

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ОБМОТКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ, СНАБЖЕННОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ КОЛЛЕКТОРОМ

Э. Ф. ОБЕРГАН, А. И. СКОРОСПЕШКИН

(Рекомендовано семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Одной из разновидностей коммутирующих устройств в электрических машинах с полупроводниковой коммутацией тока в обмотках является полупроводниковый коллектор, выполненный на тиристорах.

При построении схемы полупроводникового коллектора с питанием от источника постоянного тока для коммутации тока с одного тиристора на другой применяются коммутирующие конденсаторы, которые обуславливают специфичность процесса коммутации тока также в секциях обмотки.

В настоящей статье рассматривается зависимость перенапряжения на коммутируемой секции от параметров обмотки и величины коммутирующего конденсатора.

На рис. 1 представлена одна секция W обмотки электрической машины и часть полупроводникового коллектора, участвующая в коммутации тока в этой секции в произвольно взятый момент времени.

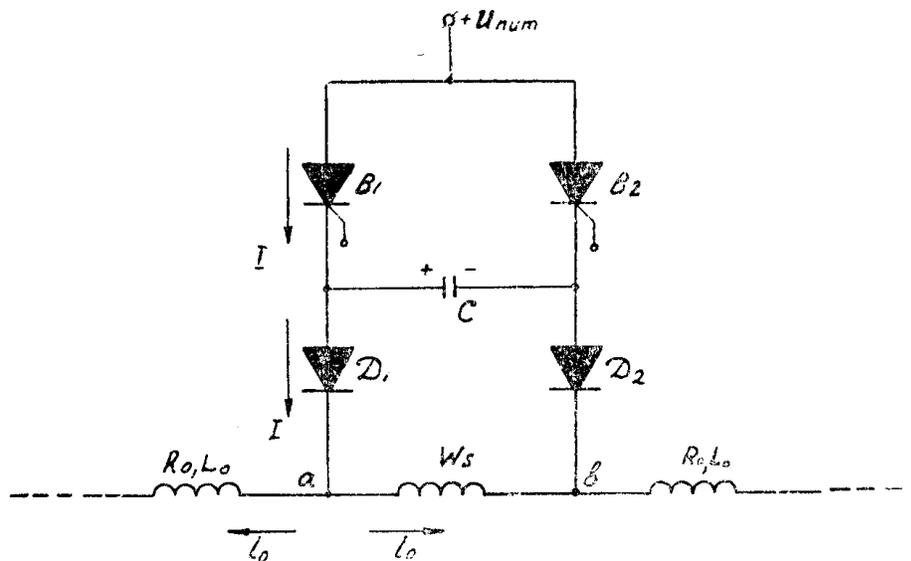


Рис. 1. Электрическая схема ячейки полупроводникового коллектора, связанной секцией обмотки.

Введя обозначения:

t_3 — время замкнутого состояния секции W_s ,

t_p — время разомкнутого состояния секции W_s , рассмотрим процесс коммутации последовательно в каждом интервале времени.

В начальный момент времени $t_3 = 0$ обмотка подключена к шине «+» источника питания в точке a через открытый тиристор B_1 и диод D_1 .

При этом по параллельной ветви обмотки, включающей в себя секцию W_s и обладающей параметрами R_0, L_0 , протекает ток i_0 , а напряжение на обкладках конденсатора C равно падению напряжения на секции W_s

$$U_c = i_0 \cdot r_s, \quad (1)$$

где r_s — омическое сопротивление секции W_s .

Падением напряжения на диоде D_1 пренебрегаем.

При подаче управляющего импульса на тиристор B_2 ток в секции W_s изменяется по закону

$$i_{W_s}(t) = i_0 \cdot e^{-n^2 \frac{t_3}{\tau_0}}, \quad (2)$$

где $i_{W_s}(t)$ — ток в секции W_s в интервал времени t_3 ,

n — число пар выводов обмотки,

$\tau_0 = \frac{L_0}{R_0}$ — постоянная времени параллельной ветви обмотки,

R_0 и L_0 — активное сопротивление и индуктивность параллельной ветви обмотки.

