

УДК 681.142.65

Анализ запоминающих элементов магнитного типа

Д. Б. Николаев, Г. И. Шишкин

Саровский физико-технический институт, г. Саров, Россия

Проведен анализ возможности уменьшения тока потребления запоминающих элементов (ЗЭ) на основе магнитных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) в составе помехоустойчивых триггерных устройств (ТУ); получены условия ее реализации.

Рассматриваемые ЗЭ магнитного типа используются в составе ТУ для обеспечения устойчивости к воздействию перерывов питания и мощных импульсных электромагнитных помех [1], источниками которых являются, в частности, физические моделирующие установки. Указанные воздействия вызывают изменение состояния ячейки памяти (ЯП). ЗЭ сохраняет информацию во время воздействия помехи и обеспечивает восстановление состояния ЯП после окончания воздействия. При этом состояние ТУ в режиме хранения информации должно однозначно определяться состоянием ЗЭ.

Пример схемной реализации помехоустойчивого ТУ [2] на основе КМОП логических элементов показан на рис. 1.

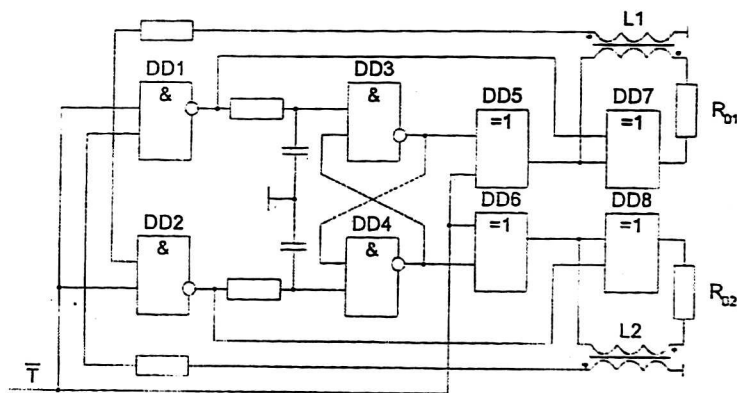


Рис. 1. Схема триггерного устройства

В режиме хранения информации на выходах ЗЭ $L1$ и $L2$ присутствует уровень лог. "0", удерживающий элементы $DD1$ и $DD2$ в состоянии лог. "1". При этом элементы $DD7$, $DD8$ осуществляют инвертирование входных сигналов, а через ограничительные резисторы R_{01} и R_{02} при использовании КМОП логических элементов, отличающихся малым выходным сопротивлением, протекает ток $I = E/R_0$, где E — напряжение питания; R_0 — сопротивление ограничительного резистора.

Указанный ток определяет потребление ТУ. Для уменьшения потребления необходимо, по возможности, увеличивать R_0 .

На рис. 1 ЗЭ выполнен на основе трансформатора Т, однако в составе помехоустойчивых ТУ он может быть выполнен также на основе дросселя Д, повышающего автотрансформатора АВ или понижающего АН.

Известно [3], что при перемагничивании сердечника от источника импульсов напряжения максимальное значение напряжения на выходе ЗЭ будет

$$U_m = \frac{r_m S W_2 \left(\frac{E W_1}{R_0 l} - H_0 \right)}{1 + \frac{r_m S}{l} \left(\frac{W_2^2}{R_H} + \frac{W_1^2}{R_0} \right)}, \quad (1)$$

где r_m , S , l , H_0 — параметры сердечника;

W_1 , W_2 — число витков входной и выходной обмоток, соответственно;

R_H — сопротивление нагрузки.

При построении ТУ на основе КМОП интегральных микросхем $R_H \gg R_0$.

С учетом этого выражение (1) принимает следующий вид:

$$U_m = \frac{r_m S W_2 (E W_1 - H_0 l R_0)}{l R_0 + r_m S W_1^2}. \quad (2)$$

Из выражения (2) можно получить

$$R_0 = \frac{r_m S W_1 (W_2 E - W_1 U_m)}{l (U_m + r_m S H_0 W_2)}. \quad (3)$$

Суммарное число витков $W_0 = W_1 + W_2$ распределяется между обмотками ЗЭ следующим образом:

в дросселе

$$W_{1Д} = W_{2Д} = W_0;$$

в понижающем автотрансформаторе:

$$W_{1АН} = W_0; \quad W_{2АН} = n_{АН} W_0 \quad (0 < n_{АН} < 1);$$

в повышающем автотрансформаторе:

$$W_{1АВ} = W_0 / n_{АВ}; \quad W_{2АВ} = W_0 \quad (n_{АВ} > 1);$$

в трансформаторе:

$$W_{1Т} = W_0 / (1 + n_T); \quad W_{2Т} = W_0 n_T / (1 + n_T) \quad (n_T > 0),$$

где $n_{АН}$, $n_{АВ}$, n_T — соответствующие коэффициенты трансформации.

