

УДК 519.95

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ КРИОТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Н.И. Назаров

Криотронным вычислительным средам, а также методам реализации в них схем автоматики и вычислительной техники посвящен ряд работ [1,2]. Быстродействие таких схем в вычислительной среде представляет значительный интерес и исследовано сравнительно мало.

Элемент криотронной вычислительной среды содержат гальванически не связанные между собой цепи настройки и функционально-соединительные цепи [1]. Поэтому, если не учитывать времени настройки, цепи настройки на быстродействие не влияют. Если их не принимать во внимание, то вычислительная среда представляет собой структуру, показанную на рис.1. Каждая вертикальная шина соответствует столбцу элементов, горизонтальная — строке. Контур АБВГДЖЗА, например, образован четырьмя элементами.

Отрезки вертикальных шин (ГД, ЗА и другие) обладают нулевыми сопротивлениями. Отрезки горизонтальных шин (БВ, ЖЕ и другие) также обладают нулевыми сопротивлениями, но при работе реализованного в среде устройства некоторые из них могут переводиться в нормальное состояние. Соединительные ветви (АБ и другие) в зависимости от настройки могут находиться в нормальном или сверхпроводящем состоянии.

Будем считать, что индуктивности отрезков вертикальных и горизонтальных шин одинаковы и равны L , а индуктивности соединительных ветвей равны kL ; число k определяется конструкцией элемента среды и может быть задано в довольно широком интервале значений. Сопротивления ветвей, не находящихся в сверхпроводящем состоянии, равны R .

Реализованное в среде устройство является системой связанных между собой контуров; связь контуров выражается в том, что наличие или отсутствие тока в какой-либо из ветвей одного контура означает наличие или отсутствие сопротивления в определенной ветви другого контура. Работа устройства в среде заключается в переключении тока из ветвей контуров, обладающих сопротивлениями, в ветви с нулевыми сопротивлениями.

Скорость переключения тока в контуре, не находящемся в среде, определяется его постоянной времени, равной отношению суммы индуктивностей ветвей к сумме сопротивлений, включенных в контур. Если контур расположен в среде (например, контур АБВГДА на рис. 1), то вследствие шунтирования его ветвей другими ветвями среды скорость переходного процесса будет иной, чем при отсутствии среды, а также будет разной для ветвей с сопротивлениями и для ветвей без сопротивлений. Быстродействие среды в этом случае будет определяться скоростью переключения тока в той из ветвей контура, где эта скорость минимальна.

На основании численных расчетов можно предположить, что скорость переключения тока в конечном контуре, расположенном в бесконечной среде, не равна нулю, а имеет конечную величину. Следовательно, для каждого контура можно указать такой размер среды, с увеличением которого до бесконечности не произойдет значительного уменьшения скорости переходного процесса. Будем называть этот размер среды шунтирующим. Шунтирующий размер среды зависит также от величины контура, в котором происходит переключение тока: чем больше контур, тем больше шунтирующий размер среды и тем больше относительное уменьшение скорости переключения тока. Существование шунтирующего размера среды позволяет делать выводы о переключении тока в контуре, расположенном в бесконечной среде, на основе анализа переключения тока в конечной среде.

Ниже представлены результаты численного анализа переходного процесса в контуре, образованном четырьмя элементами (рис. 1). Через i_1 , i_2 , i_3 обозначены некоторые из контурных токов. Вместо скорости переключения будем определять скорость затухания единичного тока ($i_1 = 1$), циркулирующего в сверхпроводящем контуре, при включении в этот контур в момент времени $t = 0$ двух сопротивлений R . Контур расположен в центре квадратного участка среды из n элементов; вычисления проведены для $n = 16, 36, 64$ и 100 . Переходный процесс описывается системой из 9, 25, 49 и 81

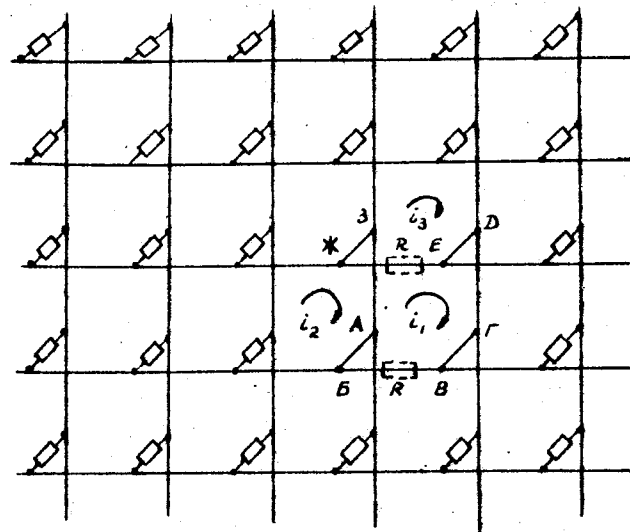


Рис. 1.

