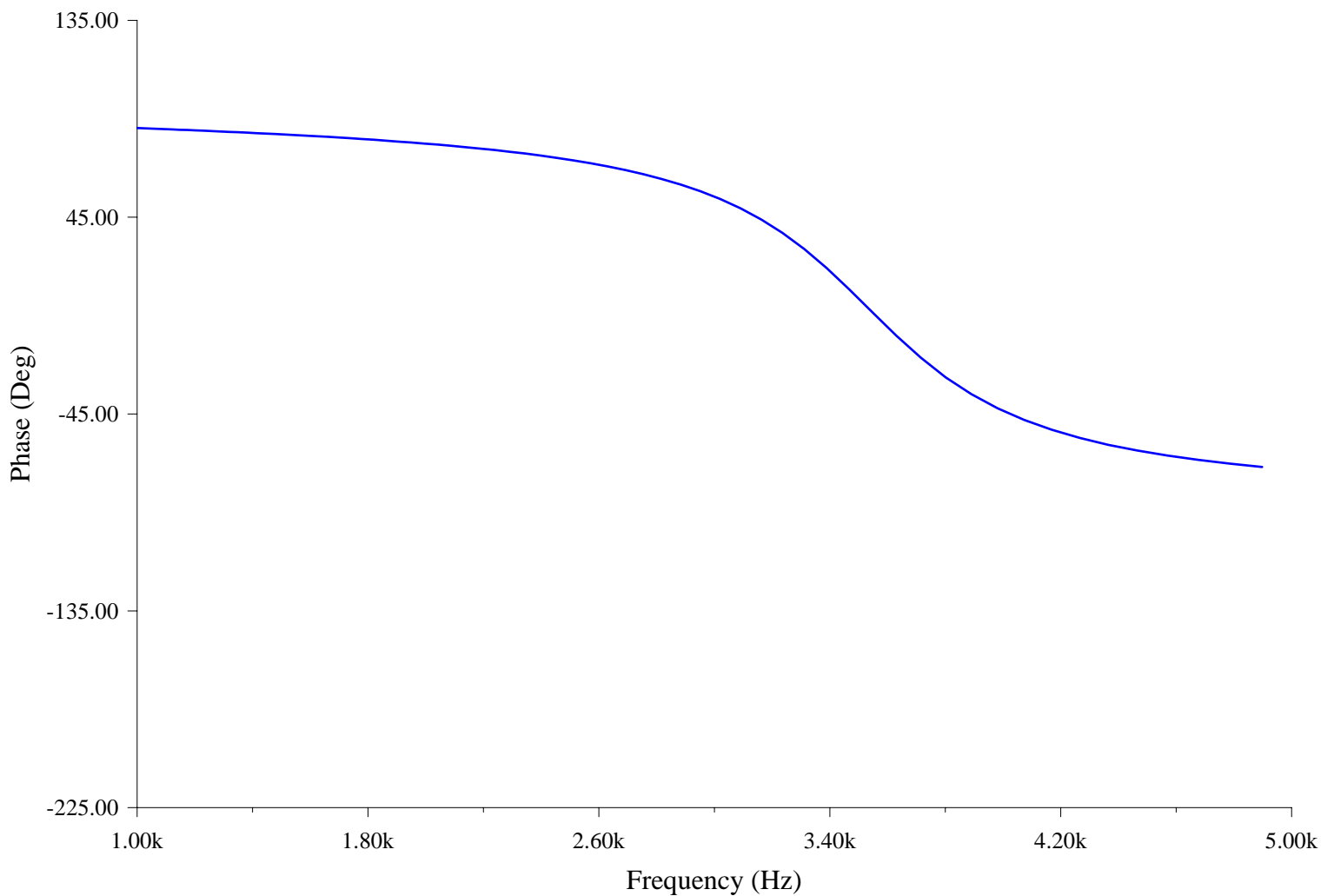


# contur1

May 15, 2004 16:12:05



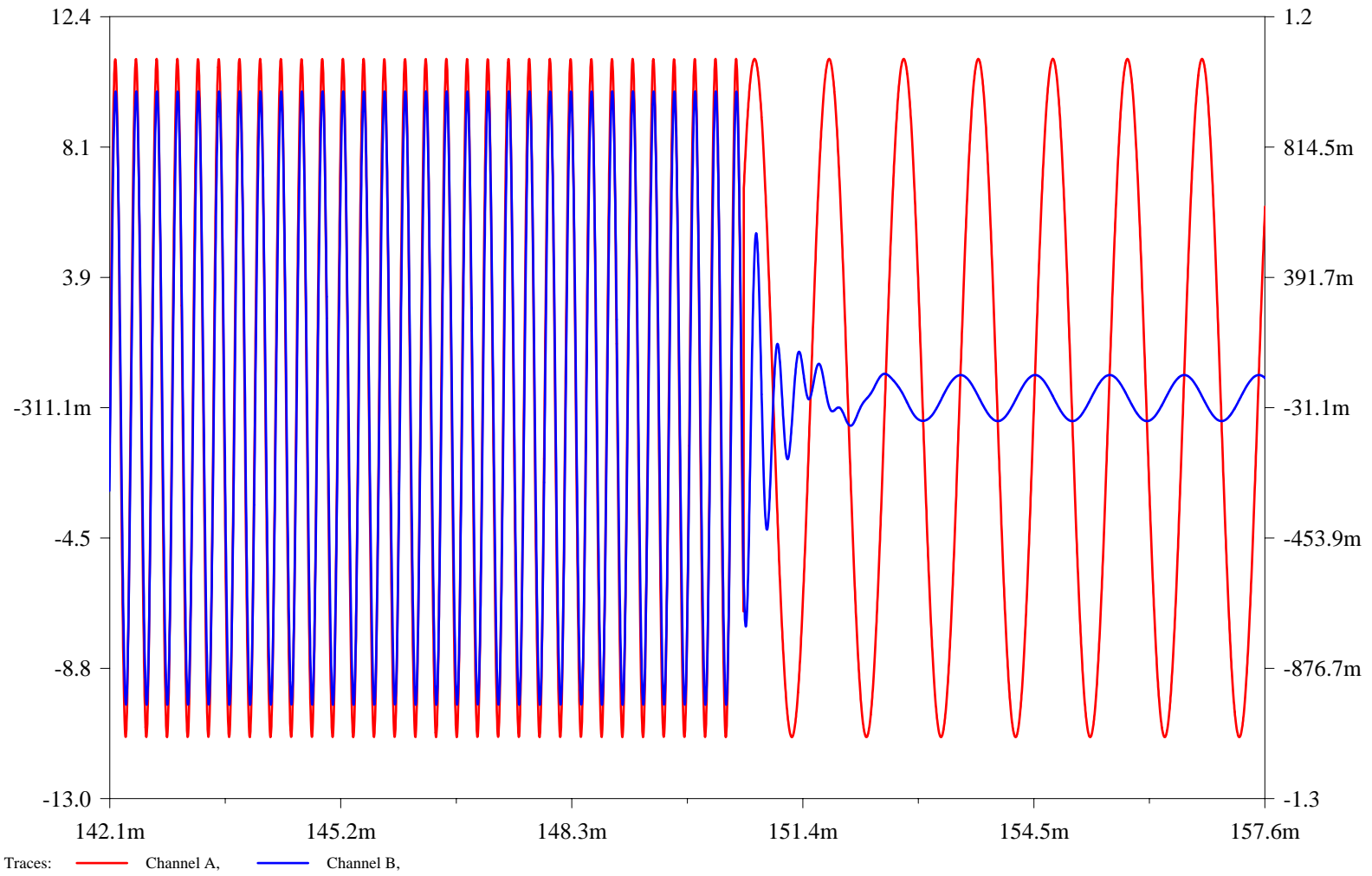
Traces: — Bode Result,



Traces: — Bode Result,

# contur1

May 15, 2004 16:12:05





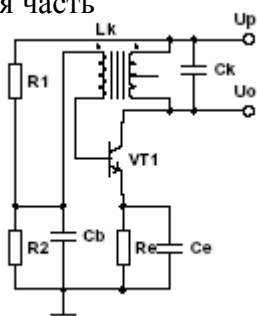
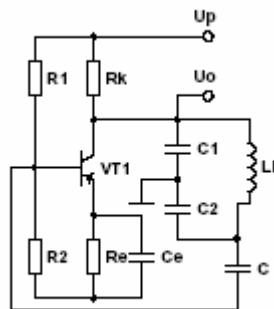


Рис1 а.



б.

