

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.9.048.06

ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА IGBT

Н.М. Сапрунова, Е.В. Корниенкова
г. Челябинск, ЮУрГУ

TRANSITIVE CHARACTERISTICS OF AN IGBT TRANSISTOR CONTROL CIRCUIT

N.M. Saprunova, E.V. Kornienkova
Chelyabinsk, SUSU

Рассматриваются переходные процессы в цепи управления при неидеальном сигнале управления. Построены номограммы относительных значений напряжений и тока для различного соотношения параметров.

Ключевые слова: транзисторы IGBT, цепи управления, переходные характеристики.

The transitive processes in the control circuit by non-ideal signal of control are considered. The nomograms of relative figures of voltage and direct currents for different correlation of parameters were plotted.

Keywords: IGBT transistor, control circuit, transitional processes.

При использовании транзисторов типа IGBT (БТИЗ) представляют интерес переходные характеристики в области малых и больших времен. В данной работе рассматриваются переходные процессы цепи управления в области малых времен. Пусть источник входного сигнала представлен импульсом с амплитудой U_m , который действует в цепи, показанной на рис. 1, где R_r – сопротивление источника сигнала.

Форма входного импульса приведена на рис. 2, где t_n – время нарастания сигнала. Изме-

ние входного сигнала на участке t_n принимается

линейным: $u(t) = \frac{U_m}{t_n} \cdot t$.

Эквивалентная схема входной цепи для первого интервала работы приведена на рис. 3. Первый интервал времени t_1 определяется пороговым напряжением U_n , при котором начинается включение транзистора.

Эквивалентная емкость входной цепи транзистора – $C_3 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3$, эквивалентное сопро-

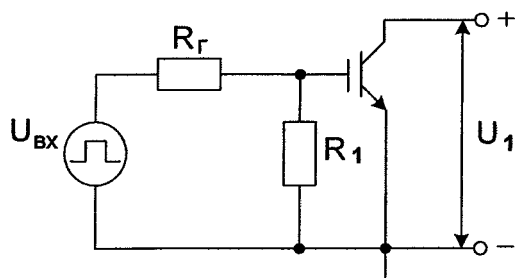


Рис. 1. Схема цепи управления транзистора

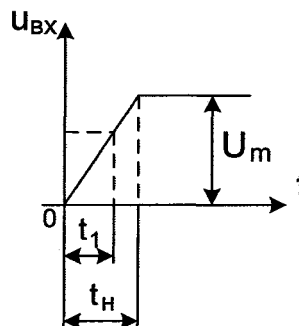


Рис. 2. Форма входного сигнала

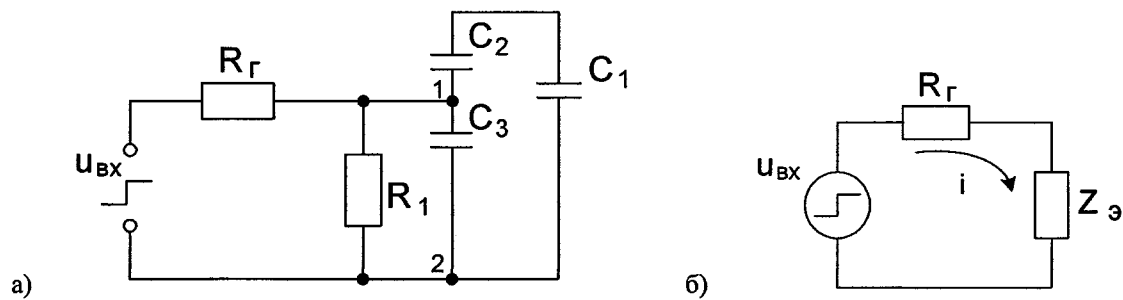


Рис. 3. Расчетная схема для первого интервала:
 C_1 – емкость коллектор-эмиттер, C_2 – емкость затвор-коллектор, C_3 – емкость затвор-эмиттер

тивление в схеме замещения рис. 3б –

$$Z_3(p) = \frac{R_1}{1 + pR_1C_3}.$$

Переходные характеристики для напряжения в точках 1–2 и тока емкости C_3 представлены выражениями (1) и (2):

$$u_{вх}(t) = \frac{U_m t}{t_n} \cdot \frac{R_1}{R_g + R_1} - \frac{U_m}{t_n} \cdot \frac{R_1^2}{(R_g + R_1)^2} \cdot R_g C_3 \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t(R_g + R_1)}{R_g R_1 C_3}\right) \right], \quad (1)$$

$$i_c(t) = \frac{U_m}{t_n} \cdot \frac{R_1 C_3}{R_g + R_1} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t(R_g + R_1)}{R_g R_1 C_3}\right) \right]. \quad (2)$$

