

## О СООТНОШЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ВКЛЮЧЕННЫХ НА ИМПУЛЬСНУЮ НАГРУЗКУ

Д. И. АНДЕРМАН, И. Д. КУТЯВИН

В [1] доказана возможность использования высоковольтных трансформаторов для электропитания электронных ускорительных трубок. Но, как показывает эксперимент, получение импульса постоянного напряжения возможно не при любых параметрах трансформатора и нагрузки.

Для выявления зависимости величины и времени импульса от параметров схемы замещения и фазы включения была составлена и рассчитана задача на ЭЦВМ «Минск-1» в соответствии с предложенной [1] схемой замещения.

При этом для каждого сочетания параметров отыскивается фаза включения, при которой возможное время стабильности напряжения было бы максимальным. Задача просчитана для трех значений точности стабилизации:

$$\varepsilon = \frac{u_c(0) - u_c(t)}{u_c(0)}, \quad (1)$$

где  $u_c(0)$  — напряжение на нагрузке в момент включения,  
 $u_c(t)$  — напряжение на нагрузке в конце импульса;  
для  $\varepsilon = 0,01; 0,001; 0,0001$  и составлена в относительных единицах.

За базовые величины принималось сопротивление нагрузки  $R$ , частота первичного напряжения  $f_1 = 50$  гц, амплитудное значение первичного напряжения, приведенного ко вторичной обмотке,  $U_{1m} = 1$ . Индуктивность рассеяния учитывалась пропорциональным ей коэффициентом

$$k_1 = \frac{\omega L_k}{R}. \quad (2)$$

Емкость учитывалась пропорциональным ей коэффициентом

$$k_2 = R\omega C. \quad (3)$$

Активное сопротивление обмоток учитывалось коэффициентом

$$k_3 = \frac{r_k}{R}. \quad (4)$$

Для правильного выбора пределов изменения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$  рассмотрим их физический смысл. При выборе основных размеров трансформатора в импульсном режиме нужно стремиться к тому, чтобы тепловая загрузка трансформатора в импульсном режиме была такой же, как при длительной нагрузке. Полезная активная мощность  $P_{2u}$ , передаваемая в нагрузку при импульсном режиме, может быть определена из выражения:

$$P_{2u} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} \frac{u^2}{R} dt = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} \frac{(n_1 U_{1m})^2}{R} dt = \frac{n_1^2 U_{1m}^2}{R} \cdot \frac{\tau}{T}, \quad (5)$$

где  $U_{1m}$  — амплитудное значение первичного напряжения, приведенное к вторичной цепи;

$u$  — напряжение на нагрузке;

$n_1$  — коэффициент, зависящий от фазы включения и падения напряжения в обмотках. Обычно  $n_1 = 0,85 \div 1$ ;

$T$  — период переменного напряжения;

$\tau$  — продолжительность включения нагрузки.

Полезная мощность трансформатора при длительном включении нагрузки, сопротивление которой равно  $R_{дл}$

$$P_2 = \frac{U_{2н}^2}{R_{дл}} = \frac{(n_2 U_{1m})^2}{2 R_{дл}}, \quad (6)$$

где  $n_2$  — коэффициент, учитывающий падение напряжения в обмотках;  $U_{2н}$  — действующее значение напряжения на длительно включенной нагрузке.

Приравняем выражения (5) и (6), полагая  $n_1 = n_2 = 1$ .

$$\frac{U_{1m}^2}{R} \cdot \frac{\tau}{T} = \frac{U_{1m}^2}{2 R_{дл}}, \quad \text{тогда } R = R_{дл} \cdot \frac{2\tau}{T} = m R_{дл}, \quad (7)$$

где  $m$  — коэффициент загрузки.

Тогда коэффициент  $\kappa_1$  можем записать по-другому:

$$\kappa_1 = \frac{L_k \omega}{R} = \frac{L_k \omega \cdot I_{2н}}{m R_{дл} \cdot I_{2н}} = \frac{U_p}{m U_{2н}} = \frac{u_p}{m},$$

где  $I_{2н}$  — действующее значение тока в длительно включенной нагрузке. Коэффициент  $\kappa_1$  — численно равен относительной величине реактивной составляющей напряжения короткого замыкания, деленной на коэффициент загрузки. Обычно  $u_p = 0,03 \div 0,15$ . Коэффициент загрузки может изменяться, как показал расчет, в очень широких пределах в зависимости от требуемой точности стабилизации напряжения и параметров схемы:

$$\tau = 20 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-3} \text{ сек. } m = 0,002 \div 0,2, \quad \text{тогда } \kappa_1 = 0,15 \div 75.$$

При больших значениях  $\kappa_1$  напряжение при включении нагрузки резко падает. При слишком малых  $\kappa_1$  трансформатор недогружен в тепловом отношении и переходное напряжение изменяется с частотой, во много раз превосходящей частоту сети. В решении задачи исследован диапазон изменения  $\kappa_1$  от 0,01 до 3. Коэффициент  $\kappa_3$  выбираем из тех же соображений:

$$\kappa_3 = \frac{r_k}{R} = \frac{r_k I_{2н}}{m R_{дл} I_{2н}} = \frac{U_a}{m U_{2н}} = \frac{u_a}{m}.$$

$\kappa_3$  — численно равен активной составляющей напряжения короткого замыкания, деленной на коэффициент загрузки. Обычно  $u_a = 0,01 - 0,02$ . Исследован диапазон изменения  $\kappa_3 = 0,05 \div 0,5$ . Наиболее приемлемые результаты получились при  $\kappa_3 = 0,05 \div 0,2$ . При больших  $\kappa_3$  значительная часть напряжения падает на сопротивлениях обмоток.