Базовые схемы LC-генераторов показаны на рис.1 Схему на рис. 1, а называют индуктивной трехточкой или схемой Хартлея, на рис. 1,б — емкостной трехточкой или схемой Колпитца. Для обеих схем с помощью резисторов R1, R2 и Re устанавливается необходимый режим по постоянному току. Конденсаторы Cb и Ce — блокировочные, конденсатор C называют конденсатором связи. Частота автоколебаний для обеих схем в первом приближении определяется известной формулой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}$$

Для схемы Колпитца  $C_k = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

Для всех автогенераторов условиями возникновения автоколебаний является наличие положительной обратной связи при коэффициенте усиления равном или большим 1. Для схемы Хартлея эти условия обеспечиваются за счет транзисторного каскада, выбора коэффициента трансформации и соответствующего включения обмотки связи. Положительная обратная связь в генераторе Колпитца обеспечивается за счет того, что сигнал обратной связи поступает с такого зажима колебательного контура, при котором сигнал обратной связи на базе транзистора совпадает по фазе с переменным сигналом на коллекторе. Коэффициент передачи цепи обратной связи при этом определяется коэффициентом передачи емкостного делителя, образованного конденсаторами C1 и C2. При выполнении указанных условий устройство самовозбуждается. Процесс самовозбуждения происходит следующим образом. При включении источника питания конденсатор колебательного контура, включенного в коллекторную цепь, заряжается. В контуре возникают затухающие колебания, которые одновременно передаются на управляющие электроды транзистора по цепи положительной обратной связи. Это приводит к пополнению энергией LC-контура и колебания превращаются в незатухающие. Выполним моделирование автогенератора Колпитца (рис. 2). В отличие от базовой схемы (рис. 1, б) она выполнена на эмиттерном повторителе.

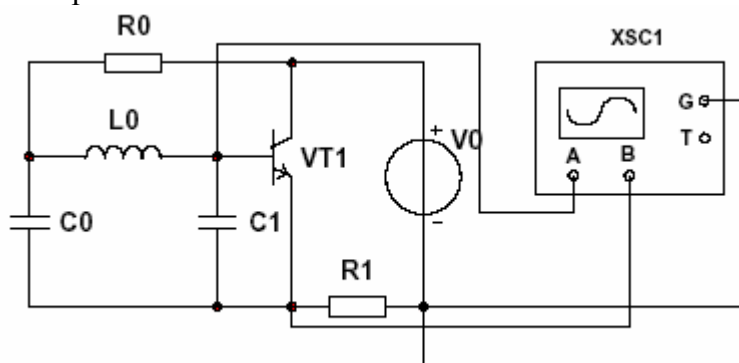


Рис. 2. Генератор Колпитца

Расчеты по формулам (1) и (2) для схемы на рис. 2 дают:  $C_k=1\text{мкФ}$ ; Из осциллограмм на рис. 8.3 видно, что результаты моделирования крайне неутешительны. Во-первых, форма колебаний далеко не синусоидальная. Такие результаты можно объяснить слишком сильной связью колебательного контура с усилительным каскадом. В пользу этого утверждения свидетельствует и тот факт, что двойная амплитуда выходного сигнала практически равна напряжению источника питания 5 В. Для возможности управления взаимодействием колебательного контура с транзисторным каскадом введем конденсатор связи  $C$  (рис.4).

Результаты моделирования схемы на рис. 4 приведены на рис. 5, из которого видно, что форма колебаний существенно улучшилась и действительно стала синусоидальной. При этом период колебаний практически равен теоретическому значению.

Из проведенных экспериментов видно, насколько велика роль правильного выбора взаимодействия колебательного контура со снабжающим его энергией усилительно-согласующим устройством. В технической литературе для этого введен термин "коэффициент регенерации". Этот безразмерный коэффициент показывает, во сколько раз может быть уменьшена добротность колебательной системы по сравнению с ее исходным значением (за счет вносимых по цепи обратной связи потерь), чтобы автогенератор оказался на границе срыва колебаний. Для низкочастотных генераторов этот коэффициент выбирают равным 1,5... 3.