В некоторый момент времени напряжение на участке затвор-эмиттер нарастает до порогового значения:

$$U_n = \frac{U_m t_1}{t_n} \cdot \frac{R_1}{R_g + R_1} - \frac{U_m}{t_n} \cdot \frac{R_1^2}{(R_g + R_1)^2} \cdot R_g C_3 \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1(R_g + R_1)}{R_g R_1 C_3}\right) \right]. \quad (3)$$

В выражении (3) время t_1 – это время первого интервала переходного процесса, которое в явном виде не определяется. Предлагается графическое решение уравнения (3), поэтому удобно представить его в следующем виде:

$$\frac{U_n}{U_m} = \frac{t_1}{A \cdot t_n} - \frac{t_1}{A^2 \cdot t_n} \cdot \frac{R_g C_3}{t_1} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1(R_g + R_1)}{R_g R_1 C_3}\right) \right]. \quad (4)$$

Для графического решения уравнения (4) удобно воспользоваться относительными едини-

цами: $t_1/R_g C_3$, U_n/U_m , t_1/t_n , $(R_g + R_1)/R_1 = A$.

Область изменения относительных величин U_n/U_m , t_1/t_n выбирается исходя из того, что $U_n < U_m$, $t_1 < t_n$. Если учесть, что величина R_g соизмерима с R_1 , то диапазон изменения A составляет от 1,2 до 3,0. Совокупность кривых для значений $t_1/t_n = 0,4$ и $0,8$ при изменении A приведена на рис. 4, для значений $t_1/t_n = 0,2$ и $0,6$ – на рис. 5, где $B = \frac{U_n}{U_m}$.

Пусть заданы $U_n/U_m = 0,15$ и $A = 1,5$; по значению $B = 0,15$ на рис. 4 и рис. 5 находится пересечение прямой с одной из кривых со значением $A = 1,5$. Пересечение может попасть в область изменения $t_1/t_n = 0,6$ или $0,8$, если $A \leq 3,0$. Тогда находится относительное время $t_1/R_g C_3$.

Ток, протекающий через емкость C_3 , также удобно выразить в относительных единицах. Его относительное значение в момент времени t_1 зависит от величин t_1/t_n , $t_1/R_1 C_3$, $t_1/R_g C_3$:

$$\frac{i \cdot R_1}{U_m} = \frac{t_1}{A \cdot t_n} \cdot \frac{R_1 C_3}{t_1} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{A t_1}{R_g C_3}\right) \right]. \quad (5)$$

Совокупность кривых $F = iR_1/U_m$ для значений $t_1/t_n = 0,4$ и $0,8$ приведена на рис. 6, для значений $t_1/t_n = 0,2$ и $0,6$ – на рис. 7. Для изменения величины A взяты те же пределы, что и на рис. 4 и рис. 5. В отличие от напряжения в токе появляется дополнительная переменная – $D = t_1/R_1 C_3$. При построении она принята 0,5.

