

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 решена 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

$$\kappa_2 = R\omega C. \quad (3)$$

Активное сопротивление обмоток учитывалось коэффициентом

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

Для правильного выбора пределов изменения коэффициентов $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ 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;

τ — 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 $n_1 = n_2 = 1$.

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

где m — коэффициент загрузки.

Тогда коэффициент κ_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 κ_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:

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

При больших значениях κ_1 напряжение при включении нагрузки резко падает. При слишком малых κ_1 трансформатор недогружен в тепловом отношении и переходное напряжение изменяется с частотой, во много раз превосходящей частоту сети. В решении задачи исследован диапазон изменения κ_1 от 0,01 до 3. Коэффициент κ_3 выбираем из тех же соображений:

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

κ_3 — численно равен активной составляющей напряжения короткого замыкания, деленной на коэффициент загрузки. Обычно $u_a = 0,01 \div 0,02$. Исследован диапазон изменения $\kappa_3 = 0,05 \div 0,5$. Наиболее приемлемые результаты получились при $\kappa_3 = 0,05 \div 0,2$. При больших κ_3 значительная часть напряжения падает на сопротивлениях обмоток.

Величина коэффициента κ_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 κ_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 κ_1 должен находиться в пределах $0,01 \div 0,3$. При этом возмож-

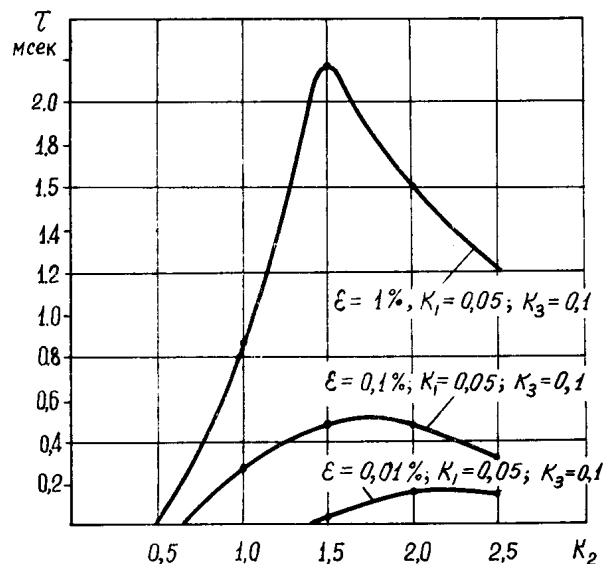


Рис. 1. Влияние емкости на максимально возможное время импульса при различной точности стабилизации напряжения.

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:

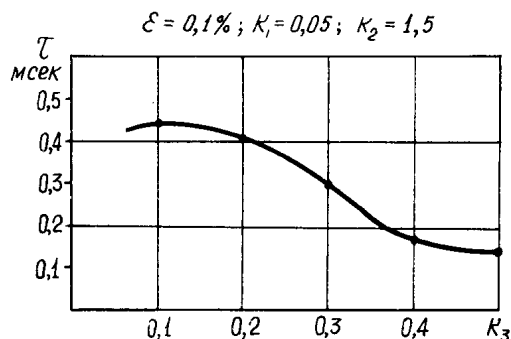


Рис. 2. Влияние активного сопротивления обмоток на максимально возможное время импульса.

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