

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

К. К. Тулегенов, соискатель

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана

Мақалада жоғарғы кернеулі импульс көзінің сұлбаларын таңдау қарастырылады. Жоғарғы кернеу көздерінің өңделген бірнеше варианттары көрсетілген. Зерттелетін объект ретінде екі еселенген кернеумен тиристорлы коммутаторы бар жоғарғы кернеулі импульс көзі қабылданған.

В статье рассматривается выбор схемы импульсного источника высокого напряжения. Показаны несколько вариантов схемы разработанных источников высокого напряжения. Объектом изучения принят импульсный источник высокого напряжения с тиристорным коммутатором и удвоением напряжения.

The choice of the circuit of the pulse source of high voltage is considered in the work. Some variants of the circuit of the developed sources of the high voltage are shown. The object of study accepts pulse source of the high voltage with teristor by the switchboard and doubling of voltage.

Целью исследования служит обоснование параметров импульсного источника высокого напряжения (ИИВН). Известно большое число схем, которые могут использоваться для разработки импульсного источника высокого напряжения [1-4]. Часть из них (мультивибраторы, блокинг-генераторы и др.) гарантируют строгое соблюдение параметров импульсов, таких как форма, частота следования, скважность, но имеют ограничение по напряжению и мощности. Другая часть (емкостно-индуктивные) – могут обеспечивать требуемые напряжения и мощность.

На рисунке 1 показаны схемы разработанных источников. Во всех вариантах источником высокого напряжения служат катушки зажигания для двигателя внутреннего сгорания. Каждая из схем имеет повышающий трансформатор T_p , первичная обмотка которого питается от импульсного генератора. Во всех схемах генератор имеет накопительный конденсатор C , заряжаемый через диод V_1 каждый положительный период заряжает конденсатор Q , до напряжения открытия динистора.

Рабочий процесс 2 схемы отличается от предыдущего тем, что заряд-разряд происходит каждый полупериод, а ключом служит тиристор V_2 . Рабочий процесс 3 схемы, из-за изменения полярности включения первичной обмотки, обеспечивает удвоенное, по сравнению со схемой 2, напряжение на накопительном конденсаторе. Благодаря этому в 4 раза возрастает энергия и резко увеличивается импульс напряжения на электродах.

В рабочем процессе ИИВН выделим 3 стадии. Первая – зарядка накопительного конденсатора. Вторая стадия – удвоение напряжения на первичной обмотке импульсного трансформатора. Третья – разряд конденсатора и формирование импульса высокого напряжения. Обработка яиц происходит в третьей стадии, поэтому она является основной. Первая и вторая стадии – подготовительные.

Для получения необходимых результатов следует вначале выполнить качественное, а затем – количественное исследование. На каждом этапе принимаем допущения: напряжение сети имеет синусоидальную форму, нелинейные элементы являются идеальными, а их параметры не зависят от режима работы.

Каждой стадии работы ИИВН соответствует своя схема замещения.

Теоретическое исследование рабочего процесса ИИВН имеет целью получить количественное описание взаимосвязи параметров. Это позволит установить закономерности работы источника, определить его характеристики и влияние различных факторов.

