

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО ПРОМЕЖУТКА В ВОДЕ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ОБМОТКИ УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА

К. А. ХОРЬКОВ, Б. А. ФРАНКОВСКИЙ, Ю. Г. ШМИГИРИЛОВ

Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники

Устройства, применяемые для электрогидравлического возбуждения сейсмических колебаний, имеют в качестве накопителей энергии конденсаторные батареи [1]. Основным недостатком конденсаторных батарей как источников импульсной энергии является малая энергоемкость конденсаторов на единицу объема, ограничивающая мощность автономных устройств. Последнее снижает эффективность электрогидравлического метода.

Ударный генератор, являющийся инерционным накопителем энергии, способен запастись энергией на единицу объема в десятки раз большую, чем конденсаторная батарея [2]. Выполнение ударного генератора высоковольтным, с напряжением, достаточным для пробоя межэлектродного промежутка, и с малым собственным сопротивлением обмотки статора (сопротивление обмотки статора является основным фактором, ограничивающим амплитуду импульса тока) достигается при больших габаритах и весе ударного генератора. В условиях полевой эксплуатации объем и вес установки жестко ограничен грузоподъемностью автотранспорта.

В процессе возникновения и горения дуги сопротивление дугового канала уменьшается от тысяч ом до долей ома [3].

Следовательно, при работе на горящую дугу целесообразно применять низковольтный ударный генератор, обмотка которого имеет значительно меньшее сопротивление по сравнению с высоковольтным ударным генератором, выполненном в тех же габаритах. Иницирование межэлектродного промежутка в воде может быть осуществлено напряжением вспомогательной высоковольтной обмотки, уложенной в пазы статора однофазного ударного генератора, свободные от основной низковольтной обмотки. Принципиальная электрическая схема включения обмоток ударного генератора на электрогидравлический излучатель (ЭГИ) представлена на рис. 1. Принцип работы устройства следующий.

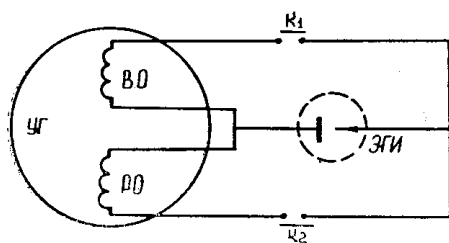


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема включения обмоток ударного генератора на ЭГИ

В исходном состоянии быстродействующие коммутирующие аппараты К-1 и К-2 разомкнуты. Генератор возбуждается, в обмотках генератора наводятся э. д. с. Шаг высоковольтной обмотки принят равным $1/3$ полюсного деления для более полного использования третьей, пятой и более высоких гармоник поля. Мгновенное значение э. д. с. ν -й гармоники определяется как

$$e_{\nu}(t) = 4lW_{\nu}K_{об\nu}f_{\nu}\tau_{\nu}B_{m\nu} \cdot \sin \nu \omega t, \quad (1)$$

где l — длина активной части статора;

W_{ν} — число витков высоковольтной обмотки;

$K_{об\nu}$ — обмоточный коэффициент ν -й гармонической;

f_{ν} — частота э. д. с. ν -й гармонической;

τ_{ν} — полюсное деление ν -й гармонической;

$B_{m\nu}$ — амплитудное значение ν -й гармонической индукции;

ω — угловая частота основной первой гармонической;

ν — порядок высшей гармонической;

t — текущее время.

Результирующая э. д. с. равна

$$e_{\Sigma}(t) = \sum_{\nu=1}^n e_{\nu}(t). \quad (2)$$

Амплитуда результирующей высоковольтной э. д. с. должна быть выше пробивного напряжения межэлектродного промежутка в воде. Для пробоя межэлектродных промежутков длиной 0,005—0,02 м пробивное напряжение не превышает 15 кВ [3]. В расчетах принимаем амплитуду высоковольтной э. д. с. равной 20 кВ.

При достижении э. д. с. на высоковольтной обмотке пробивного напряжения управляемый коммутирующий аппарат К-1 подключает ее к электродам электрогидравлического излучателя. Под действием приложенного напряжения промежуток пробивается и высоковольтная обмотка начинает питать плазменный шнур канала.