С учетом этого имеем:

$$R_{0Д} = \frac{r_m S W_0^2 (E - U_m)}{l (U_m + r_m S H_0 W_0)};$$

$$R_{0АН} = \frac{r_m S W_0^2 (n_{АН} E - U_m)}{l (U_m + r_m S H_0 n_{АН} W_0)}; \quad (4)$$

$$R_{0AB} = \frac{r_m S W_0^2 (n_{AB} E - U_m)}{n_{AB}^2 l (U_m + r_m S H_0 W_0)}; \quad (5)$$

$$R_{0T} = \frac{r_m S W_0^2 (n_T E - U_m)}{(1 + n_T) l (U_m + n_T U_m + n_T r_m S H_0 W_0)}. \quad (6)$$

Из выражения (3) видно, что для уменьшения потребления сопротивления необходимо выбирать сердечники с минимальным H_0 и максимальным r_m . В наибольшей степени указанным требованиям удовлетворяют железоникелевые сплавы и, в частности, сплав 77НМД [4].

Последующий анализ проведен при $E = 10$ В, $W_0 = 200$ для сердечника с внутренним диаметром 2,5 мм, высотой 2,5 мм, толщиной ленты 3 мкм, числом витков ленты 45 в предположении, что в сердечнике реализуется перемагничивание в слабых полях [3], характерное для рассматриваемых ТУ. При этом $l = 0,807$ см; $S = 3,375 \cdot 10^{-3}$ см²; $r_m = 750$ Ом/см; $H_0 = 0,19$ А/см.

График зависимости сопротивления ограничительного резистора понижающего автотрансформатора от коэффициента трансформации и амплитуды формируемого импульса в диапазоне (0—10) В приведен на рис. 2, а. Приведенный график построен для $U_m < n_{АН} E$ или $n_{АН} > \frac{U_m}{E}$, когда сопротивление $R_{0АН}$, полученное из выражения (4), положительно. Из рис. 2, а видно, что сопротивление ограничительного резистора в понижающем автотрансформаторе возрастает с уменьшением амплитуды формируемого импульса и с увеличением коэффициента трансформации. Следовательно, минимальное потребление обеспечивается при $n_{АН} = 1$, когда понижающий автотрансформатор вырождается в дроссель.

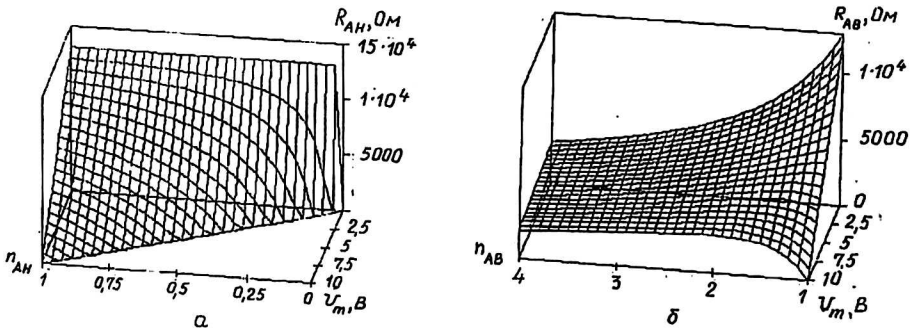


Рис. 2. График зависимости сопротивления ограничительного резистора понижающего автотрансформатора от коэффициента трансформации и амплитуды формируемого импульса:

а — понижающий автотрансформатор; б — повышающий

График зависимости сопротивления ограничительного резистора повышающего автотрансформатора от коэффициента трансформации $n_{AB} \leq 6$ и амплитуды формируемого импульса в диапазоне (0—10) В приведен на рис. 2, б. Из приведенного графика видно, что при малой амплитуде формируемого импульса ограничительное сопротивление максимально при $n_{AB} = 1$, когда повышающий автотрансформатор вырождается в дроссель. При большой амплитуде формируемого импульса ограничительное сопротивление макси-

мально при $n_{AB} > 1$. Анализ выражения (5) показывает, что в этом случае максимум сопротивления достигается при $n_{AB} = 2U_m/E$, а повышающий авто-трансформатор обеспечивает повышение сопротивления ограничительного резистора по сравнению с дросселем при $U_m > 0,5E$.