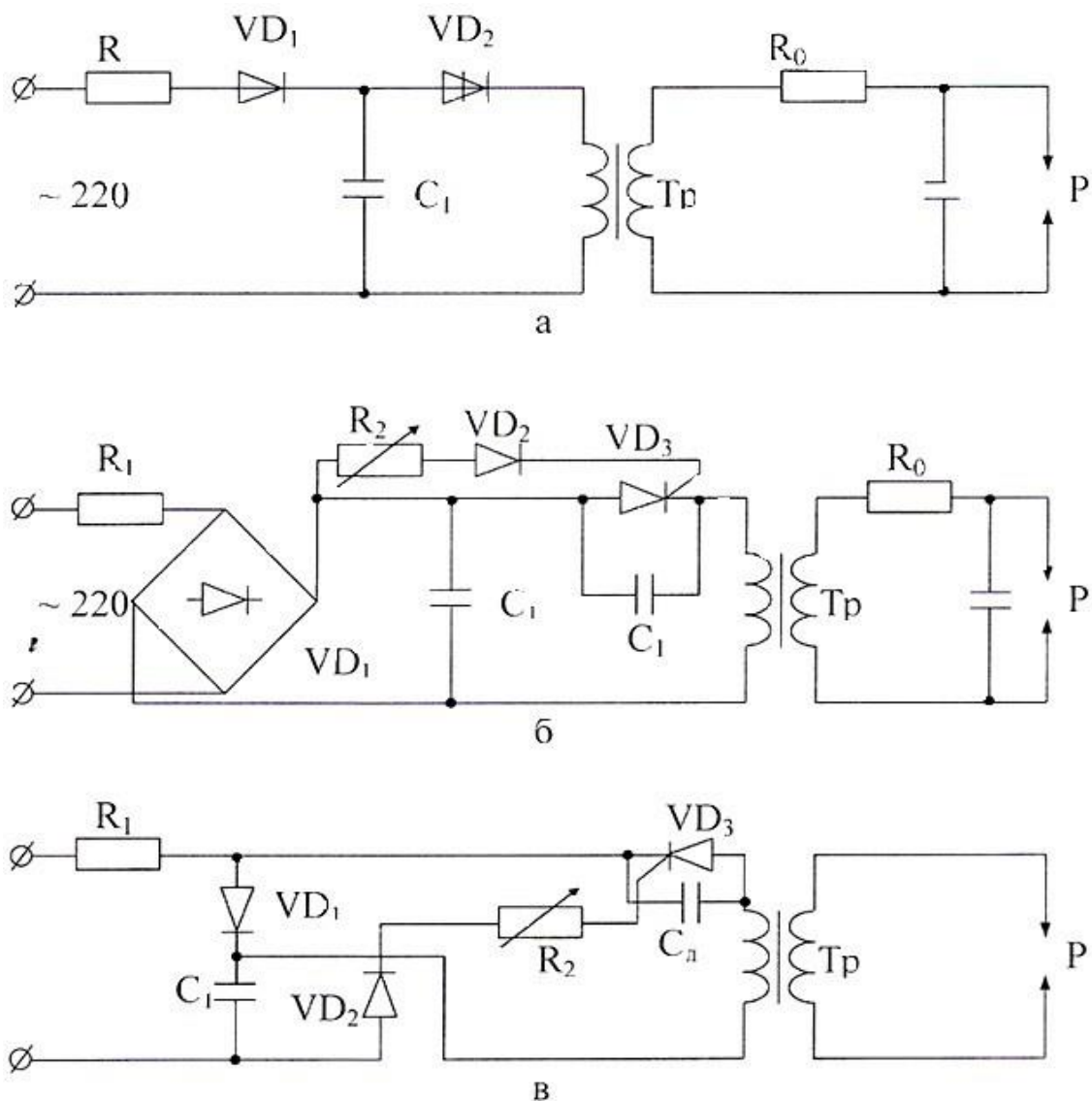


Рисунок 1 – Принципиальные схемы ИИВН:

а – динисторный; б – тиристорный; в – тиристорный с удвоенным напряжением

Конечными результатами исследования служат выводы о рациональных режимах работы и основы инженерного расчета.

Объектом изучения принят ИИВН с тиристорным коммутатором и удвоением напряжения (рисунок 1 в). Другие схемы являются случаем принятого объекта. В изучаемой схеме используются нелинейные элементы: диоды, тиристоры и т.п. Для

исследования таких схем широкое применение имеет метод припасовывания [4-6]. Его сущность заключается в разбиении всего рабочего процесса на стадии, в пределах которых участвующие элементы полученных результатов на границах стадий. Для количественного описания стадии используем классический метод исследования переходных процессов [6,7]:

- ☐ расчет докоммутационного режима;
- ☐ расчет принужденных составляющих послекоммутационного режима;
- ☐ расчет свободной составляющей по характеристическому уравнению;
- ☐ суммирование принужденной и свободной составляющей.

Докоммутационный режим характеризуется уравнениями:

$$i(0_-) = 0, U_C(0_-) = 0 \quad (1)$$

т.е. ток и напряжение отсутствуют.

