

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 621.38.(045)

О. Ю. Красноусова, канд. техн. наук,
Д. А. Найда, студ.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМЫ ГИРАТОРА
С НЕЗАЗЕМЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: iacs@nau.edu.ua

Проведен виртуальный эксперимент – анализ схемы гиратора. Выявлены недостатки известной схемы. Предложены меры по устранению недостатков.

Ключевые слова: гираторы, виртуальный эксперимент, устойчивость работы.

Введение и постановка задачи. Гираторы – электронные устройства, преобразователи сопротивления нагрузки Z_H во входное сопротивление $Z_{BX} = R^2 / Z_H$, где R – сопротивление гирации. Таким образом, емкостное сопротивление Z_H преобразуется в индуктивное Z_{BX} (и наоборот), а малое сопротивление Z_H преобразуется в большое Z_{BX} и наоборот. Применение гираторов особенно важно в микроэлектронике, поскольку изготовление катушек индуктивности L при помощи интегральной технологии является проблематичным и в настоящее время. Гираторы используются во многих устройствах современной микроэлектроники, например в активных фильтрах. Однако в ряде случаев использование гираторов не обеспечивает устойчивую работу сложных электронных систем. Возникающие высокочастотные автоколебания существенно искажают полезные сигналы, приводят к нарушению основных соотношений [1], соответствующих гираторов. Целью настоящей работы являлся поиск условий обеспечения стабильной работы гираторов, уточнение их схем и параметров элементов. Использовался виртуальный эксперимент – компьютерное моделирование работы гираторов (комплекс программ EWB).

Исследуемая схема. Рассматривалась схема гиратора с незаземленной нагрузкой (рис. 1), приводимая в работах [1; 2].

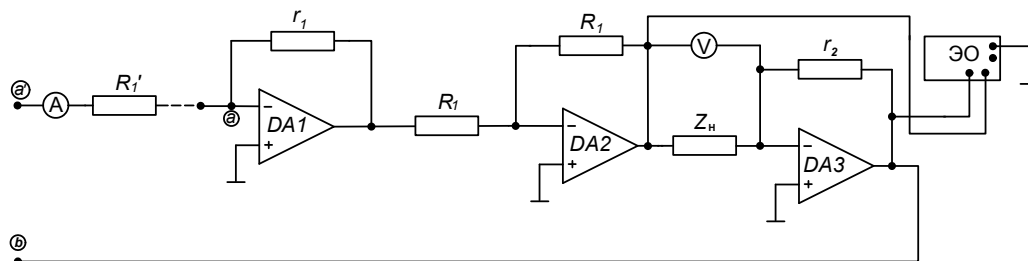


Рис. 1. Схема гиратора: DA – операционный усилитель; ЭО – электронный осциллограф

Используется питание ± 12 В, что не показано на рис. 1; r_1, r_2 – сопротивления гирации; R_1' – дополнительное сопротивление, вводимое в схему, по сравнению с работами [1; 2]. Измерительные приборы: амперметр – для измерения входного тока, вольтметр – для измерения напряжения на нагрузке Z_H , а также электронный осциллограф – для контроля сигналов U_{BX}, U_H .

В качестве Z_H использовалась емкость C , значения C варьировались в широких пределах. В качестве источников сигнала использовались генератор гармонического напряжения ($U = 5$ В, $f = 50 \dots 500$ Гц), а также генератор гармонического тока ($I = 50$ мкА, $f = 50$ Гц). Были выбраны значения $r_1 = r_2 = R_1 = R_2 = 10$ кОм. Перед проведением виртуального эксперимента были произведены расчеты не только основных показателей: $Z_{BX}, K_H = U_H / U_{BX}$, но и всех токов и напряжений в схеме (рис. 1). Этим теоретическим анализом, основанным на использовании нулловых моделей операционных усилителей, предложенным в работе [3], в частности, преследовалась цель проверки отсутствия насыщения всех операционных усилителей при заданных параметрах элементов схемы.

Результаты расчетов проверялись при помощи компьютерного моделирования работы схемы, рис. 1.

Результаты эксперимента и их трактовка. При отсутствии сопротивления R_1' (т. е. при $R_1' = 0$) и при подключении генератора гармонического напряжения $U_{\text{вх}}$ измеренные значения $I_{\text{вх}}$, $U_{\text{н}}$ совпадают с расчетными значениями только в начале эксперимента. Через несколько секунд измеряемые значения претерпевают колебательные изменения, что сопровождается (в лучшем случае) искажением формы гармонического сигнала, как на входе, так и в нагрузке (рис. 2).