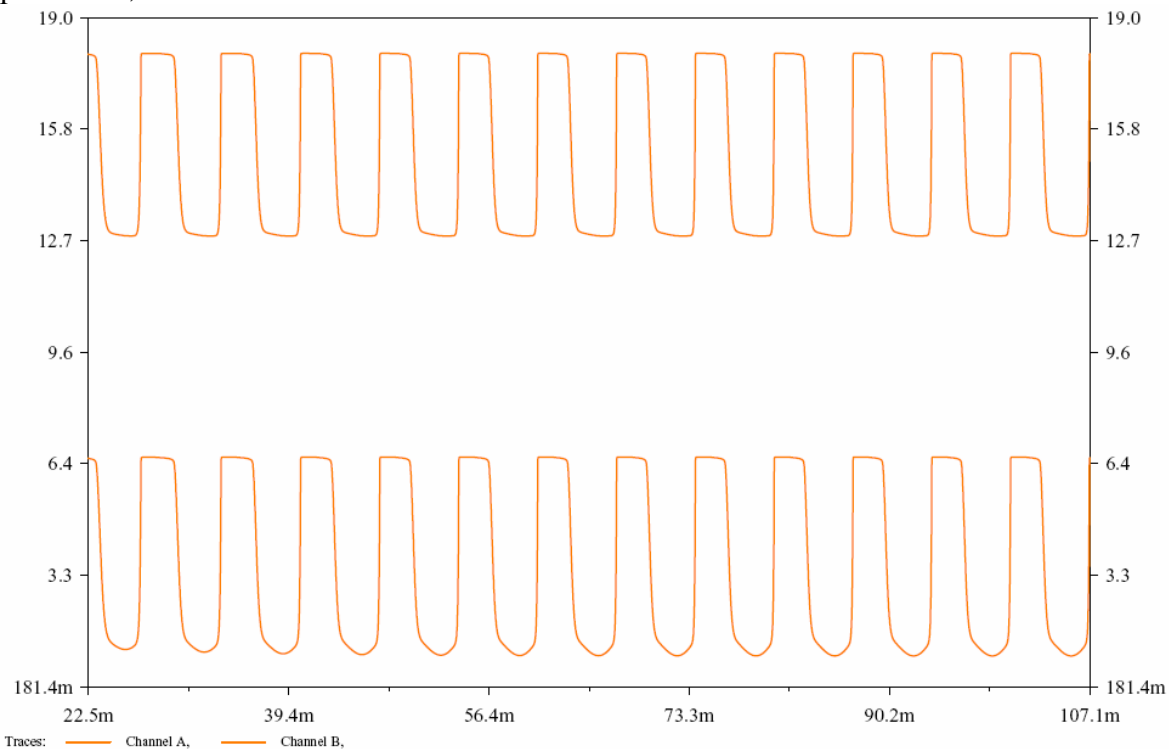


Рис 3.

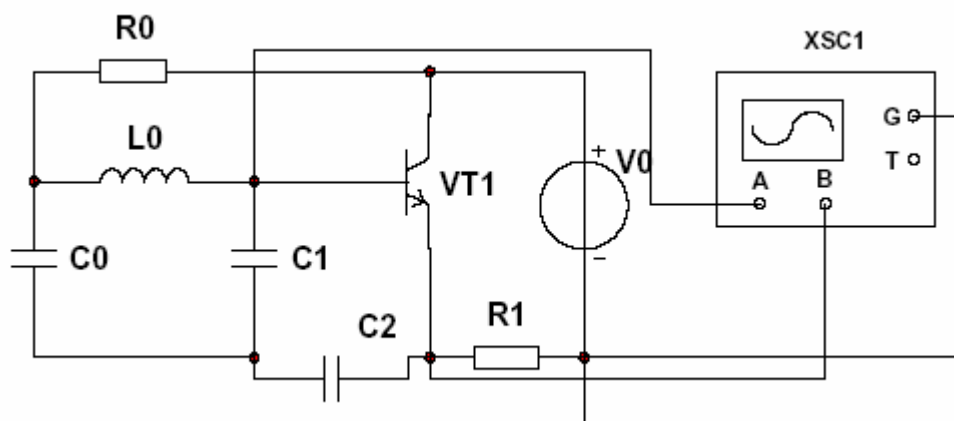


Рис.4.