График зависимости сопротивления ограничительного резистора трансформатора R_T от коэффициента трансформации $n_T \leq 4$ и амплитуды формируемого импульса в диапазоне (0—10) В приведен на рис. 3. Приведенный график соответствует исходной формуле при $n_T E > U_m$ или при $n_T > \frac{U_m}{E}$, когда сопротивление положительно. Из рис. 3 видно, что при любой амплитуде формируемого импульса сопротивление имеет максимальное значение при определенном оптимальном коэффициенте трансформации n_{T0} . Анализ выражения (6) показывает, что

$$n_{T0} = \frac{U_m + \sqrt{U_m(E + U_m)[1 + E/(U_m + r_m s H_0 W_0)]}}{E}$$

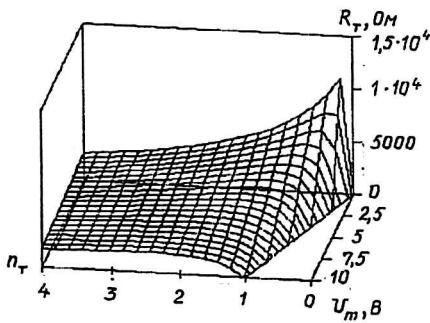
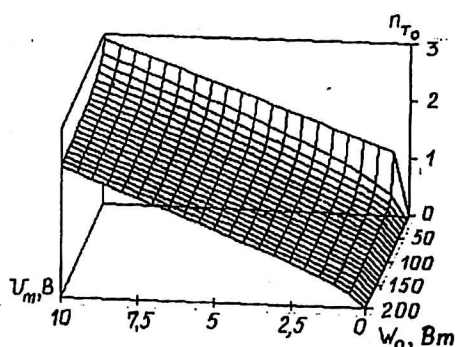


Рис. 3. График зависимости сопротивления ограничительного резистора трансформатора от коэффициента трансформации и амплитуды формируемого импульса

Следовательно, оптимальный коэффициент трансформации трансформатора зависит не только от напряжения питания и амплитуды формируемого импульса, но и от параметров ЗЭ. Влияние параметров ЗЭ можно не учитывать при $E \ll U_m + r_m s H_0 W_0$. При выбранных параметрах запоминающих элементов $r_m s H_0 W_0 = 96$, где $W_0 = 200$.

Зависимость оптимального коэффициента трансформации трансформатора от амплитуды формируемого импульса и суммарного числа витков приведена на рис. 4. Из данного рисунка видно, что минимизация потребления трансформатора выбором оптимальной величины коэффициента трансформации обеспечивается во всем диапазоне амплитуды формируемого импульса. При этом оптимальный коэффициент трансформации практически линейно увеличивается с увеличением амплитуды формируемого импульса. Отклонение от линейности заметно лишь в области малых амплитуд и оно несколько возрастает при уменьшении суммарного числа витков. По мере уменьшения суммарного числа витков, оптимальный коэффициент трансформации возрастает с нарастающей скоростью.

Рис. 4. График зависимости оптимального коэффициента трансформации трансформатора от амплитуды формируемого импульса и суммарного числа витков



Таким образом, для уменьшения потребления ЗЭ при малых амплитудах ($\leq 0,5E$) формируемого импульса необходимо применять ЗЭ на основе дросселя, а при больших амплитудах ($\geq 0,5E$) — на основе повышающего автотрансформатора. Применение трансформатора целесообразно при необходимости разделения входных и выходных цепей ЗЭ по постоянной составляющей. Достоинство трансформатора — возможность формирования выходного сигнала любой полярности, что в некоторых случаях позволяет упростить схемную реализацию ТУ.

Л и т е р а т у р а

1. Антипин В. В., Годовицин В. А., Громов Д. В. и др. Влияние мощных импульсных микроволновых помех на полупроводниковые элементы и интегральные микросхемы// Зарубежная радиоэлектроника. 1995. № 1. С. 37—53.
2. Пат. 2106742РФ, МКИ Н 03 К 3/286. Триггерное устройство. Е. И. Рыжаков, Г. И. Шишкин//Изобретения. 1998. № 7.
3. Ионов И. П. Магнитные элементы дискретного действия. Основы расчета и проектирования/Под ред. П. А. Ионкина. — М.: Высш. шк., 1975.
4. Колосов В. Г., Леонтьев А. Г., Мелехин В. Ф. Импульсные магнитные элементы и устройства. — Л.: Энергия, 1976.

The analysis of magnetic-type storage elements

D. B. Nikolaev, G. I. Shishkin
Sarov physical technical institute, Sarov, Russia

Done is the analysis of an opportunity of the current consumption diminution for storage elements on the basis of magnetic cores with a rectangular hysteresis curve in a composition of unjammable trigger devices; the requirements of its embodying are obtained.