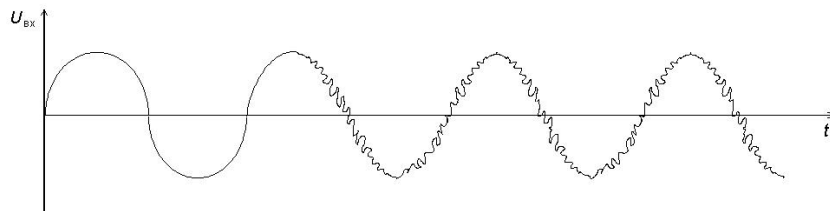
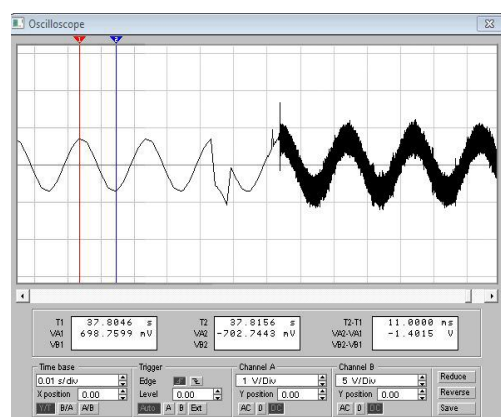


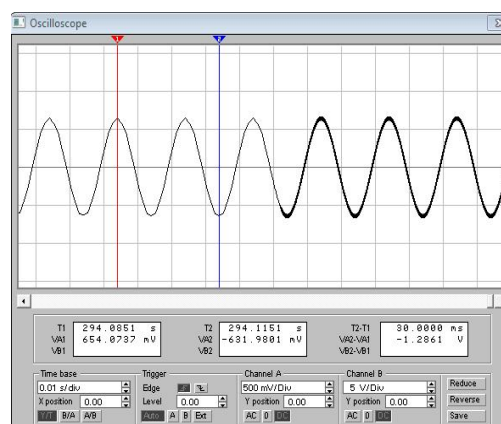
Рис. 2. Типичные искажения гармонического сигнала в гираторе, в виде аддитивной помехи

При введении в схему рис. 1 дополнительного сопротивления $R_1' \neq 0$ появление искажений сигнала задерживается. Выбирались значения $R_1' = 1 \text{ кОм}$, 10 кОм , ..., 100 кОм .

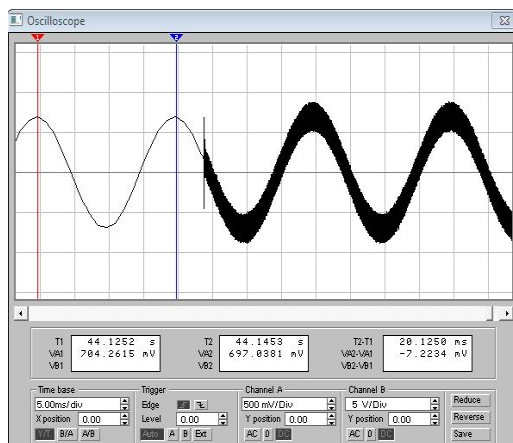
С течением времени амплитуда высокочастотной помехи нарастает даже при подключении дополнительного гасящего сопротивления R_1' , и в итоге на экране электронного осциллографа наблюдается существенное искажение используемого гармонического сигнала (рис. 3), что свидетельствует о полном несоответствии классической схемы гиратора [1; 2] её предназначению.



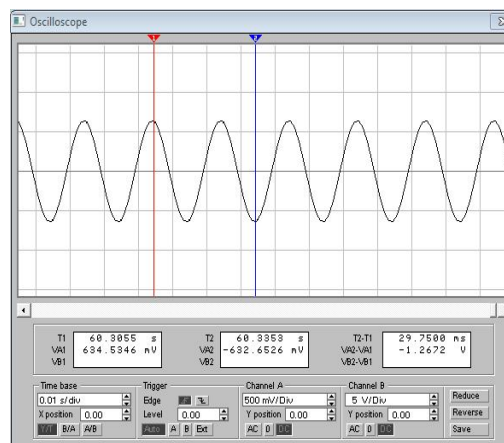
a



б



в



г

Рис. 3. Существенные искажения гармонического сигнала в схеме гиратора: *a* – при $R_1' = 1 \text{ кОм}$; *б* – при $R_1' = 20 \text{ кОм}$; *в* – при $R_1' = 10 \text{ кОм}$; *г* – при $R_1' = 10 \text{ кОм}$ через 60 с

Стабильная работа гиратора при отсутствии искажений сигнала наблюдалась только при относительно больших значениях $R_1' \approx 100$ кОм, т. е. при $R_1' \geq |Z_{\text{вх}}|$.

