

ющий элемент обеспечивает только отрицательную обратную связь и выполнен в виде интегрирующей RCR-цепи, конденсатор которой защищён резистором R_3 от быстрого разряда при перерывах питания через диоды входных защитных цепей логических элементов. Собственная частота коммутатора состояний устанавливается сопротивлением R_p . В общем случае

$$R_p = \frac{R_0}{I+k}, \text{ а } R_3 = \frac{kR_0}{I+k}.$$

С увеличением k уменьшается допустимая длительность помехи по входу коммутатора состояний, но увеличивается допустимая длительность помехи по цепям питания. Максимальная допустимая длительность помехи по питанию обеспечивается при $k = 1$. Задержка переключения триггера Шмитта в состояние лог. 0 в составе коммутатора состояний

$$t_{30} = \frac{CR_0}{I+k} \ln \frac{E}{E-U_{cp}},$$

где U_{cp} – порог срабатывания триггера Шмитта, а задержка переключения в состояние лог. 1

$$t_{31} = \frac{CR_0}{I+k} \ln \frac{E}{U_{отп}},$$

где $U_{отп}$ – порог отпускания триггера Шмитта. В режиме хранения информации на входе данной схемы должен удерживаться сигнал лог. 1.

Примеры схемной реализации устройства задержки переключения с использованием времязадающих элементов на основе конденсаторов показаны на рисунке 9а – 9в. На рисунке 9а использован простой времязадающий элемент интегрирующего типа, обеспечивающий задержку как сигналов лог. 0, так и сигналов лог. 1, аналогично рисунку 8. Период повторения импульсов генератора при использовании данного устройства задержки переключения

$$T = \frac{CR_0}{I+k} \ln \frac{U_{cp}(E-U_{отп})}{U_{отп}(E-U_{cp})}.$$

Для КМОП-триггера Шмитта при напряжении питания $E = 10$ В, $U_{cp} = 6$ В, $U_{отп} = 3,6$ В [7]. При этом период повторения импульсов генератора составляет $T = 0,98CR_0$.

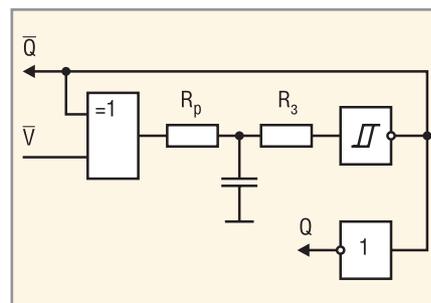


Рис. 8. Управляемый коммутатор состояний

В схеме, приведённой на рисунке 9б [11, 12], применён простой времязадающий элемент интегрирующего типа, также обеспечивающий задержку сигналов лог. 0 и лог. 1. В данной схеме достигается увеличение времени задержки сигналов по сравнению со схемой рис. 9а за счёт перезаряда конденсатора. Время задержки определяется обоими резисторами R_{p1} и R_{p2} . При этом

$$R_{p1} = \frac{R_0}{I+k}, \text{ } R_{p2} = \frac{kR_0}{I+k}.$$

Период повторения импульсов генератора в данном случае описывается выражением:

$$T = \frac{CR_0}{1+k} \left[\frac{k}{1+k} \ln \left[\frac{k - (1+k)U'_n(1+2k) - (1+k)U'_n}{k^2} \right] + \ln \frac{1}{U'_n(1-U'_n)} \right],$$

где

$$U'_n = \frac{U_{II}}{E}$$

– относительное значение порога переключения элемента «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ».

В приведённой выше формуле отсутствует значение напряжения питания, что свидетельствует о его слабом влиянии на период повторения импульсов. При среднем значении порога переключения логических элементов $U_{II} = 0,5E$ максимальное значение периода повторения $T_{max} = 1,57R_0$ достигается при оптимальном значении $k_{opt} = 0,11$. При отклонении порога переключения от среднего значения в диапазоне $(0,3...0,7)E$ период повторения увеличивается не более чем на 6%. В качестве недостатка схемы, приведённой на рисунке 9б, можно отметить импульсную «переполусовку» по входу элемента «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» выходным сигналом времязадающего элемента.