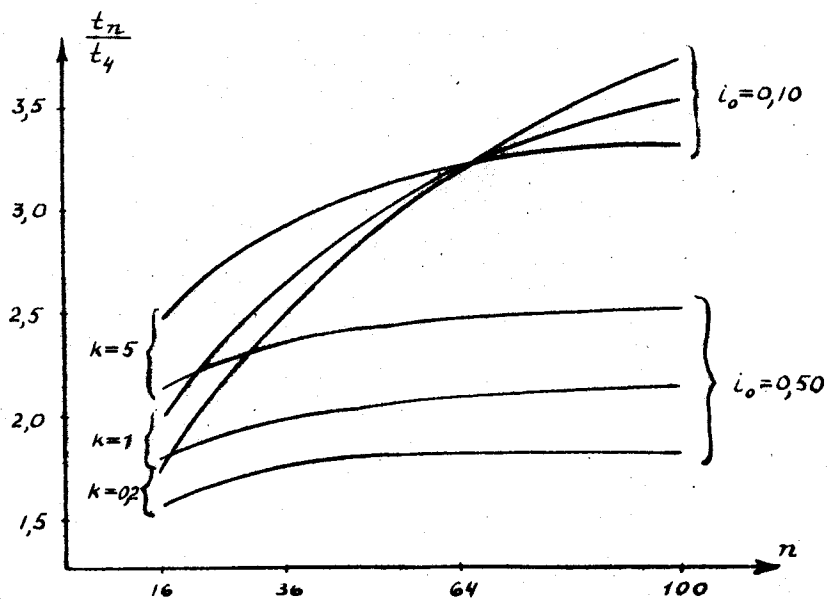


Рис. 2.

линейных дифференциальных уравнений Кирхгофа соответственно. Если учесть симметричное расположение контура на участке среды, то число уравнений уменьшится и будет равно 4, 9, 16 и 25. Вычисления проведены для трех значений коэффициента κ : $\kappa=0,2$; $\kappa=1$; $\kappa=5$.

Переходный процесс будем характеризовать относительной скоростью затухания тока и относительным изменением времени затухания тока до какого-то определенного уровня. Относительная скорость затухания тока в какой-либо из ветвей равна абсолютной величине отношения скорости изменения тока к его величине в этой ветви; при $n=4$, т.е. без шунтирования контура средой, переходный процесс описывается экспоненциальной функцией и его относительная скорость постоянна. Относительное изменение времени затухания тока в какой-либо из ветвей контура равно отношению времени затухания тока до определенного значения при наличии среды ко времени затухания до того же значения в таком же контуре при отсутствии среды.

Рассмотрим два переходных тока: ток i_R в ветви с сопротивлением (ветвь БВ или ЕЖ), $i_R = i_1 - i_3$, и ток i_o в сверхпроводящей (ГД или ЗА) ветви, $i_o = i_1 - i_2$. Обозначим через $t_n(i_R = \alpha)$ время затухания тока i_R до величины α в среде из n элементов.

Вычисления показывают, что в начале переходного процесса относительная скорость затухания тока i_R при $n > 4$ больше скорости затухания тока i_R при $n=4$, причем она несколько увеличивается с ростом n . С удалением от начала переходного процесса вместе с уменьшением i_R уменьшается и относительная скорость; при $n > 4$ и любом κ относительное изменение времени затухания тока при разных i_R будет таким:

$$t_n(i_R > 0,15) / t_4(i_R) < 1, \quad t_n(i_R \approx 0,15) / t_4(i_R) \approx 1,$$

а $t_n(i_R < 0,15) / t_4(i_R) > 1$. Относительная скорость затухания тока i_R увеличивается также при увеличении κ : при $n=100$ и $i_R=0,25$, где отношение t_n / t_4 минимально, при $\kappa=0,2$ $t_{100} / t_4 = 0,80$, при $\kappa=1$ $t_{100} / t_4 = 0,68$, при $\kappa=5$ $t_{100} / t_4 = 0,58$.

Относительная скорость затухания тока i_o в ветви без сопротивления при $n > 4$ всегда меньше скорости затухания при $n=4$. На рис.2 показана зависимость относительного увеличения времени затухания тока i_o от n . Для каждого из κ показаны по две кривых, соответствующих затуханию тока до ве-

личия $i_o = 0,50$ и $i_o = 0,10$.

