6. А. Е. Зверев, В. П. Максимов, В. А. Мясников. Исследование точного емкостного многополюсного фазовращателя. В сб. «Цифровое управление в системах автоматики», «Наука», Л., 1968.
7. М. Я. Кругер и другие. Справочник конструктора оптико-механических приборов, «Машиностроение», Л., 1968.

К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССОВ В СХЕМЕ ХРОНОТРОНА

Н. Я. Какурин, А. К. Баринов
Харьков

В последние годы сфера применения электронных цифровых вычислительных машин значительно расширилась. На ЭЦВМ возложены решения задач по учету, статистике, решению различного рода эконо-

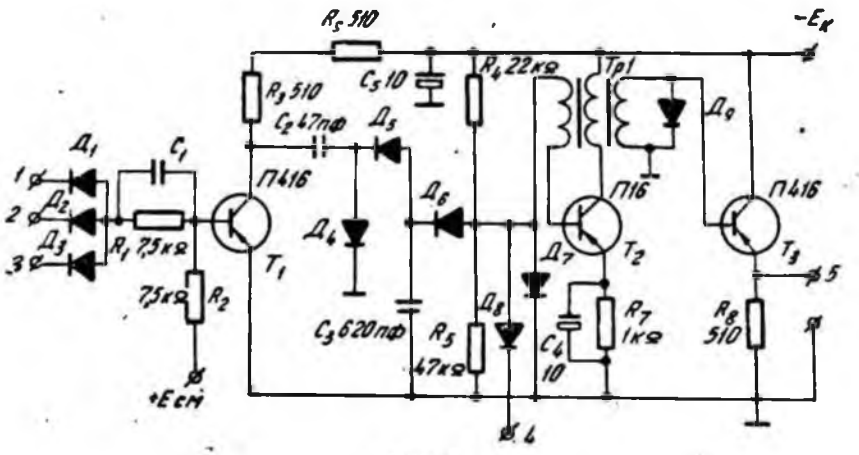


Рис. 1.

мических задач. Для этой области применения ЦВМ характерным является то, что входная и выходная информация должна быть (для удобства использования ее человеком) представлена в десятичной системе числения. Для конструирования цифровых машин, работающих в десятичной системе, можно использовать как двоичные элементы, так и элементы с десятью устойчивыми состояниями. Использование чисто десятичной системы числения и элементов с десятью устойчивыми состояниями позволяет резко уменьшить аппаратурные затраты по сравнению с десятичными машинами, построенными на двоичных элементах [1]. Известны различные типы элементов с десятью устойчивыми состояниями. Наиболее перспективными из них являются спектротрон и хронотрон. Одной из задач в направлении развития многоустойчивых элементов является создание инженерных методов электрического расчета элементов этого типа. Анализ процессов в схеме спектротрона приведен в ряде работ [2, 3], в то время как процессы в схеме хронотрона в литературе освещены мало. Цель настоящей работы состоит в выборе оптимального режима работы хронотрона, принципиальная электрическая схема которого приведена на рис. 1.

Рассмотрим работу хронотрона. Это многоустойчивый элемент, состояние которого характеризуется фазой выходного импульса по отношению к фазе импульсов опорной последовательности. По существу, хронотрон представляет собой регенеративный делитель частоты тактовых импульсов, который состоит из усилителя-ограничителя на транзисторе T_1, емкостного накопителя (C_2, $C_э$, диоды $Д_4$, $Д_5$), схемы сбро-

са типа блокинг-генератора на транзисторе T_2 и эмиттерного повторителя на T_3. Входные тактовые импульсы отрицательной полярности подаются на любой из входов 1, 2, 3 и отпирают транзистор T_1. С коллектора T_1 инвертированные импульсы положительной полярности поступают на емкостный накопитель C_2, C_3. Заряд емкости C_2 должен произойти за время длительности входного импульса. С этой целью постоянную времени заряда C_2 выбирают малой

$$\tau_3 = R_2C_2 \approx 0{,}1 \div 0{,}2\ \tau_u.$$

После окончания тактового импульса происходит разряд емкости C_2 на емкость C_3, вследствие чего напряжение на C_3 скачком увеличивается на некоторую величину. При приходе второго импульса происходит повторное приращение напряжения на емкости C_3, но величина этого приращения будет меньше, чем в случае первого тактового импульса, так как имеющееся на C_3 напряжение препятствует повторному заряду емкости. Амплитуду скачка можно вычислить по формуле

$$\delta U_i = (U_r - U_{i-1})\frac{C_2}{C_2 + C_3} = (U_r - U_{i-1})\cdot\Delta, \qquad (1)$$

где δU_i — амплитуда скачка на C_3 при приходе i-го тактового импульса;

U_r — амплитуда положительного импульса, поступающего с коллектора T_1 на вход накопителя;

U_{i-1} — напряжение на емкости C_3 (противодействующая ЭДС) до прихода i-го тактового импульса;

$\Delta = \dfrac{C_2}{C_2 + C_3}$ — отношение емкостей.