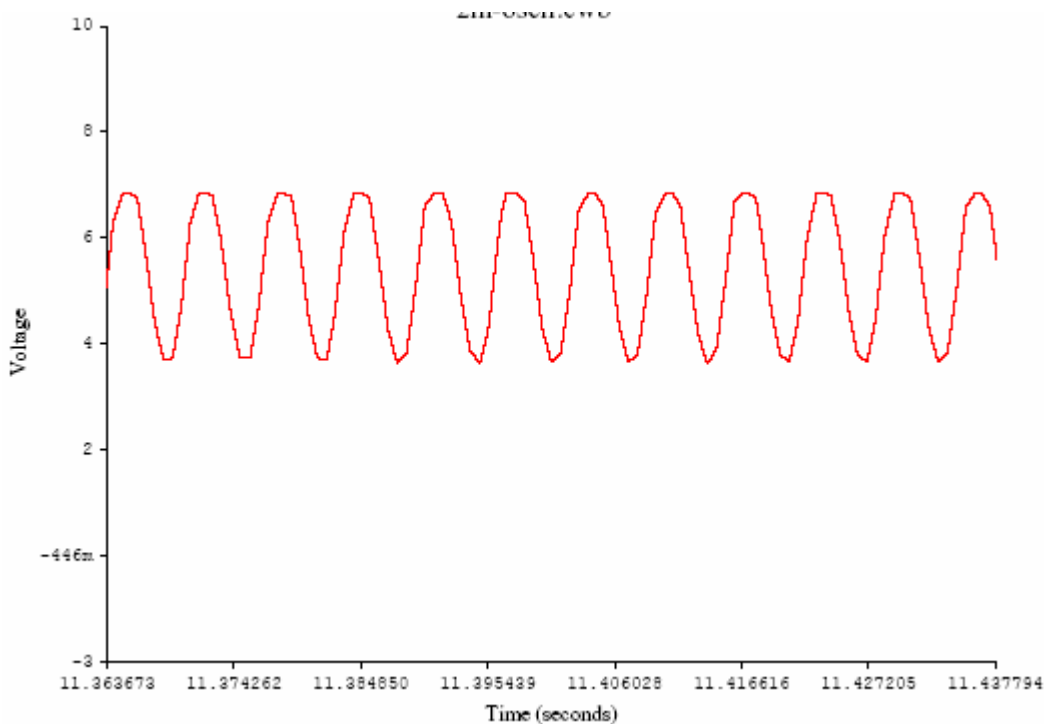
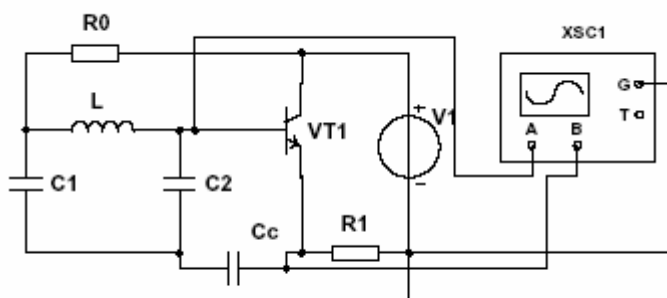


Рис. 5.

Особо следует сказать о блокировочных конденсаторах  $C_b$  и  $C_e$  в базовой и эмиттерной цепях. При достаточно глубокой обратной связи и неправильно подобранных емкостях этих конденсаторов может возникать прерывистая генерация или автомодуляция. В этом случае амплитуда колебаний будет иметь переменное значение или уменьшаться до нуля. Прерывистая генерация обусловлена тем, что при определенных условиях напряжение автоматического смещения вследствие заряда конденсаторов  $C_b$  и  $C_e$  может приблизиться к амплитуде напряжения обратной связи, за счет чего транзистор запирается и колебательный контур перестанет пополняться энергией. В итоге автоколебания быстро затухнут и возникнут снова только после разряда этих конденсаторов. Затем процесс нарастания амплитуды, заряда конденсаторов и срыва автоколебаний повторится. Поэтому цепи, обеспечивающие автоматическое смещение, приходится, как правило, подбирать при настройке.

