

УДК 621.38 (045)

С. И. Иванов, студ.,
О. Ю. Красноусова, канд. техн. наук

УТОЧНЕНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМЫ ГИРАТОРА С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

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

Уточнена схема гиратора и проведен её расчет. Проведены экспериментальные проверки работоспособности схемы, устранены искажения сигнала, подтверждены расчетные соотношения.

Ключевые слова: гираторы сопротивлений, устойчивость работы.

Введение и постановка задачи. Схема гиратора с заземленной нагрузкой, построенная на четырех операционных усилителях, была описана в работе [1], а затем воспроизведена в работе [2]. Вывод соотношений для гиратора [1] является приближенным. В работе [2] вывод соотношений для гиратора не приводится, а при воспроизведении схемы допущена ошибка. Основным недостатком схем гиратора, приводимых в литературе [1; 2], оказывается их неустойчивость при подключении к источнику сигнала – генератору переменного напряжения. Об этом свидетельствуют результаты электронного моделирования, проведенного нами.

Задачами работы являются: уточнение схемы гиратора с заземленной нагрузкой, направленное на обеспечение стабильности функционирования; уточнение анализа – расчета токов и напряжений в схеме гиратора; проверка правильности получаемых соотношений путем виртуального эксперимента. Для расчета схем гиратора используется один из способов [3; 4], основанный на использовании нулловых моделей для операционного усилителя.

Уточнение схемы гиратора. Проведенные эксперименты показали, что устойчивая работа гиратора, собранного по схеме [1], может быть обеспечена и при подключении к источнику переменного напряжения, если между источником и гиратором ввести дополнительное гасящее сопротивление. В принципе это сопротивление можно условно считать внутренним сопротивлением некоторого источника реального напряжения. Тогда схема гиратора принимает вид, показанный на рис. 1.

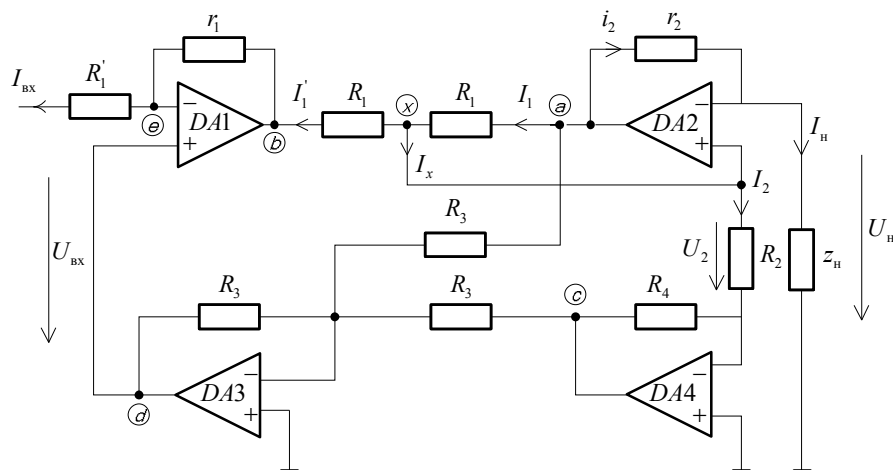


Рис. 1. Схема гиратора с заземленной нагрузкой

Проведем анализ схемы, показанной на рис. 1. В частности, рассматривая основные соотношения для токов и напряжений гиратора, выясним, каковы должны быть параметры резисторов R_1 , R_2 , R_4 . Выбор параметра R_1 произведем на основе виртуального эксперимента – компьютерного моделирования работы гиратора.

В схеме рис. 1, в работе [1] используется равенство для потенциала $\varphi_x = 0,5(\varphi_a + \varphi_b)$. Заметим, что такое равенство справедливо только при $I_x = 0$. В работе [1] полагается $R_2 \gg R_1$ (когда током I_x можно пренебречь), поэтому упомянутое равенство является приближенным. В работе [1] не отмечено, что $R_4 = R_2$, хотя отдельные соотношения, приводимые в работе [1],

выполняются только при этом равенстве. В работе [2] значение R_4 вообще ошибочно принято равным нулю. Итак в отличие от известной схемы гиратора [1] нами введено дополнительное сопротивление R_1' ; сопротивление R_4 принято равным R_2 ; снято ограничение [1] в виде неравенства $R_2 \gg R_1$.

Для уточнения внешних характеристик гиратора следует почти расчет практически всех напряжений и токов для схемы, показанной на рис. 1, а также подтвердить расчетные значения экспериментально, например, при помощи виртуального эксперимента.