Рекуррентная формула (1) позволяет определить амплитуду любого скачка. Приход 1-го тактового импульса (при $U_{c_3} = 0$) вызывает приращение напряжения на C_3 на величину

$$\delta U_1 = U_r\Delta = U_1. \qquad (2)$$

Приход 2-го тактового импульса — на величину

$$\delta U_2 = (U_r - U_1)\Delta = (U_r - U_r\cdot\Delta)\cdot\Delta = U_r(\Delta - \Delta^2). \qquad (3)$$

Суммарное напряжение на емкости C_3 после прихода двух тактовых импульсов:

$$U_2 = \delta U_1 + \delta U_2 = U_r\Delta + U_r(\Delta - \Delta^2) = U_r(2\Delta - \Delta^2). \qquad (4)$$

Аналогично находятся величина суммарного напряжения и амплитуда скачка на емкости C_3 после прихода n-входных импульсов. Например, для n, равного трем,

$$\delta U_3 = (U_r - U_2)\Delta = [U_r - U_r(2\Delta - \Delta^2)]\Delta = U_r(\Delta - 2\Delta^2 + \Delta^3); \qquad (5)$$

$$U_3 = U_2 + \delta U_3 = U_r(3\Delta - 3\Delta^2 + \Delta^3); \qquad (6)$$

для n, равного десяти, имеем:

$$\delta U_{10} = U_r(\Delta - 9\Delta^2 + 36\Delta^3 - 84\Delta^4 + 126\Delta^5 - 126\Delta^6 + 84\Delta^7 - 36\Delta^8 + 9\Delta^9 - \Delta^{10})$$

и (7)

$$U_{10} = U_r(10\Delta - 45\Delta^2 + 120\Delta^3 - 210\Delta^4 + 252\Delta^5 - 210\Delta^6 + 120\Delta^7 - 45\Delta^8 + 10\Delta^9 - \Delta^{10}). \qquad (8)$$

Когда напряжение на емкости C_3 достигнет напряжения на аноде диода $Д_6$ (напряжение порога), который задается с помощью делителя R_4, R_5, диод $Д_6$ отпирается и происходит срабатывание блокинг-генера-

тора на транзисторе T_2, ранее заторможенного за счет разрыва цепи положительной обратной связи. В результате базовый ток T_2 разряжает емкость C_3 и процесс заряда C_3 в момент прихода тактовых импульсов начинается с нулевого напряжения и происходит до тех пор, пока снова не будет достигнуто напряжение порога. Количество тактовых импульсов, требующихся для заряда емкости C_3 от нулевого напряжения до напряжения порога, определяет коэффициент деления схемы, т. е. ко-

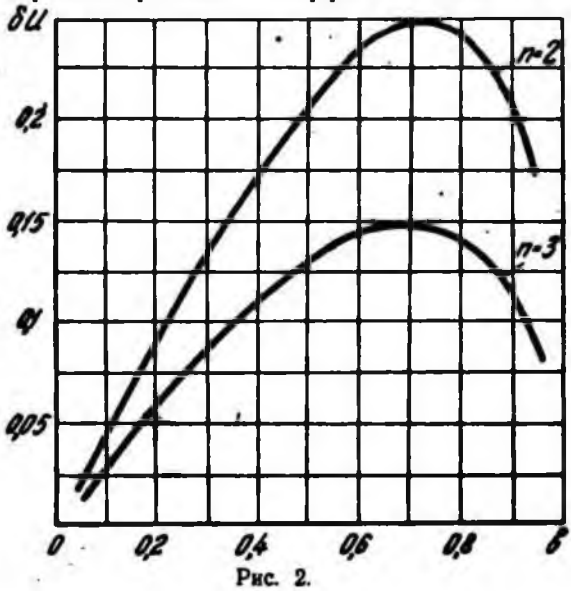


Рис. 2.