Одновременно с уменьшением тока в секции W_s происходит процесс коммутации тока с тиристора B_1 на тиристор B_2 . Этот процесс обусловлен разрядом конденсатора C по контуру $C-B_1-B_2$.

С момента запираания тиристора B_1 начинается интервал времени t_p . По окончании переходных процессов при $t_p = \infty$ обмотка оказывается подключенной к шине «+» источника питания в точке b через открытый тиристор B_2 и диод D_2 .

Поскольку для обеспечения надежного запираания тиристора B_1 время разряда конденсатора C должно быть несколько большим времени восстановления управляющих свойств тиристора B_1 , то в момент запираания последнего напряжение на обкладках конденсатора будет иметь некоторое отличное от нуля значение.

Ток $i_{W_s}(t_3)$ в секции W_s в общем случае может быть также отличен от нуля в момент запираания тиристор B_1 , т. е. в начале интервала времени t_p .

Однако с целью упрощения математических выкладок с достаточной для практических целей точностью примем в качестве начальных условий интервала времени t_p значения $U_c = 0$ и $i_{W_s} = 0$.

Тогда значения $U_c(t_p)$ и $i_{W_s}(t_p)$ в интервале времени t_p могут быть определены по формулам:

$$U_c(t_p) = i_{W_s}(t_p) \cdot Z_2(t_p), \quad (3)$$

$$i_{W_s}(t_p) = i'_0 \cdot \frac{Z_1(t_p)}{Z_1(t_p) + Z_2(t_p)}. \quad (4)$$

В этих формулах

$Z_1(t_p)$ и $Z_2(t_p)$ — полные сопротивления в переходном режиме части параллельной ветви обмотки без коммутируемой секции W_s и контура, связанного с секцией W_s .

$i'_0 = \frac{U}{R_0 - r_s}$ — установившееся значение постоянного тока в части параллельной ветви обмотки без коммутируемой секции W_s .

При подстановке (4) в (3) можем найти отношение напряжения на конденсаторе C в интервале времени t_p к напряжению питания обмотки.

$$\frac{U_c(t_p)}{U} = \frac{1}{R_0 - r_s} \cdot \frac{Z_1(t_p) \cdot Z_2(t_p)}{Z_1(t_p) + Z_2(t_p)}. \quad (5)$$

Определив по схеме (рис. 1) выражения для сопротивлений $Z_1(t_p)$ и $Z_2(t_p)$ и после ряда преобразований с (5), получим:

$$\frac{U_c(t_p)}{U} = \frac{1}{(n-1) \left[1 - e^{-n \frac{t_p}{\tau_0}} \right] + \left(1 - e^{-\frac{n}{n-1} \frac{t_p}{\tau_0}} \right) + R_0 \cdot C \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{t_p}}. \quad (6)$$

Взяв производную от (6) и приравняв ее числитель нулю, найдем время, по истечении которого отношение $\frac{U_c}{U}$ будет максимально.

Числитель производной

$$(n-1) \left[\frac{1}{\tau_0} \cdot n \cdot e^{-n \frac{t_p}{\tau_0}} \right] + \frac{n}{n-1} \cdot \frac{1}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{n}{n-1} \frac{t_p}{\tau_0}} - R_0 \cdot C \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{t_p^2} = 0.$$

Анализ уравнения (6) показывает, что время $t_{p,m}$, по истечении которого отношение $\frac{U_c}{U}$ достигает максимума, имеет порядок $10^{-7} \div 10^{-4}$ сек.

