

НОВЫЙ ВАРИАНТ ЭЛЕКТРОИНТЕГРАТОРА ЭЛИ-12

К. А. Нетребенко

Х а р ь к о в

1. Новая схема основного моделирующего устройства

Моделирующая часть электроинтегратора ЭЛИ-12 состоит из 12 одинаковых блоков, построенных по схеме, приведенной на рис. 1 [4]. Каждый такой блок выполняет операции

$$x_k^-(t) = x_k^-(0) - \frac{1}{b} \int_0^t \left[a_{k0} + \sum_{i=1}^{12} u_{ki} \right] dt \quad (1)$$

$$x_k^+ = -x_k^-$$

$$(k, = 1, 2, \dots, 12), \quad (2)$$

а с помощью делителей $D-$ и $D+$ производится умножение на постоянные положительные коэффициенты, меньшие единицы. Соединены

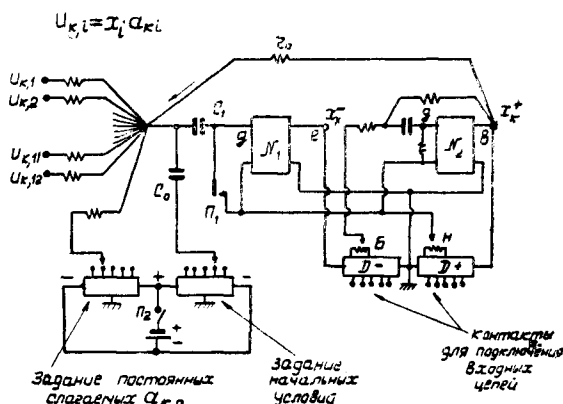


Рис. 1. Принципиальная схема основного блока ЭЛИ-12.

основные блоки таким образом, что в приборе воспроизводится процесс, описываемый системой линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$b \frac{dx_k}{dt} = - \sum_{i=1}^{12} a_{ki} x_i - a_{k0} \quad (3)$$

$$(k = 1, 2, \dots, 12)$$

при заданных начальных условиях.

Конструкция основного моделирующего блока нуждается в модернизации. Весьма желательным является также расширение класса задач, решение которых возможно на интеграторе.

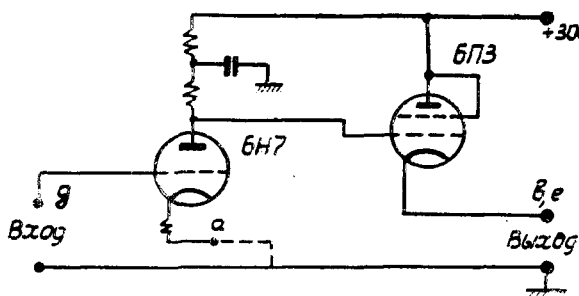


Рис. 2. Схема усилителя ЭЛИ-12 (усилители N_1 и N_2 на рис. 1).

Новая принципиальная схема основного блока ЭЛИ-12, разработанная и испытанная автором в лаборатории электро моделирования ИТМиВТ АН СССР, приведена на рис. 3.

В этой схеме сохранен, принцип интегрирования, применяемый в обычном варианте ЭЛИ-12. Для цепи компенсации применяется отдельный усилитель K_3 с маломощным выходом.

Все усилители имеют усиление порядка 300—400. Благодаря применению отдельной компенсационной цепи и сравнительно высокому коэффициенту усиления, второе звено основного блока может быть использовано не только для простого инвертирования, но и в качестве суммирующего устройства. Для этого на входе усилителя K_2 предусмотрены дополнительные регулируемые проводимости A_1 и A_2 .

Емкость связи во втором звене отсутствует вообще, а емкость на входе первого усилителя сохранена, но может быть быстро выключена. Предусмотрена возможность отключения периодизатора и введения во входную цепь усилителя (сетка катодного повторителя L_1) обычного сопротивления утечки величиной 5—10 Мом.

Указанные добавления позволяют использовать прибор ЭЛИ-12 в трех режимах работы.

Первый режим соответствует обычному режиму работы ЭЛИ-12 с периодизацией и автоматической «установкой нулей» при периодическом замыкании входных цепей. Отличие состоит здесь только в том,

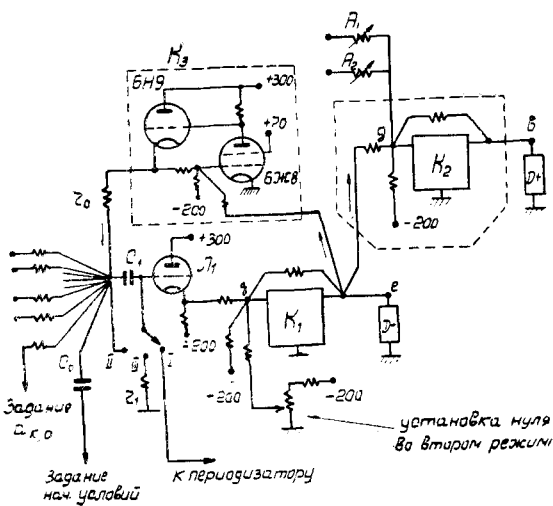


Рис. 3. Схема основного блока в новом варианте ЭЛИ-12.