Искажения сигнала при нестабильной работе гиратора связаны с возникающей аддитивной помехой, частота колебаний которой на несколько порядков выше частоты генератора. За счет дополнительного сопротивления R_1' входное сопротивление схемы рис. 1 равно $Z_{\text{вх}} = R_1' + Z_{\text{вх}}$, где $Z_{\text{вх}} = r^2 / Z_{\text{н}}$, а коэффициент передачи $K_u = U_{\text{н}} / U_{\text{вх}} = r Z_{\text{н}} / (R_1' Z_{\text{н}} + r^2)$. В тоже время нарушение стабильности работы гиратора и искажения сигнала отсутствовали, даже при $R_1' = 0$, если на входе схемы рис. 1 подключался идеальный источник гармонического тока.

Расчетные данные U_p , I_p , а также данные измерений U_N , I_N – при отсутствии искажений – сведены в таблицу.

Таблица расчетных и измеренных значений

C , мкф	I_p , мкА	I_N , мкА	U_p , мВ	U_N , мВ
31,82	4,98	4,9	49,8	49
3,182	35,5	35,1	355	351
0,3182	49,7	50	497,5	497
0,03182	49,9	50	499	499

При изменении частоты f генератора автоматически изменялось значение $Z_{\text{н}}$. В частности, при увеличении частоты в десять раз емкостное сопротивление $Z_{\text{н}}$ сохраняло своё значение при одновременном уменьшении в 10 раз емкости C . При этом измеряемые и расчетные значения U , I соответственно не менялись.

Таким образом, проведенные эксперименты наглядно показывают, что известная схема гиратора с незаземленной нагрузкой [1; 2] обладает существенным недостатком. При подключении этой схемы к источнику гармонического напряжения неминуемо нарушается стабильность работы гиратора, не выполняются основные расчетные соотношения, существенно искажается форма сигнала. (Теоретические соотношения остаются в силе при подключении схемы к идеальному источнику тока, т. е. к источнику сигнала с бесконечно-большим внутренним сопротивлением.) Действительно, если внутреннее сопротивление источника напряжения очень мало и при $R_1' = 0$ расчетное значение модуля коэффициента передачи DA_1 (см. рис. 1), стремится к бесконечности. Это неминуемо приведет к насыщению DA_1 , т. е. к нарушению линейного режима работы операционного усилителя и к невыполнению основных соотношений для гиратора. Источник тока, как известно, обладает большим внутренним сопротивлением, в отличие от источника напряжения. Именно поэтому искажения отсутствуют, если источником входного сигнала является источник тока. При работе с источником сигнала – источником напряжения, для устранения указанного недостатка на входе известной схемы гиратора следует подключать дополнительно активное сопротивление R_1' , близкое или большее по модулю, по сравнению с сопротивлением $Z_{\text{вх}}$ классической схемы гиратора. Однако при этом результирующее сопротивление $Z_{\text{вх}}'$ уже не будет чисто индуктивным, если $Z_{\text{н}}$ – емкостное сопротивление.

Выводы

1. В реальных условиях, при использовании реальных источников сигнала, с малым внутренним сопротивлением, классическая схема гиратора не обладает устойчивостью работы.

2. Для обеспечения стабильности работы и устранения высокочастотной помехи, на входе классической схемы гиратора необходимо включить дополнительное активное сопротивление и подбирать значения этого сопротивления. Но при этом уже не удастся преобразовывать емкость в “чистую” индуктивность. Входное сопротивление гиратора становится активно-индуктивным.

Список литературы

1. Марже Ж. Операционные усилители и их применения / Ж. Марже – Л.: Энергия, 1974. – 216 с.
2. Бессонов Л. А. Линейные электронные цепи. Новые разделы курса ТОЭ / Л. А. Бессонов – М.: Высш. шк., 1983. – 336 с.
3. Єгоршин Ю. О. Нулатор-нораторні моделі електронних елементів і активних кіл / Ю. О. Єгоршин, О. Ю. Красноусова // Вісн. НАУ. – К.: НАУ, 2003, №3–4, С. 102 – 105.

О. Ю. Красноусова, Д. А. Найда

Комп'ютерний аналіз схеми гіратора з незаземленим навантаженням

Проведено віртуальний експеримент – аналіз схеми гіратора. Виявлено недоліки відомої схеми. Запропоновано заходи щодо усунення недоліків.

O. Y. Krasnousova, D. A. Naida

Computer analysis of the gyrator circuit with a floating load

A virtual experiment – gyrator circuit analysis has been conducted. The circuit disadvantages have been revealed. The measures of elimination of defects have been offered.