Из рассмотренных кривых на рис.2 можно отметить следующие особенности затухания тока i_o при шунтировании контура средой:

1) для каждого κ , чем ниже уровень, до которого затухает ток i_o , тем больше относительное увеличение времени затухания тока и тем больше шунтирующий размер среды; график затухания тока представляет собой кривую, убывающую медленнее, чем экспонента;

2) относительное увеличение времени затухания тока i_o до уровня $i_o > 0,25$ при $n \rightarrow \infty$ тем больше, чем больше κ ; для $i_o = 0,50$ $t_\infty / t_4 = 1,8$ при $\kappa=0,2$ и $t_\infty / t_4 = 2,5$ при $\kappa=5$;

3) относительное увеличение времени затухания тока до уровня $i_o < 0,25$ при $n \rightarrow \infty$ тем меньше, чем больше κ ; для $i_o = 0,10$ $t_\infty / t_4 \approx 3,3$ при $\kappa=5$ и $t_\infty / t_4 > 4$ при $\kappa=0,2$;

4) для затухания тока i_o до уровня $i_o > 0,25$ шунтирующий размер среды n_w увеличивается с ростом κ ; если $i_o = 0,50$, то $n_w = 36$ при $\kappa=0,2$ и $n_w = 64$ при $\kappa=5$;

5) для затухания тока i_o до уровня $i_o < 0,25$ шунтирующий размер среды уменьшается с ростом κ ; если $i_o = 0,10$, то $n_w > 100$ при $\kappa=0,2$ и $n_w = 100$ при $\kappa=5$.

На рис.3 показаны графики затухания тока i_o при $\kappa=1$ для пяти значений n . По горизонтальной оси отложено относительное время t/τ , где $\tau = \frac{L}{R}$, по вертикальной - отрицательный логарифм величины тока i_o ; в таких координатах экспонента изображается прямой линией, наклон которой определяется постоянной времени. Кроме некоторых из отмеченных ранее особенностей, можно указать следующие:

1) если среда ограничена, то через некоторое время после начала переходного процесса график затухания тока становится близким к экспоненциальному; чем больше n , тем позже кривые переходят в экспоненты и тем большим постоянным времени эти экспоненты соответствуют;

2) кривые затухания тока при разных n имеют огибающую, которая на рис.3 прослеживается для $0 < t/\tau < 10$; эта огибающая соответствует затуханию тока при $n \rightarrow \infty$ и представляет собой кривую, наклон которой стремится к нулю при $t/\tau \rightarrow \infty$; следовательно, величина $t_n(i_o \rightarrow 0) / t_4(i_o)$ неограниченно возрастает. Это не представляет особых неудобств, так как значительное возрастание времени затухания происходит только при очень малых токах i_o , в конечной стадии переходного процесса.

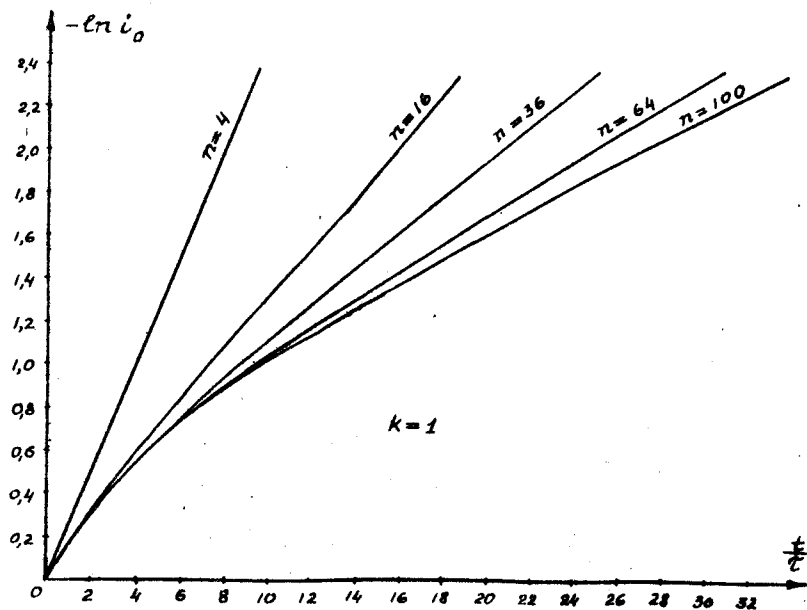


Рис. 3.

Полученные результаты показывают, что время переключения тока в небольших контурах вследствие шунтирования их средой увеличивается незначительно и что может быть выбран режим работы среды, при котором шунтирование контуров средой не будет нарушать её работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. О.Л. БАНДМАН, и др. Криотронные элементы вычислительной среды. - Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам, вып.2, Вычислительные среды, Новосибирск, 1968 г.
2. О.Л. БАНДМАН. Реализация автоматов в криотронной вычислительной среде. - Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам, вып.3. Программирование в вычислительных средах, Новосибирск, 1968 г.

Поступила в редакцию
20.IX.1968 г.