При таком значении $t_{p,m}$

$$e^{-n \frac{t_{p,m}}{\tau_0}} \approx e^{-\frac{n}{n-1} \frac{t_{p,m}}{\tau_0}} \approx 1, \quad (7)$$

тогда

$$(n-1) \frac{n}{\tau_0} + \frac{n}{n-1} \cdot \frac{1}{\tau_0} - R_0 \frac{n-1}{n} \cdot C \frac{1}{t_{p,m}} = 0,$$

откуда

$$t_{p,m} = \frac{n-1}{n} \cdot \sqrt{L_0 \cdot C} \cdot \sqrt{\frac{1}{n^2 - 2(n-1)}}. \quad (8)$$

Подставляя значение $t_{p,m}$ из (9) в (6) и принимая во внимание условие (7), получим

$$\left(\frac{U_c}{U} \right)_{\max} = \frac{1}{R_0} \cdot \sqrt{\frac{L_0}{C} \cdot \frac{1}{n^2 - 2(n-1)}}. \quad (9)$$

Зависимость $\left(\frac{U_c}{U} \right)_{\max} = f(C)$ при различных n и произвольно выбранных $L_0 = 0,2$ мГн, $R_0 = 2$ ома показана на рис. 2.

Пользуясь уравнением (9), можно при любых параметрах и числе выводов обмотки определить значение емкости конденсатора, обеспечивающее допустимые для выбранных элементов полупроводникового коллектора и конструкции обмотки перенапряжения на коммутируемой секции.

Следует помнить в то же время, что поскольку этот же конденсатор является коммутирующим для тиристорov, значение емкости его,