Анализ схемы. Невыполнение неравенства $R_2 \gg R_1$ не нарушает принципа действия гиратора, хотя и изменяет основные показатели гиратора. Более существенным оказывается влияние «гасящего» сопротивления $R_1' \neq 0$. Используем свойство нуллатора (NL) – входа операционного усилителя, работающего в линейном режиме (входные токи операционного усилителя равны нулю, потенциалы входов операционного усилителя одинаковы). Используем закон Ома, первый закон Кирхгофа, а в некоторых случаях – и второй закон Кирхгофа. Тогда все токи и все напряжения в схеме рис. 1 можно определить последовательно-параллельно по алгоритму, представленному на рис. 2.

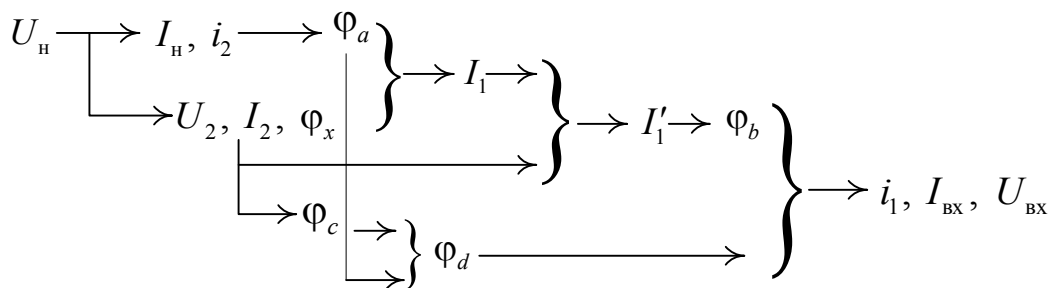


Рис. 2. Алгоритм расчета схемы

Используемые обозначения: i, U, I, ϕ, Z, Y – символические изображения (комплексные, либо операторные), $Z = Y^{-1}$, $r = g^{-1}$. Токи и напряжения для сопротивлений R_k , r_k обозначаются большими или малыми буквами с теми же индексами “к” (в работах [3; 4] был приведен расчет схемы гиратора, подобной, приводимой на рис. 1, но без учета дополнительного гасящего сопротивления R_1').

Итак, задав U_n , в соответствии с рис. 2, последовательно получим: $I_n = Y_n U_n = i_2$, $\phi_a = U_n + r_2 i_2$; $U_2 = U_n$, $I_2 = G_2 U_n$, $\phi_x = U_n$, $I_1 = G_1(\phi_a - \phi_x) = G_1 U_n r_2 Y_n$. Далее получим: $I_1' = I_1 - I_x = I_1 - I_2 = U_n [G_1 r_2 Y_n - G_2]$; $\phi_b = -I_1' R_1 + \phi_x = U_n [1 - R_1 G_1 r_2 Y_n + G_2 R_1] = U_n [G_2 R_1 - r_2 Y_n + 1]$. Соответственно имеем: $\phi_c = -\phi_x R_4 / R_2$. В частном случае, при $R_2 = R_4$ получим $\phi_c = -U_n$.

Зная ϕ_a и ϕ_c , получим $\phi_d = -(\phi_a + \phi_c) = U_n [1 - 1 - r_2 Y_n] = \phi_e = -r_2 Y_n U_n$.

Тогда $i_1 = g_1(\phi_b - \phi_e) = g_1 U_n [G_2 R_1 - r_2 Y_n + 1 + r_2 Y_n] = g_1 U_n [1 + G_2 R_1] = I_{vx}$;

$U_{vx} = \phi_e - I_{vx} R_1' = -U_n [r_2 Y_n + g_1 R_1' + g_1 R_1' G_2 R_1]$.

Отсюда имеем: $Z_{vx} = -U_{vx} / I_{vx} = (r_2 Y_n + g_1 R_1' + g_1 R_1' G_2 R_1) / (g_1 [1 + G_2 R_1])$;

$K_u = U_n / U_{vx} = -1 / (r_2 Y_n + g_1 R_1' + g_1 R_1' G_2 R_1)$. Если $R_1' = 0$, то имеем: $Z_{vx} = r_2 Y_n / (g_1 [1 + G_2 R_1])$,

$K_u = -1 / r_2 Y_n$. Если еще учесть условие $R_2 \gg R_1$, то получим приближенно $Z_{vx} = r_1 r_2 Y_n$, что используется в работе [1].

Заметим, что невыполнение условия $R_2 \gg R_1$ [1] не изменяет качественно принципа работы гиратора, при этом только численно изменяются показатели Z_{vx} , K_u . Отсюда при помощи регулирования значения R_2 удастся изменять в широких пределах основные показатели гиратора: Z_{vx} , K_u и др. Однако введение в схему гиратора дополнительного гасящего сопротивления R_1' не позволяет получить преобразование емкости в «чистую» индуктивность, входное сопротивление оказывается комплексным (активно-индуктивным по характеру).