что в схеме периодизации могут работать электронные ключи (двойные диоды 6×6 , управляемые общим для всех диодов триггером с мощным выходом), а во втором звене может производиться добавочное суммирование.

Во втором режиме входная емкость закорачивается и интегратор работает как прибор с усилителями постоянного тока. Если при этом увеличить RC интегрирующих звеньев, то можно будет работать с увеличенным масштабом времени. Некоторое неудобство, связанное с необходимостью подстройки нулей усилителей, вполне окупается здесь расширением возможностей прибора.

Наконец, в третьем режиме прибор работает с емкостями, но без периодизации. Достоинством такого режима является возможность моделирования установившихся периодических процессов, не требующая, как в предыдущем случае, подстройки нулей. «Автоматическая подстройка нуля» осуществляется в этой схеме с помощью подзаряда емкости C_1 через сопротивление r_1 . Недостатком этого режима работы по сравнению с предыдущим является невозможность моделирования установившихся процессов в тех случаях, когда в составе моделируемых переменных величин должны быть постоянные составляющие.

2. Расширение класса задач, решение которых возможно на интеграторе

К числу наиболее существенных преимуществ нового варианта ЭЛИ-12 в отношении расширения его математической мощности относится следующее:

1. Применение усилителей с повышенным коэффициентом усиления облегчает подключение к интегратору нелинейных функциональных преобразователей.

2. Высокий коэффициент усиления во втором звене и освобождение этого звена от работы в компенсационной цепи дают возможность использовать его в качестве самостоятельного суммирующего устройства. Это приближает возможности ЭЛИ-12 к возможностям моделей структурного типа, не нарушая в то же время матричной схемы прибора.

3. При выключении емкостей C_1 (второй режим работы) и увеличении RC интегрирующих звеньев интегратор ЭЛИ-12 может использоваться в сочетании с реальными объектами.

4. Увеличение рабочего времени моделирования при работе без периодизатора во втором и третьем режимах дает возможность моделировать установившиеся процессы, не прибегая к предварительному подбору начальных условий [4].

Конкретным примером, характеризующим расширение возможностей ЭЛИ-12 в новом варианте, может служить моделирование нелинейных электрических цепей, содержащих катушки с ферромагнитными сердечниками. Решение ряда задач было проведено в лаборатории электромоделирования ИТМиВТ на макете нового моделирующего блока для ЭЛИ-12.

3. Выигрыш в точности, надежности, потреблении мощности и т. п.

Экспериментальное изучение макета нового основного блока обнаружило следующие преимущества новой конструкции.

Благодаря увеличению коэффициента усиления усилителей существенно улучшается линейность всех звеньев. Лучшая линейность позволяет

производить более точную компенсацию так называемых «диагональных членов» [2]—[4] в уравнениях интегрирующих звеньев. Этим повышается точность интегрирования.

Увеличение усиления улучшает не только линейность, но и стабильность звеньев основного блока. Эксперименты показали возможность в 5—6 раз уменьшить изменение коэффициентов передачи звеньев при изменении питающих напряжений. Это избавляет от необходимости слишком частой и утомительной подстройки и балансировки усилителей [4].

Новая конструкция не требует индивидуального подбора ламп. При замене ламп обычно не требуется даже дополнительной подстройки.

Новая схема предусматривает возможность работы с электронным периодизатором, что повысит ее надежность.

Применение во входных каскадах усилителей пентодов с катодами, имеющими нулевой потенциал, и понижение среднего потенциала сеток

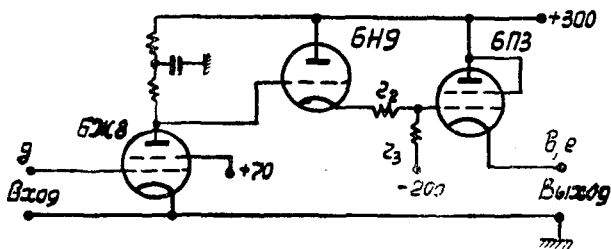


Рис. 4. Схема усилителя (усилители K_1 и K_2 на рис. 3).

выходных ламп с помощью делителя r_2 , r_3 (рис. 4) дают возможность существенно понизить постоянную, составляющую напряжения на выходах усилителей. Средний потенциал выходных клемм усилителей относительно земли может быть понижен со 110 до 55 в, что в два раза уменьшает мощность, потребляемую анодами ламп.

Затраты на переоборудование прибора ЭЛИ-12 по предлагаемой схеме составят не более 3—5% от его полной стоимости.

В заключение автор выражает благодарность Л. И. Гутенмахеру и Н. В. Королькову за ценные советы при составлении новой конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Гутенмахер. Электрические схемы для решения систем уравнений. ДАН СССР, 47, вып. 3, (1945).
2. Н. В. Корольков. Диссертация. ЭНИН, 1947 г.
3. Л. И. Гутенмахер. Электрические модели. Изд. АН СССР, 1949.
4. Л. И. Гутенмахер, Н. В. Корольков и др. Руководство по электронно-ламповым интеграторам типа ЭЛИ. Изд. АН СССР, 1952.