Послекоммутационный режим: уравнение принужденного тока

$$i_{np} = I_m \sin(\omega t + \psi + \phi) \quad (2)$$

где

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{j\omega C}\right)^2}}, \phi = \arctg \frac{X_C}{R}, R = R_1 + R_2$$

В переходный этап имеется свободная составляющая тока:

$$i_{св} = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

Постоянная интегрирования находится из уравнения полного тока $i(0) = i_{np}(0) + i_{св}(0)$ для момента $t = 0$:

$$A = \frac{U_m}{R} \sin \psi - I_m \sin(\psi - \phi) \quad (4)$$

Окончательно имеет уравнение свободного тока заряда

$$i_{св} = \left[\frac{U_m}{R} \sin \psi - I_m \sin(\psi - \phi) \right] e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

и всего переходного процесса

$$i = i_{np} + i_{св} \quad (6)$$

Характер изменения напряжения на конденсаторе находим из уравнения

$$U = U_R + U_C$$

$$U_C = U - U_R = U - iR \quad (7)$$

После подстановки $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$

$$u = \frac{U_m}{Z\omega C} \left[\sin\left(\omega t + \psi + \phi - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{1}{R} \sin\left(\psi + \phi - \frac{\pi}{2}\right) \right] e^{-\frac{t}{RC}} \quad (8)$$

В нашем случае конденсатор всегда включается при $U = 0 (\psi = 0, \phi = \pi/2)$. Поэтому в цепи сразу наступает установившийся режим

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \\ u_C &= U_m \sin \omega t \end{aligned} \quad (9)$$

Продолжительность первой стадии находится из условия зарядки конденсатора до амплитудного значения напряжения

$$t_3 = \frac{1}{\omega} \arcsin(Z\omega C) \quad (10)$$

$$\text{где } Z = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

В период от t_3 до $t - \pi$ напряжение на конденсаторе не изменяется, а затем к нему добавляется напряжение сети

$$u_{ac} = U_m \sin \omega t' + U_m \sin \omega t'' = 2U_m \quad (11)$$

где $\omega t' = \pi/2, \omega t'' = 3\pi/2$.

Аналитическое описание разряда конденсатора выполним по ранее приведенной методике классического изучения переходных процессов в цепи R, L, C . В отличие от типичных случаев [5], здесь включение на переменное напряжение происходит в цепи заряженным конденсатором до напряжения U_m .

Докоммутационный режим:

$$i(0), U_C(0) = U_m \quad (12)$$

Послекоммутационный, установившийся режим:

$$i_{np} = I_m \sin(\omega t + \psi \pm \phi) \quad (13)$$

$$\text{где } I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L + \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \phi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \psi \text{ — момент включения } \left(\psi = \frac{\pi}{2} \right).$$

Характеристическое уравнение находим по входному сопротивлению

$$0 = R + pL + \frac{1}{pC} \quad (14)$$

Корни уравнения

$$p_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \left(\frac{1}{LC}\right)^2} \quad (15)$$

где $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – угловая частота собственных колебаний контура.

Свободная составляющая тока описывается обычным уравнением

$$i_{ce} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad (16)$$

для определения постоянных интегрирования A_1 и A_2 запишем два исходных уравнения свободного тока для момента $t = 0$

$$\left. \begin{aligned} i(0) &= i_{kp}(0) + i_{ce}(0) \\ \frac{di(0)}{dt(0)} &= \frac{di_{kp}(0)}{dt(0)} + \frac{di_{ce}(0)}{dt(0)} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Слагаемые этих уравнений находим на основании законов коммутации и следующих известных преобразований [8]

$$\begin{aligned} i_{kp}(0) &= I_m \sin(\omega \cdot 1 + \psi \pm \phi) = I_m \sin(\psi \pm \phi), \\ i(0_+) &= i(0_-) = i(0) = 0, \\ u_R(0) &= i(0) R = 0, \\ u_C(0_-) &= U_C = U_H, \\ u_L(0) &= U_m - u_R(0) - u_C(0) = 2U_m, \end{aligned} \quad (18)$$