Рассмотрим пример расчета показателей гиратора. Пусть $r_1 = r_2 = 10$ кОм, $R_1 = R_2 = R_4 = R_3 = 10$ кОм, $R_1' = 100$ кОм. Для частоты $f = 50$ Гц модуль сопротивления ёмкости $3,182$ МкФ

равен $|Z_H|=1$ кОм. Тогда $Z_{BX} = (j50+100)$ кОм; $K_u=-1/(j10+20)$, т. е. при $U_{BX} = 5$ мВ имеем модули $|I_{BX}| \approx 0,045$ мА, $|U_C| \approx 0,224$ В.

При отсутствии R_1' ($R_1'=0$) расчетные значения соответственно составляют: $Z_{BX}=j50$ кОм, $K_u=j0,1$, $|I_{BX}|=0,1$ мА, $|U_C|=0,5$ В, если $U_{BX}=5$ В.

При проведении виртуального эксперимента – компьютерного моделирования с использованием комплекса программ EWB, сначала ко входу схемы, показанной на рис. 1, при $R_1'=0$ был подключен идеальный источник тока: $I_{BX}=0,1$ мА; $f=50$ Гц. При помощи вольтметров определялись значения U_{BX} , U_H , которые полностью совпали с приведенными выше расчетными значениями. Отсутствие искажений сигнала фиксировалось на экране осциллографа, подключаемого на входе, а также на выходе схемы.

При замене идеального источника тока на источник напряжения $U_{BX}=5$ В, $f=50$ Гц на экране осциллографа регистрировались существенные нелинейные искажения сигнала, когда выбирались значения $R_1'=0,1$ кОм; 10 кОм. Эти искажения были устранены при выборе $R_1' \geq 100$ кОм. При этом измеренные значения I_{BX} , U_z совпали с расчетными, приведенными выше для случая $R_1'=100$ кОм.

Заметим, что ранее нами [5] для схемы гиратора с незаземленной нагрузкой удалось избавиться от существенных искажений полезного сигнала за счет включения дополнительного гасящего сопротивления последовательно с источником гармонического напряжения.

Выводы

1. Уточнена схема гиратора с незаземленной нагрузкой показана необязательность выполнения неравенства $R_2 \gg R_1$ для сопротивлений известной схемы гиратора. Кроме того, показана необходимость подключения к одному из входов гиратора дополнительного гасящего сопротивления для исключения паразитных автоколебаний, когда источником сигнала является источник напряжения.

2. За счет подключения ко входу гиратора дополнительного гасящего сопротивления оказывается принципиально невозможным получить преобразование емкости в идеальную индуктивность; входное сопротивление такой схемы является активно-индуктивным.

3. Проведенный виртуальный эксперимент полностью подтверждает правильность использованных расчетных соотношений.

Список литературы

1. Марше Ж. Операционные усилители и их применение / Ж. Марше – Л.: Энергия, 1974. – 216 с.
2. Бессонов Л. А. Линейные электрические цепи. Новые разделы курса ТОЭ / Л. А. Бессонов – М.: Высш. шк., 1983. – 336 с.
3. Егоршин Ю. А. Упрощение анализа электронных цепей при помощи нулловых моделей / Ю. А. Егоршин // Електроніка та системи управління. – К.: НАУ, 2009. – № 3. – С. 34 – 38.
4. Єгоршин Ю. О. Нулатор – наторні моделі електронних елементів та активних кіл / Ю. О. Єгоршин, О. Ю. Красноусова // Вісн. НАУ. – К.: НАУ, 2003. – №3–4. – С. 102 – 105.
5. Красноусова О. Ю. Компьютерный анализ схемы гиратора с незаземленной нагрузкой / О. Ю. Красноусова, Д. А. Найда // Електроніка та системи управління. К.: НАУ, 2011. – №1. – С. 83 – 86.

С. І. Іванов, О. Ю. Красноусова

Уточнення і аналіз схеми гіратора із заземленим навантаженням

Уточнено схему гіратора та виконано її розрахунок. Проведено експериментальну перевірку працездатності схеми, усунуто спотворювання сигналів, підтверджено розрахункові співвідношення.

S. I. Ivanov, O. Y. Krasnousova

Refinement and analysis of the gyrator circuit with a ground load

A gyrator circuit and its analysis has been refined. The experimental check of the performance circuit, signal distortion elimination and confirmation of the calculated ratios has been done.