Процесс инициирования водного межэлектродного промежутка описывается нелинейным дифференциальным уравнением

$$E_{m\nu} \sin(\omega' t + \psi) = L \frac{di_{\nu}}{dt} + ri_{\nu} + R_d(t) i_{\nu}, \quad (3)$$

где L , r — индуктивность и активное сопротивление цепи высоковольтной обмотки ударного генератора, равные соответствующим параметрам обмотки генератора, подводящего кабеля и разрядника (коммутирующего аппарата К-1);

$R_d(t)$ — активное сопротивление межэлектродного водного промежутка;

i_{ν} — ток в цепи высоковольтной обмотки;

$E_{m\nu}$ — амплитуда результирующей э. д. с. высоковольтной обмотки;

ψ — угол включения э. д. с. высоковольтной обмотки;

ω' — эквивалентная круговая частота высоковольтной э. д. с.

Зависимости для расчета активного сопротивления межэлектродного водного промежутка $R_d(t)$ в лидерной и дуговой стадии разряда даны в [4]. Решение уравнения (3) приведено численными методами на ЦВМ БЭСМ-4.

В качестве примера на рис. 2 приведены кривые изменения э. д. с. высоковольтной обмотки, напряжения на дуге, тока в цепи, активного сопротивления канала дуги и введенной в дугу энергии в функции времени для варианта $l_0=0,02$ м, $L_{\nu}=0,01$ гн, $r_{\nu}=1$ ом. Для других параметров схемы кривые имеют идентичный характер. Результаты расчетов на ЦВМ обработаны и представлены в табл. 1—4. В таблицах представлены следующие параметры:

- L — полная индуктивность и активное сопротивление цепи высоковольтной обмотки;
 I_m — амплитуда импульса тока;
 $R_{д\ min}$ — минимальное сопротивление дугового канала;
 τ_v — длительность горения дуги;
 $W(\tau_v)$ — полная энергия, введенная в дуговой канал;
 $R_d(t_{вкл})$ — сопротивление дугового канала в предполагаемый момент включения низковольтной обмотки;
 $t_{вкл}$ — предполагаемый момент включения низковольтной обмотки коммутирующим аппаратом К-2 на инициированный межэлектродный промежуток.