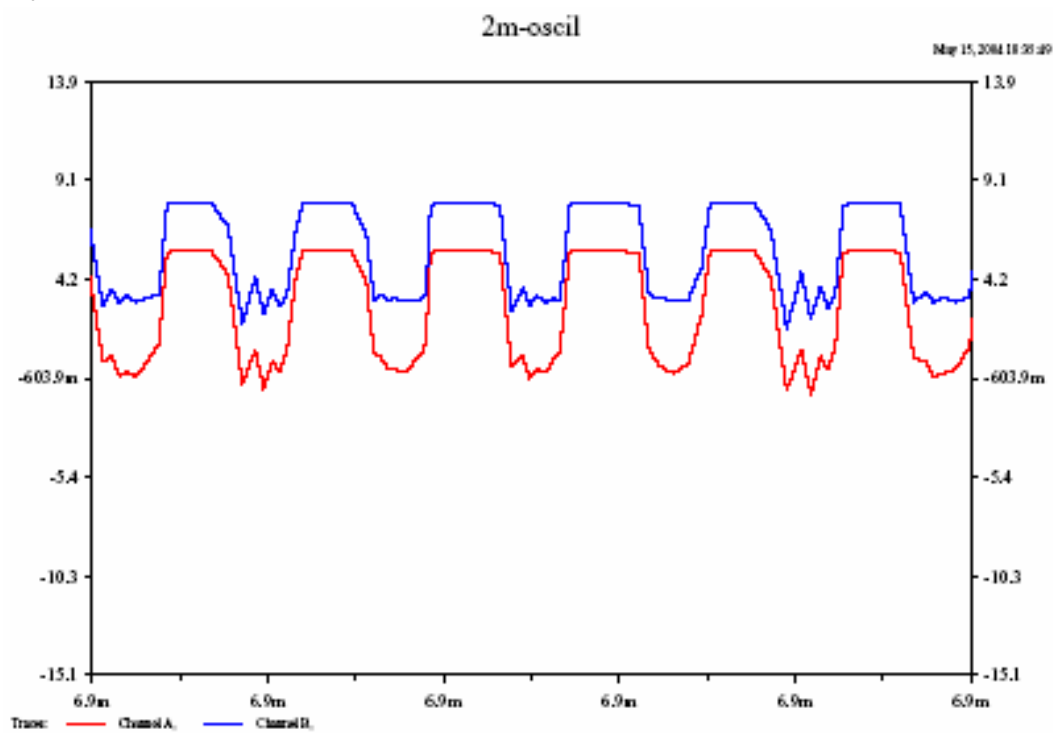
Перестройку частоты LC-генераторов обычно осуществляют изменением емкости конденсатора колебательного контура. При этом изменяется и добротность контура из-за изменения соотношения  $L/C$ , что может вызвать изменение режима работы автогенератора. Изменение емкости обычно производят механическим путем или с помощью варикапа, изменяя напряжение смещения.

Выполнение работы:

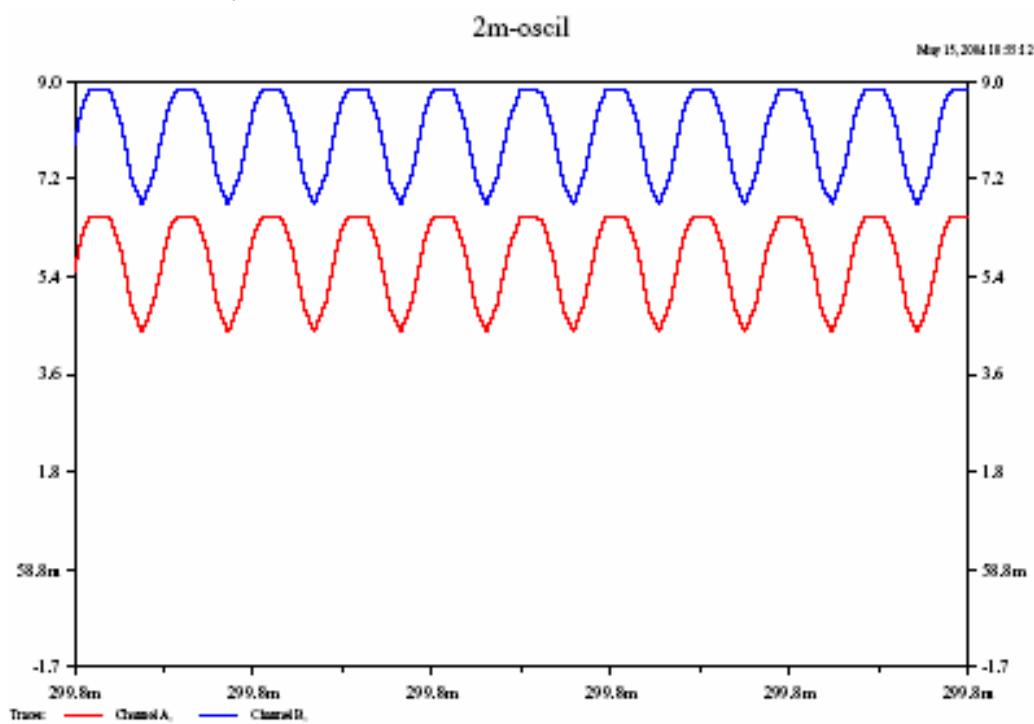


$$C_1 = C_2 = 82n\Phi$$

$$R_0 = 10k\Omega$$



При введении  $C_c = 25n\Phi$



$$T = 475.2нс$$

$$F_T = \frac{1}{T} = 2.1MГц$$

$$C_k = 41n\Phi$$

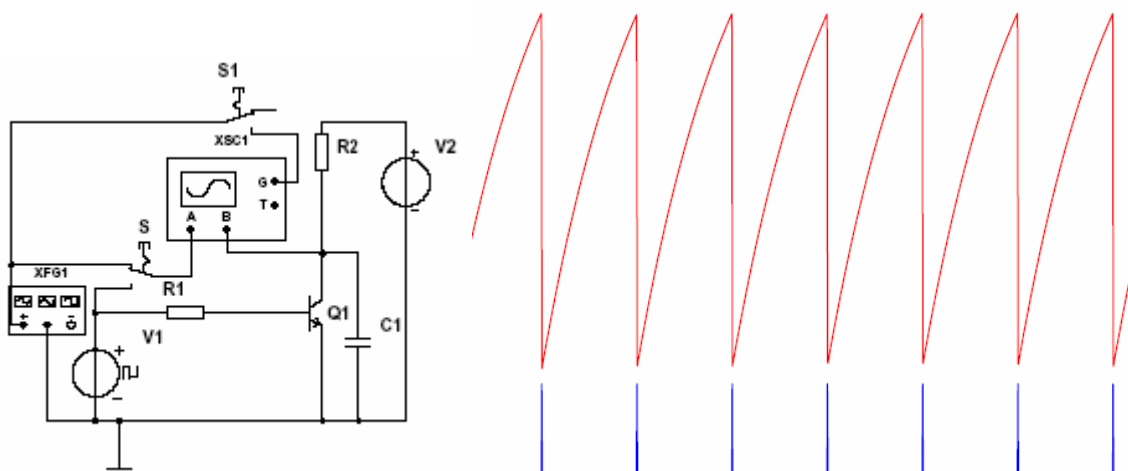
$$f_T = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-6} \cdot 10^{-12} \cdot 120 \cdot 41}} = 2,27MГц$$

## Лабораторная работа №4 Генераторы пилообразного напряжения

Генераторы пилообразного напряжения (ГПН) чаще всего выполняются с внешним управлением. При этом длительность рабочего хода определяется длительностью внешнего управляющего импульса прямоугольной формы. При необходимости можно создать генераторы, работающие в ждущем (с запуском от короткого импульса), автоколебательном или в режиме синхронизации.

В простейшем случае, когда не требуется высокая линейность рабочего участка выходного напряжения, ГПН выполняется по схеме интегрирующей RC-цепи со сбросом заряда при обратном ходе. Схема такого ГПН приведена на рис. 1, а.

Она содержит интегрирующую RC-цепь, ключ на транзисторе VT, генератор G импульсов сброса, осциллограф, функциональный генератор и два ключа Z и A, управляемых одноименными клавишами и предназначенных для реализации различных режимов моделирования. Показанные на панели функционального генератора значения коэффициента заполнения позволяют получить короткий импульс сброса с генератора G при формировании обратного хода, а на выходе функционального генератора — образцовое пилообразное напряжение (с высокой линейностью), которое будет использовано при оценке нелинейности ГПН.



**Рис. 1. Генератор пилообразного напряжения с зарядным резистором (а) и осциллограммы его выходного (В) и сигнала сброса (А) (б)**