Особенностью логических элементов КМОП является большой технологический разброс порогов переключения. В представленном на рисунке 9б времязадающем элементе в течение одного полупериода генератора напряжение на выходе приближается к порогу переключения

от уровня лог. 0, а в течение второго полупериода – от уровня лог. 1. В этом случае изменение одного из полупериодов за счёт смещения порога переключения компенсируется изменением другого полупериода, что существенно снижает зависимость периода повторения от порога переключения.

При использовании в составе устройства задержки переключения двух времязадающих элементов дифференцирующего, интегрирующего или интегродифференцирующего типа, обеспечивающих задержку сигналов лог. 1 и быстрое восстановление состояния лог. 0, указанная компенсация отсутствует. Это определяет существенную зависимость периода повторения импульсов генератора от порогов переключения логических элементов и ограничивает применение указанных времязадающих элементов.

Устранение указанного недостатка достигается использованием двух несимметричных времязадающих элементов [13, 14], один из которых обеспечивает задержку сигнала лог. 1 и быстрое восстановление состояния лог. 0, а второй – задержку сигнала лог. 0 и быстрое восстановление состояния лог. 1. При этом существует возможность совмещения времязадающих элементов интегрирующего и интегродифференцирующего типа.

Пример схемной реализации устройства задержки переключения с использованием соответствующего

времязадающего элемента интегрирующего типа показан на рисунке 9в. Время задержки сигналов определяется сопротивлением $R_p = R_0$. Сопротивления R_{B1} и R_{B2} обеспечивают быстрое восстановление состояния конденсаторов, а их номиналы ограничены снизу допустимым выходным током логических элементов. При использовании КМОП логических элементов выполняется условие $R_B \ll R_0$, а пороги переключения по входам одного логического элемента практически равны. При этом период повторения импульсов генератора описывается выражением

$$T = CR_0 \ln \frac{1}{U'_n(1-U'_n)}.$$

При пороговом напряжении $U_{II} = 0,5E$ период повторения импульсов составляет $T = 1,39CR_0$. При отклонении порога переключения период повторения может увеличиваться примерно на 12%.

Необходимо отметить, что при совмещении коммутатора состояний (см. рис. 8) с устройством задержки переключения (см. рис. 9а или 9б) элементы «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» не требуются.

В составе генераторов на основе управляемого коммутатора состояний могут использоваться также времязадающие элементы магнитного типа, в частности, на основе сердечников с прямоугольной петлёй гистерезиса. При этом обеспечивается надёжный запуск генераторов независимо от начального состояния сердечника.

Задержка входного сигнала в данных времязадающих элементах определяется временем перемагничивания сердечника. Для увеличения времени перемагничивания и уменьшения потребляемой мощности целесообразно применять времязадающие элементы в виде дросселя [15] при амплитуде формируемого импульса $U_m \leq 0,5E$ и в виде повышающего автотрансформатора [16, 17] при амплитуде импульса $U_m \geq 0,5E$. Оптимальный коэффициент трансформации

$$n_{opt} = \frac{2U_m}{E} \quad [18].$$

Длительность импульса на уровне порога переключения U_{II} достигает максимального значения при $U_m = 1,5U_{II}$.