при $\psi = \frac{\pi}{2}$,

$$\begin{aligned} \frac{d\tau_{kp}(0)}{dt(0)} &= I_m \omega \cos(\psi + \phi) \\ \frac{di(0)}{dt(0)} &= \frac{2U_m}{L} \left(m.k. L \frac{di}{dt} = U \right), \frac{di_{kp}(0)}{dt(0)} = 0 \\ \frac{di_{ce}(0)}{dt(0)} &= p_1 A_1 + p_2 A_2 \end{aligned} \quad (19)$$

После соответствующих подстановок система уравнений (17) получает вид

$$\begin{aligned} i_{ce}(0) &= A_1 + A_2 + I_m \sin(\psi + \phi) = 0 \\ \frac{2U_m}{L} &= I_m \omega \cos(\psi \pm \phi) + p_1 A_1 + p_2 A_2 \end{aligned} \quad (20)$$

Решение системы (20) дает постоянные интегрирования и после суммирования принужденной и свободной составляющих находим окончательное выражение полного тока разряда конденсатора

$$i = \frac{2U_m}{Z} \sin(\omega t + \psi_1) - \frac{2U_m}{Z} e^{-\beta t} \left[\left(\frac{\omega_o^2}{\omega \omega_o} \cos \psi_1 - \frac{b}{\omega_o} \sin \psi_1 \right) \cdot \sin \omega_o' t + \sin \psi_1 \cos \omega_o' t \right], (21)$$

$$\text{где } \omega_o' = \sqrt{\omega_o^2 - \beta^2}, \psi_1 = \psi - \phi$$

Для дальнейшего анализа примем практически реализуемый в нашей схеме случай: $\psi = \pi/2, \phi \approx \pi/2, \omega_o' \approx \omega_o$. Тогда получим

$$i = \frac{2U_m}{Z} \sin \omega t - \frac{2U_m}{Z} e^{-\beta t} \frac{\omega_o}{\omega} \sin \omega_o t \quad (22)$$

Таким образом, ток высоковольтного трансформатора складывается из принужденной составляющей, имеющей частоту сети, и свободной составляющей. Последняя зависит от соотношения L, R, C . В нашем случае заведомо выполняется условие $R < 2\sqrt{L/C}$. Поэтому свободный ток представляет собой затухающий ($e^{-\beta t}$) переменный ток с частотой контура ω_o . Результирующий ток представляет собой колебательный процесс с частотой ω_o вокруг графика принужденного тока с частотой ω ($\omega_o > \omega$). Однако в действительности картина будет иной, поскольку в цепи будет протекать ток лишь в те моменты, когда он совпадает с полярностью тиристора, т.е. можно наблюдать серию импульсов.

В результате исследований были установлены величины импульсной мощности, амплитудного вторичного напряжения и переменного питающего напряжения ИИВН с тиристорным коммутатором для электротехнологической установки с электродным пакетом.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Александров, Г. Н. Техника высоких напряжений. – VI / Г. Н. Александров, М. В. Костенко. М.: Высшая школа. – 1973. – 528 с.
- 2 Аронов, М. А. Лабораторные работы по технике высоких напряжений / М. А. Аронов, В. В. Базуткин, П. В. Борисоглебский // – М.: Энергоиздат. – 1982. – 352 с.
- 3 Фисинин, В. Научно-технические разработки – в производство / В. Фисинин. // Птицеводство. – 1996. – № 4. – с. 11-13.
- 4 Стефанов, К. С. Техника высоких напряжений / К. С. Стефанов // – Л.: Энергия. – 1967. – 494 с.
- 5 Разевиг, Д. В. Техника высоких напряжений / Д. В. Разевиг – М.: Энергия. – 1976. – 488 с.
- 6 Парселл, Э. Электричество и магнетизм / Э. Парселл. – М.: Наука. – 1975. – 438 с.
- 7 Busdy, D. E. "Space biomagnetics" // Space Life Sci., V. 1, No. 1. – 1968. – p. 221.
- 8 Браун, Ф. Геофизические факторы и проблемы биологических часов /Ф. Браун Биологические часы. – М.: Мир. – 1964. – 103 с.

УДК: 631.53.04(574.1)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ПОСЕВНЫХ КОМПЛЕКСОВ