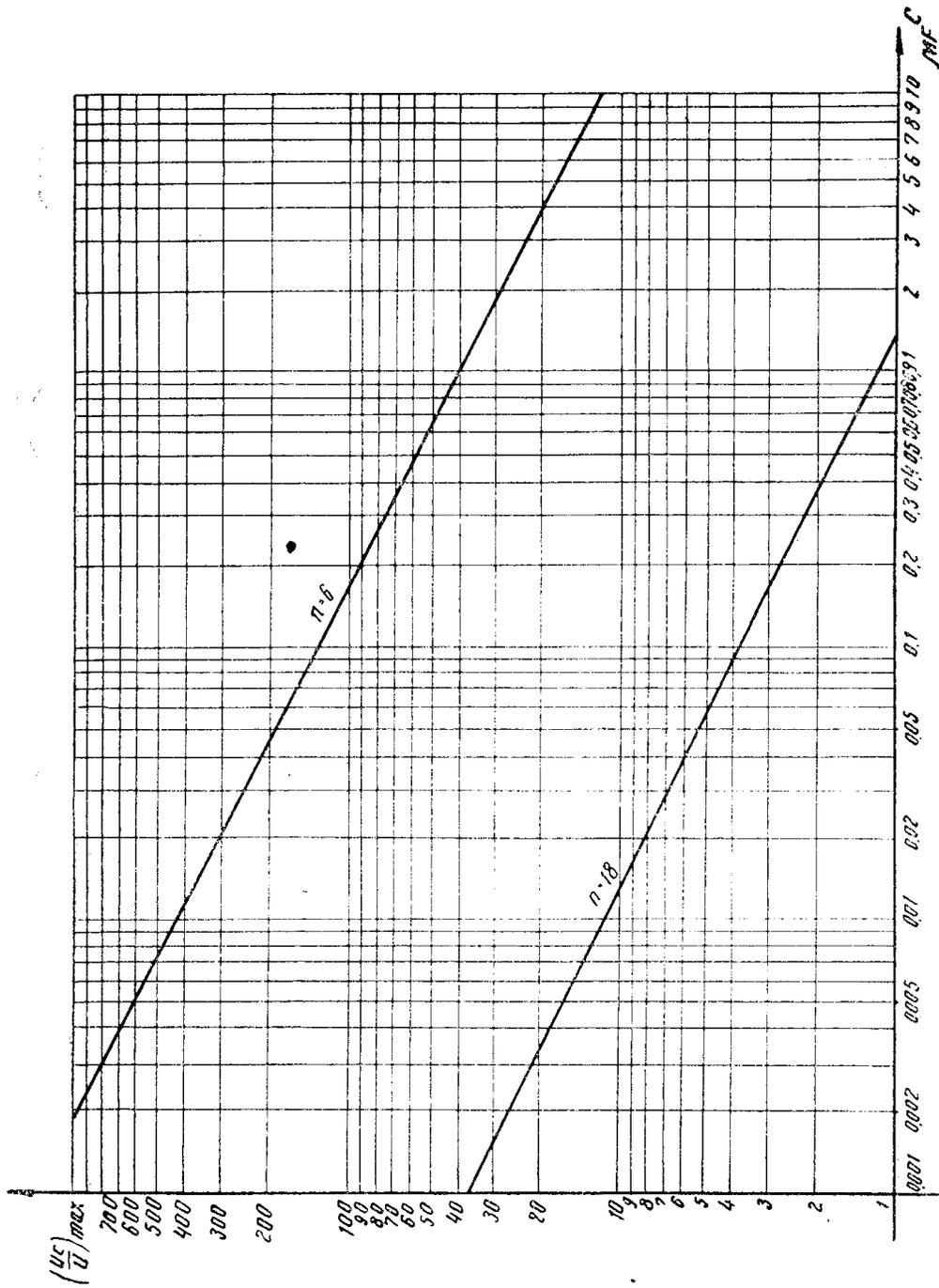


Рис. 2. График зависимости перенапряжения на коммутирующем конденсаторе C от величины его емкости.

рассчитанное по (9), должно удовлетворять также условию

$$t_{\text{разр}} > t_{\text{в}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{разр}}$ — время разряда конденсатора C по контуру

$$C - B_1 - B_2,$$

$t_{\text{в}}$ — время восстановления управляющих свойств тиристора, являющееся паспортным параметром тиристора.

Выполнение этого условия проверяется расчетом, для чего необходимо предварительно определить по (6) начальное напряжение на конденсаторе $U_{\text{сн}}$ в момент времени $t_3 = 0$. При этом величина времени $t_{\text{р}}$, подставляемая в (6), равна

$$t_{\text{р}} = \frac{1}{f} - t_{\text{в}},$$

где f — частота управляющих импульсов, подаваемых на полупроводниковый коллектор.

Задавшись отношением $\frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}}$ напряжения на конденсаторе в момент запираания тиристора B_1 к начальному напряжению и зная прямое и обратное сопротивления $r_{\text{в пр}}$ и $r_{\text{в обр}}$ тиристоры B_2 и B_1 в открытом состоянии, можно определить значение емкости конденсатора C , обеспечивающее выполнение условия (10)

$$t_{\text{разр}} = -(r_{\text{в пр}} + r_{\text{в обр}}) \cdot C \ln \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}} > t_{\text{в}},$$

откуда

$$C > \frac{t_{\text{в}}}{\ln \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}} \cdot (r_{\text{в пр}} + r_{\text{в обр}})}. \quad (11)$$

Если, к примеру, к концу времени $t_{\text{в}}$, т. е. к моменту запираания тиристора B_1 , обратное напряжение, приложенное к нему, должно быть не меньше 1% от $U_{\text{сн}}$, то

$$\ln \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}} = \ln 0,01 = -2,3.$$

В этом случае

$$C > \frac{t_{\text{в}}}{2,3(r_{\text{в пр}} + r_{\text{в обр}})}.$$

В каждом конкретном случае для выбранных схемы обмотки и типа элементов полупроводникового коллектора величины емкости конденсатора C определяются по уравнению (9) и неравенству (11) и выбирается большее значение.

Выводы

Приведенные в настоящей статье аналитические зависимости, характеризующие процесс коммутации тока в обмотке электрической машины, снабженной полупроводниковым коллектором, показывают зависимость перенапряжения на коммутируемых секциях обмотки от параметров обмотки и элементов полупроводникового коллектора.

Полученные расчетные формулы позволяют при проектировании электрических машин с полупроводниковой коммутацией тока в обмот-

ках обеспечивать оптимальные условия коммутации путем согласования параметров электрической машины с параметрами элементов полупроводникового коллектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш. И. Лутидзе. Полупроводниковая коммутация электрических машин. Сб. Режимы работы электросистем и регулирование синхронных машин, Издательство «Наука», 1964.
 2. Ш. И. Лутидзе. Управления и схемы электрических машин с управляемым полупроводниковым коммутатором. Известия АН СССР, № 6, 1964.
-