Величина коэффициента  $\kappa_2$  исследовалась в очень широких пределах от  $0,001 \div 2,5$ . Возможное решение лежит в пределах  $\kappa_2 = 0,5 \div 2,5$ .

Проведенные расчеты позволили проанализировать:

1) влияние емкости на максимальную продолжительность импульса, что показано на рис. 1. Для каждой схемы имеется оптимальная емкость, при которой возможное время импульса максимально. Обычно  $\kappa_{2опт} = 1,5 \div 2$ ;

2) влияние индуктивности рассеяния на максимальную продолжительность импульса при  $\kappa_2 = \kappa_{2опт} = 1,5 \div 2$ .

При малых значениях индуктивности  $\kappa_1 = 0,01 \div 0,30$  ее изменение мало влияет на время импульса.

При дальнейшем увеличении  $\kappa_1$  система приближается к резонансу и в требуемом режиме работать не может, происходит резкое уменьшение максимального времени импульса (неустойчивая область). При дальней-

шем увеличении индуктивности максимальное время импульса растет, однако величина начального напряжения уменьшается, что нежелательно. Итак, для устойчивой работы трансформатора в режиме импульсной нагрузки  $\kappa_1$  должен находиться в пределах  $0,01 \div 0,3$ . При этом возмож-

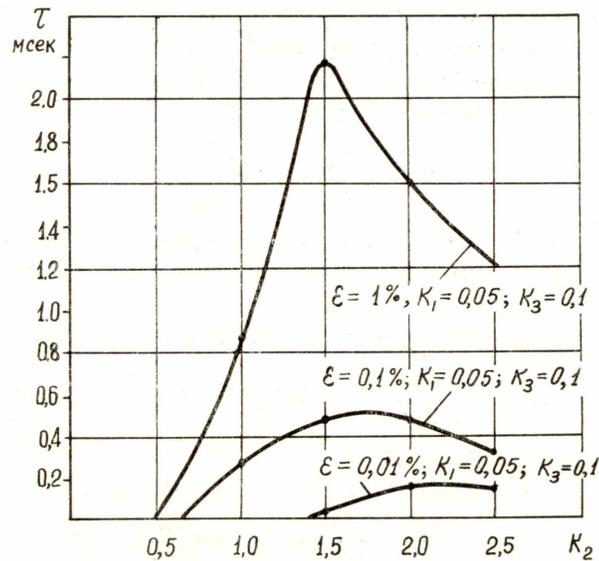


Рис. 1. Влияние емкости на максимально возможное время импульса при различной точности стабилизации напряжения.

но получить импульс напряжения постоянного по величине с точностью стабилизации 1% в течение  $1,3 \div 2,7$  мсек, при точности стабилизации 0,1% — продолжительностью  $0,2 \div 0,7$  мсек, при точности стабилизации 0,01% — продолжительностью до  $0,040 \div 0,220$  мсек;

3) влияние активного сопротивления обмоток на максимальное время импульса:

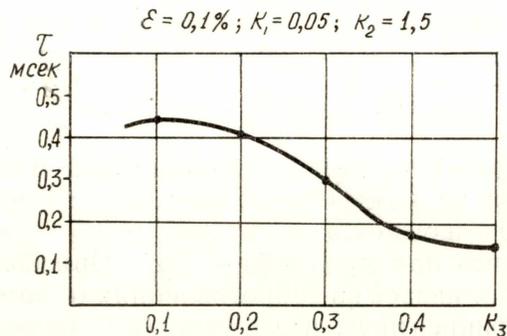


Рис. 2. Влияние активного сопротивления обмоток на максимально возможное время импульса.

как видно из рис. 2, с увеличением активного сопротивления обмоток максимальное время импульса падает. Однако  $r_R$  сильно влияет на время затухания переходного процесса выключения — с уменьшением  $r_R$  оно возрастает.

Не целесообразно проектировать трансформатор с слишком малым активным сопротивлением обмоток;

4) влияние точности стабилизации напряжения на максимальное время импульса наглядно показано на рис. 1.

## Выводы

Полученные результаты показали, что возможно:

1) спроектировать трансформатор с параметрами, позволяющими получить максимальную длительность импульса постоянного напряжения при точности стабилизации 1% длительностью до 2,7 мсек при точности стабилизации 0,1% до 0,7 мсек, при точности стабилизации 0,01% до 0,22 мсек;

2) рассчитать оптимальную емкость, которую необходимо подключить дополнительно к трансформатору.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Андерман, И. Д. Кутявин. О возможности использования высоковольтных трансформаторов в качестве источника электропитания электронных ускорительных трубок (настоящий сборник).