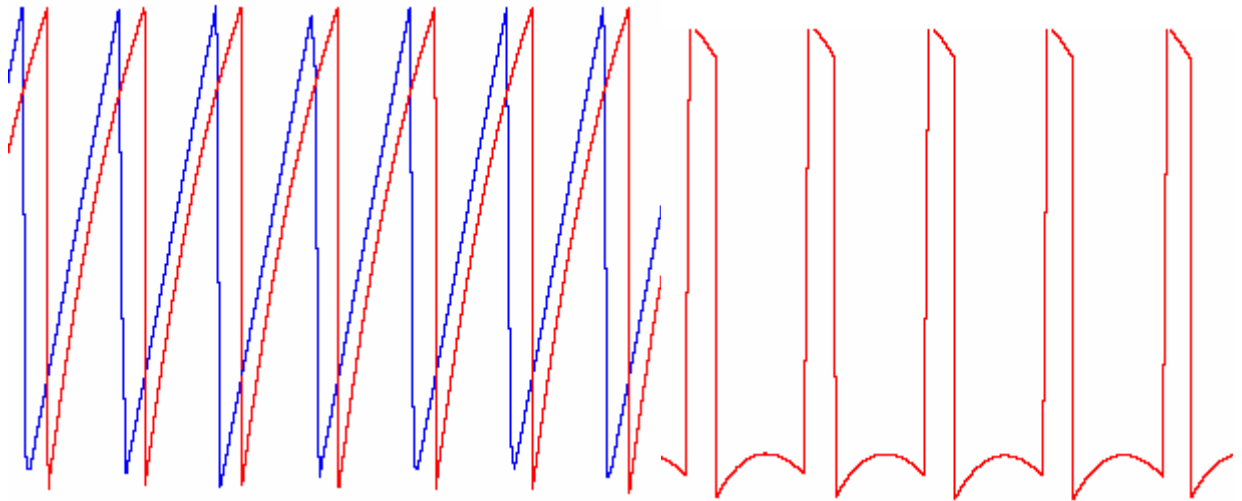
Выходной сигнал ГПН на интервале рабочего хода изменяется по экспоненциальному закону:

$U(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{T}})$  где  $T=RC=1$  с — постоянная времени RC-цепи на рис. 1, а.

$K_n = \frac{V_n - V_k}{V_k}$  где  $V_n, V_k$  — значения скорости выходного напряжения в начале и конце рабочего хода соответственно.

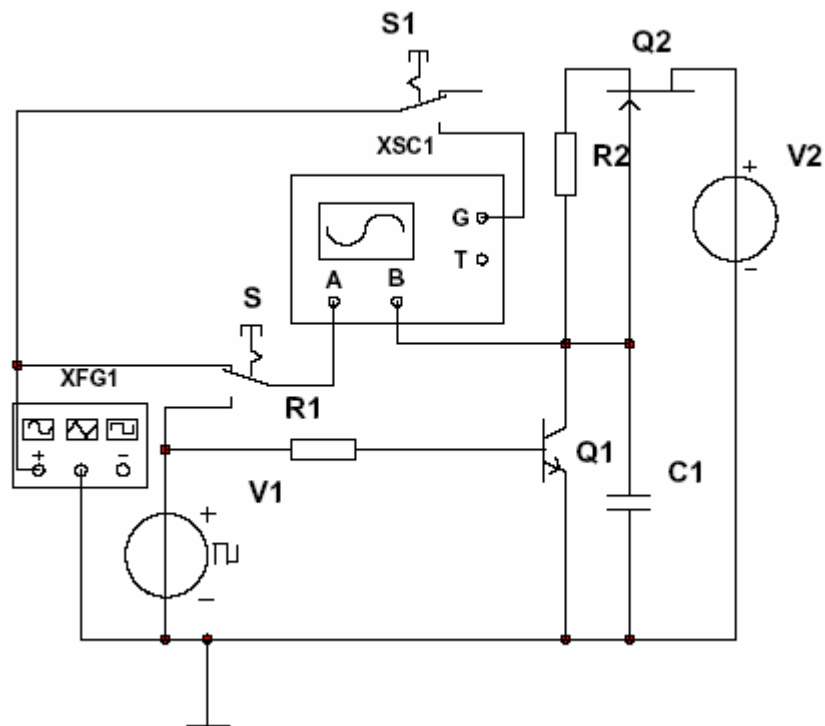
Для определения скорости нужно взять производную по времени от выражения  $U(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ . Прделав такую операцию, получаем выражение для скорости выходного напряжения ГПН в следующем виде:

$$V(t) = \frac{U_0 e^{-t/T}}{T}$$



**Рис. 2.**  
Осциллограмма выходного и эталонного сигнала

**Рис. 3.**  
Осциллограмма разностного сигнала



**Рис. 4.** ГПН со стабилизатором тока (а) и осциллограммы его выходного напряжения (В) и функционального генератора (А) (б)