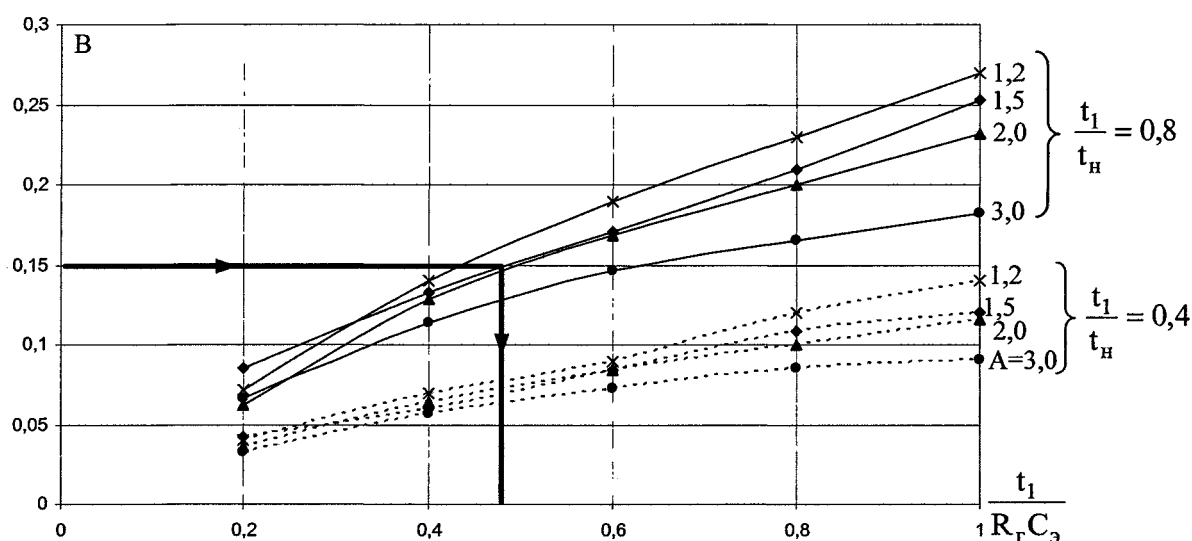


Рис. 4. Изменение относительного порогового напряжения затвора для $t_1/t_H = 0,4$ и $0,8$

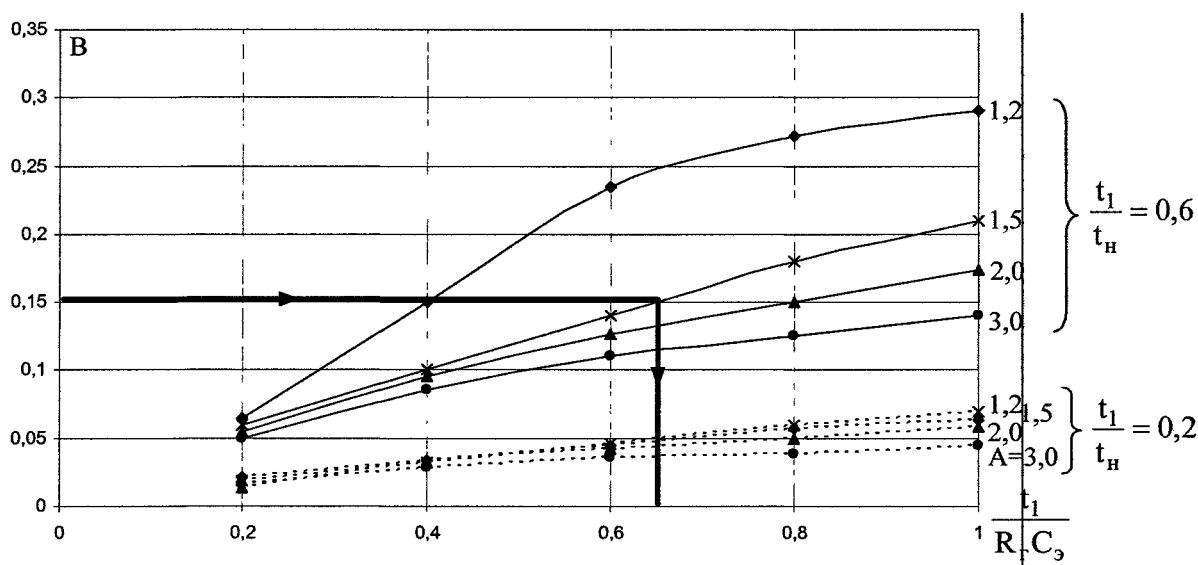


Рис. 5. Изменение относительного порогового напряжения затвора для $t_1/t_H = 0,2$ и $0,6$