личество устойчивых состояний. Число устойчивых состояний зависит от величины напряжения порога и от отношения емкостей $\Delta = \frac{C_2}{C_2+C_3}$. Если выбрать напряжение порога малым, амплитуды всех скачков, и в частности последнего, будут малы. По мере увеличения $U_{пор}$ амплитуда последнего n-го скачка будет возрастать, но в дальнейшем, когда напряжение на C_3 станет более значительным и будет препятствовать заряду этой емкости, начнет уменьшаться.

Ясно, что существует оптимальное значение порогового напряжения, при котором амплитуда n-го скачка будет максимальна. Найти это оптимальное значение можно, задаваясь различными отношениями $U_{пор}/U_г$ и решая уравнения (4), (6), (8). Значение $b = \frac{U_{пор}}{U_г}$ будем изменять от 0,1 до 0,9 через 0,1 и для каждого значения b решим уравнение (4), т. е. определим Δ — корни этих уравнений.

Уравнение (4) имеет два положительных действительных корня. Так как физический смысл имеют только положительные действительные корни, меньшие единицы, то при анализе схемы хронотрона мы их учитываем без остальных корней. Найденные значения указанных корней для уравнения (4) для разных значений b подставляем в уравнение (3) и определяем скачки δU_2. Затем строим кривую, показывающую зависимость скачков δU_2 от различных значений b. На рис. 2 приведены кривые, показывающие зависимость скачков δU от b для $n=2$ и для $n=3$. Из рис. 2 видно, что при $b=0{,}7$ амплитуда скачков δU будет максимальной для обоих случаев. Это значение Δ при $b=0{,}7$ подставляем в формулу $\Delta = \frac{C_2}{C_2+C_3}$ и определяем значения емкостей C_2 и C_3.

Аналогичным способом рассчитываются значения емкостей C_2 и C_3 для различных n, в том числе и для $n = 10$.

Выбор оптимального режима работы схемы, при котором амплитуда последнего n-го скачка будет наибольшей, способствует расширению областей устойчивой работы хронотрона при воздействии различного рода дестабилизирующих факторов (изменения напряжения питания, частоты тактовых импульсов и т. д.). Экспериментальное исследование приведенной на рис. 1 схемы хронотрона показало, что при $b=0{,}65$, $n=3$ работоспособность элемента не нарушается в пределах изменения частоты тактовых импульсов $f_{\text{ти}} = 1{,}1 \div 380$ *кгц*, в то время как при $b=0{,}2$, $f_{\text{ти}} = 13 \div 280$ *кгц*.

ВЫВОДЫ

1. Уравнения (1)—(8), описывающие процессы заряда и разряда емкостей C_2 и C_3 в схеме хронотрона. Решение этих уравнений позволяет выбрать оптимальный режим работы схемы.

2. Экспериментальные данные достаточно точно подтвердили теоретические расчеты по выбору оптимального режима для хронотронов с двумя ($n = 2$) и тремя устойчивыми состояниями ($n = 3$).

3. Решение уравнений, описывающих процессы в схеме хронотрона, для большого числа устойчивых состояний $n \geqslant 10$ требует проведения большого числа вычислений. Поэтому целесообразно это решение получить на цифровой вычислительной машине.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Сигорский, Л. С. Ситников, Утяков. Многоустойчивые элементы дискретной техники. Изд-во «Советское радио», 1966.

2. А. А. Молчанов, М. П. Корицкий. Исследование динамической устойчивости спектротрона с управляемой емкостью р-п перехода. Сб. «Многозначные элементы и структуры», Изд-во «Советское радио», М., 1967.

3. А. А. Молчанов, И. Н. Таничев. О режиме вынужденных колебаний в нелинейных контурах с управляемой емкостью р-п перехода. «Радиотехника и электроника», т. II, № 3, 1966.

ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ МЕМБРАННЫХ ПРИБОРОВ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ИХ ГАБАРИТОВ

В. А. Михайлов, В. Ф. Прошкин

Харьков

Одним из способов уменьшения габаритов и веса мембранных приборов может служить метод изменения размеров каждой из составляющих его деталей.

В этом случае исходный прибор-оригинал является прототипом прибора-модели, который отличается от оригинала только размерами и весом при сохранении той же структурной, кинематической и электрической (в случае применения преобразователя перемещения мембраны в электрический сигнал) схем.

Очевидно, модель должна эксплуатироваться в тех же условиях, что и оригинал, и выполнять те же функции. При этом желательно, чтобы инструментальные погрешности модели (как основная, так и дополнительные) не превышали соответствующих инструментальных погрешностей оригинала.