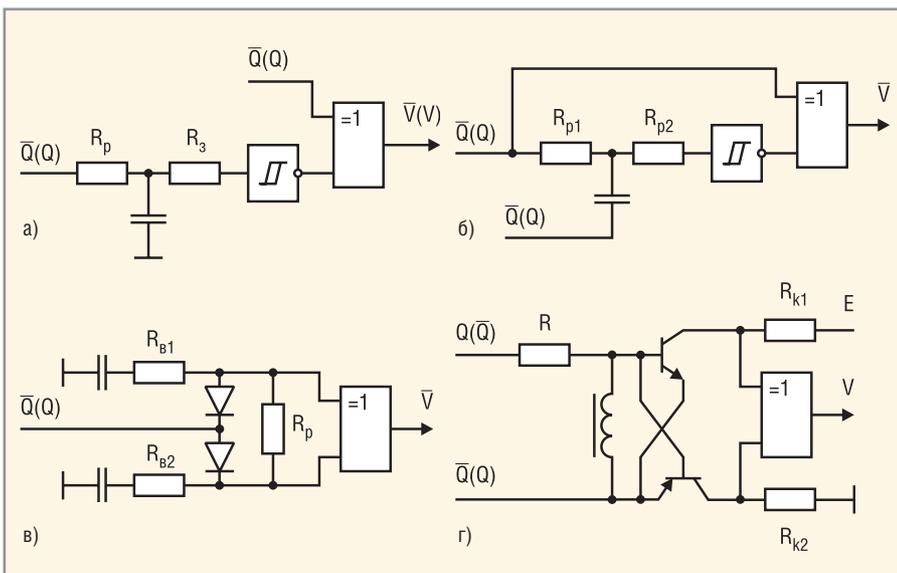


Рис. 9. Устройства задержки переключения с времязадающими элементами (а, б, в) электрического и (г, д) магнитного типа

Примеры схемной реализации соответствующего устройства задержки переключения показаны на рисунках 9г и 9д. На рисунке 9г использован времязадающий элемент в виде повышающего автотрансформатора, а на рисунке 9д – в виде дросселя [15].

Время перемагничивания сердечника повышающего автотрансформатора

$$t_{ав} = \frac{S_{w1} l R n^2 + 2 B_r S W_0^2}{n (I W_0 - I_{01} l R n)},$$

где

$$R = \frac{r_{m1} S W_0^2 (n l - U_m)}{n^2 l (U_m + r_{m1} S H_{01} W_0)};$$

S_{w1} – постоянная перемагничивания (коэффициент переключения); B_r – остаточная магнитная индукция; H_{01} – пороговая напряжённость магнитного поля; r_{m1} – максимум приведённого динамического сопротивления; l – средняя длина магнитного пути в кольцевом сердечнике; S – площадь прямоугольного поперечного сечения кольцевого сердечника; W_0 – суммарное количество витков обмоток. Приведённые формулы соответствуют перемагничиванию в слабых полях.

Время перемагничивания сердечника дросселя

$$t_{др} = \frac{2 B_r S W_0}{U_б},$$

где $U_б$ – падение напряжения на переходе база-эмиттер соответствующего транзистора. В данной схеме

$$R = \frac{r_{m1} S W_0^2 (E - U_m)}{l (U_m + r_{m1} S H_{01} W_0)},$$

а $U_m = 1,5 U_{бmax}$.

Таким образом, генераторы с разделением функций задержки и переключения допускают использование любых времязадающих элементов и обладают повышенной надёжностью функционирования, стабильностью частоты и устойчивостью к воздействию внешних помех.

ЛИТЕРАТУРА

9. Пат. 2237352 РФ, МКИ Н03К3/28. Мультивибратор. *Е.И. Рыжаков, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 27.

10. *Шишкин Г.И.* Обеспечение помехоустойчивости цифровых систем. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2004.

11. Пат. 2224355 РФ, МКИ Н03К3/023. Генератор импульсов. *Г.И. Крамков, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 5.

12. Пат. 2234799 РФ, МКИ Н03К3/28. Генератор импульсов. *И.И. Дикарев, Е.И. Рыжаков, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 23.

13. Пат. 2234800 РФ, МКИ Н03К3/28. Генератор импульсов. *И.И. Дикарев, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 23.

14. Пат. 2236747 РФ, МКИ Н03К3/28. Генератор импульсов. *И.И. Дикарев, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 26.

15. Пат. 2129331 РФ, МКИ Н03К3/30. Генератор импульсов. *Е.И. Рыжаков, Г.И. Шишкин*. Изобретения. 1999. № 11.

16. Пат. 2234801 РФ, МКИ Н03К3/30. Генератор импульсов. *Г.И. Крамков, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 23.

17. Пат. 2237355 РФ, МКИ Н03К3/30. Генератор импульсов. *Г.И. Крамков, Г.И. Шишкин*. Изобретения. Полезные модели. 2004. № 27.

18. *Николаев Д.Б., Шишкин Г.И.* Анализ запоминающих элементов магнитного типа. Прикладная физика. 2001. № 2. С. 46–50. ©