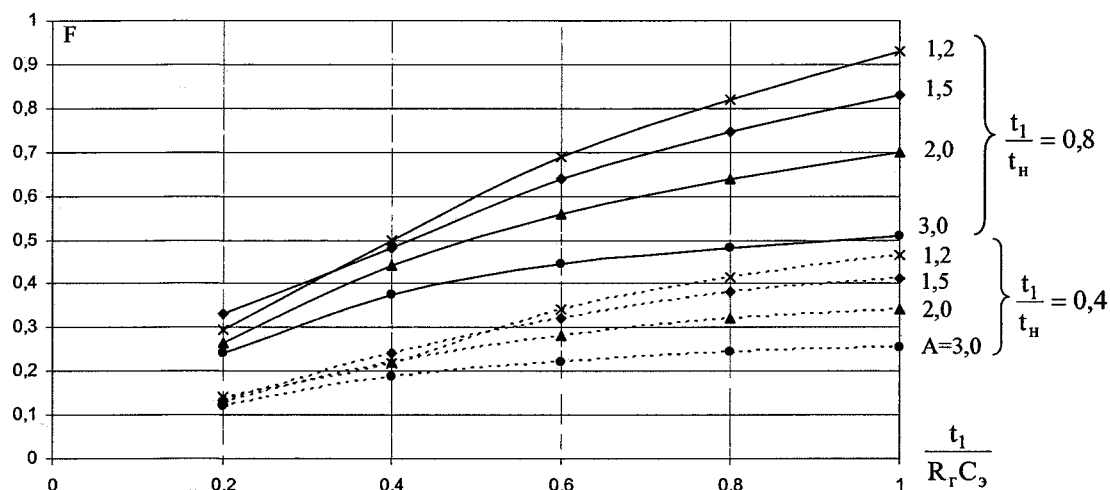
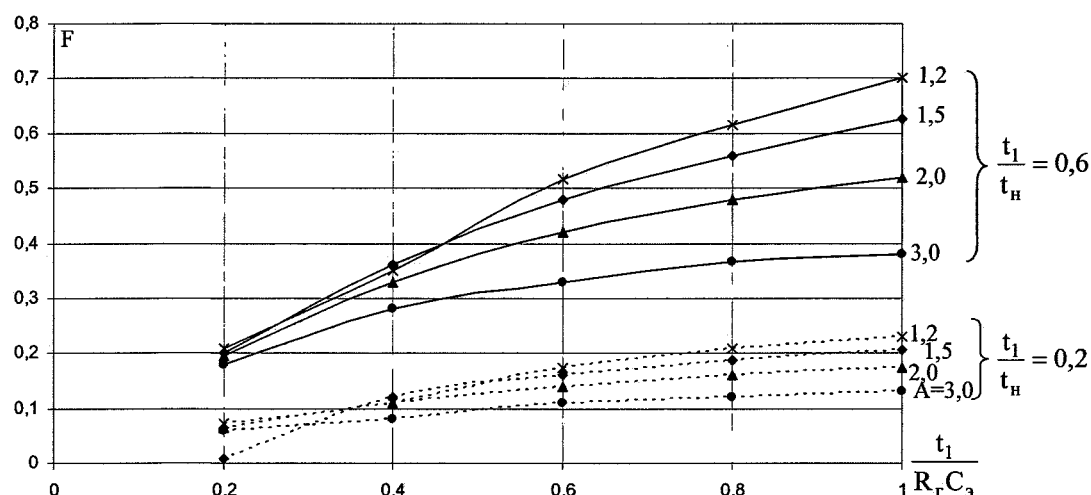
На втором интервале работы нарастает ток выходной цепи до уровня 0,9 от установившегося значения и падает напряжение коллектор-эмиттер. Емкость C_1 шунтируется выходной цепью, а через емкость C_2 возникает обратная связь с цепью затвора, поэтому в схеме замещения рис. 3б эквивалентная емкость возрастает до значения C_{31} . Напряжение на затворе определяется выражением (4), т.е. вид уравнения не изменяется:

$$u(t) = U_n + \frac{(U_m - U_n)t}{A \cdot t_H} - \frac{U_m}{A^2 \cdot t_H} \cdot R_1 C_{31} \times$$

$$\times \left[1 - \exp \left(- \frac{t(R_1 + R_1)}{R_1 R_1 C_{31}} \right) \right], \quad (6)$$

Относительные изменения напряжения на емкости C_{31} такие же, как на первом интервале работы, поэтому их можно определить по рис. 4, 5, зная время нарастания тока выходной цепи.

На третьем интервале работы транзистор достигает точки насыщения, поэтому действие обратной связи прекращается, следовательно, эквивалентная емкость уменьшается. Относительные изменения напряжения определяются из выражения (6).

Рис. 6. Изменение относительного тока затвора для $t_1/t_H = 0,4$ и $0,8$ Рис. 7. Изменение относительного тока затвора для $t_1/t_H = 0,2$ и $0,6$

Значение функции F в конце второго и третьего интервалов работы определяется выражением (5), в котором вместо времени t_1 берется интервал (t_1+t_2) и соответственно интервал $(t_1+t_2+t_3)$, где t_2 – продолжительность второго интервала, а t_3 – третьего.

Итак, в случае неидеального входного сигнала определены законы изменения напряжения на

участке затвор-эмиттер и тока через входную емкость, а также построены номограммы для различного соотношения параметров схемы.

Литература

1. Силовые IGBT – модули фирмы Siemens / Материалы по применению / под ред. Ю.К. Разанова. – М.: Додэка, 1997.

Поступила в редакцию 12.01.2008 г.

Сапрунова Надежда Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода ЮУрГУ.

Saprunova Nadezhda Mikhailovna – candidate of technical sciences, associate professor of the Electric Drive department of South Ural State University.

Корниенкова Екатерина Викторовна – студентка энергетического факультета ЮУрГУ.

Kornienkova Ekaterina Viktorovna – student of the Power Engineering faculty of South-Ural State University.