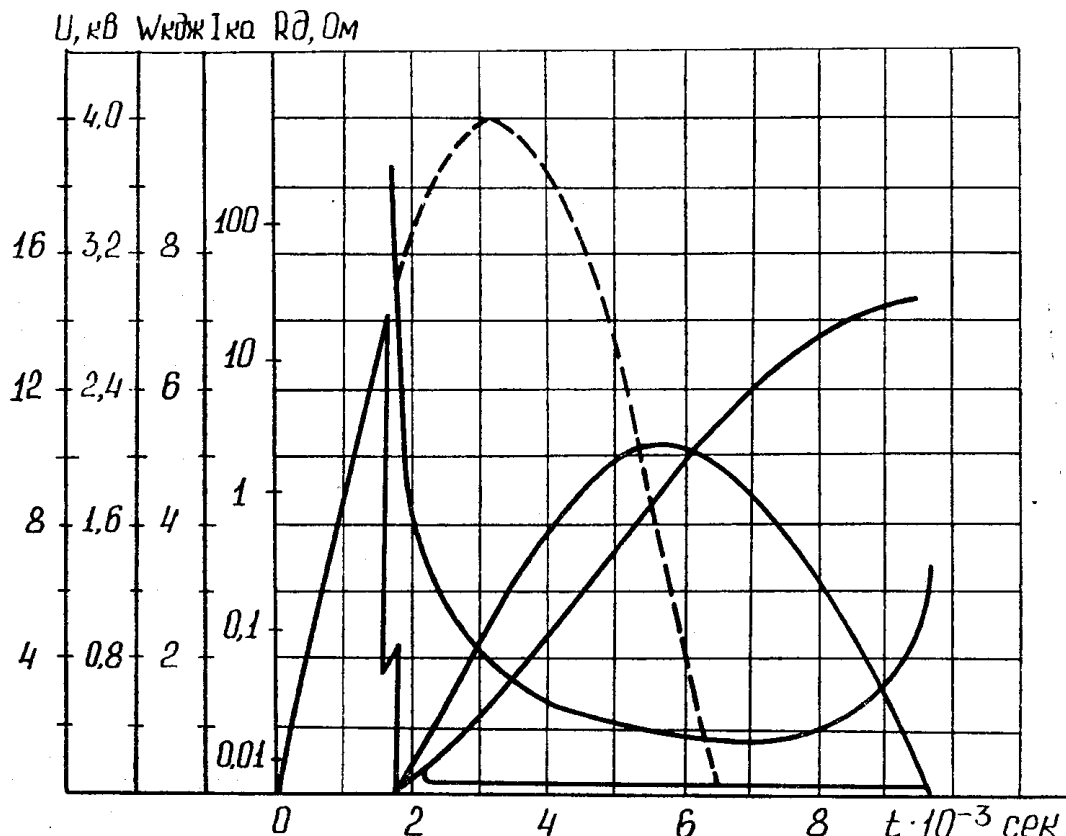


Рис. 2. Кривые изменения э. д. с. высоковольтной обмотки ударного генератора e_n , напряжения на дуге U_d , активного сопротивления канала дуги R и энергии, введенной в дугу $W(\tau_v)$

Таблица 1

Межэлектродный промежуток $l_0 = 0,005$ м

L_B гн	0,01	0,02	0,03	0,04	Примечание
Γ_B ом	1	1,5	1,75	2	$E_{mv} = 20$ кВ
$W(\tau_v)$ Дж	762	402	279	213	$\psi = 48^\circ$
I_m кА	5,2	2,8	1,9	1,5	$R_0 = 2$ ком
$\tau_v \cdot 10^{-3}$ сек	7,93	8,2	8,4	8,5	$f = 77$ гц
$R_{д\ min}$ ом	0,005	0,008	0,012	0,015	$l_0 = 0,005$ м
$R_d(t_{вкл})$ ом	0,016	0,033	0,05	0,063	$t_{вкл} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ сек
$R_{д\ ср}$ ом	0,024	0,046	0,074	0,069	

Т а б л и ц а 2

Межэлектродный промежуток $l_3=0,01$ м

L_B гн	0,01	0,02	0,03	0,04	Примечание
r_B ом	1	1,5	1,75	2	$E_{mv}=20$ кВ
$W(\tau_B)$ дж	1468	783	547	419	$\psi=48^\circ$
I_m ка	5,2	2,8	1,9	1,5	$R_0=2$ ком
$\tau_B \cdot 10^{-3}$ сек	7,8	8,25	8,35	8,5	$f=77$ гц
R_{dmin} ом	0,009	0,017	0,024	0,03	$l_3=0,01$ м
$R_d(t_{вкл})$ ом	0,055	0,065	0,09	0,125	$t_{вкл}=1,5 \cdot 10^{-3}$ сек
R_{dcp} ом	0,055	0,082	0,100	0,154	

Т а б л и ц а 3

Межэлектродный промежуток $l_3=0,015$ м

L_B гн	0,01	0,02	0,03	0,04	Примечание
r_B ом	1	1,5	1,75	2	$E_{mv}=20$ кВ
$W(\tau_B)$ дж	2168	1163	813	625	$\psi=48^\circ$
I_m ка	5,16	2,80	1,92	1,47	$R_0=2$ ком
$\tau_B \cdot 10^{-3}$ сек	7,9	8,0	8,1	8,55	$l_3=0,015$ м
R_{dmin} ом	0,014	0,025	0,036	0,047	$t_{вкл}=1,5 \cdot 10^{-3}$ сек
$R_d(t_{вкл})$ ом	0,05	0,1	0,13	0,17	$f=77$ гц
R_{dcp} ом	0,259	0,128	0,159	0,168	

Т а б л и ц а 4

Межэлектродный промежуток $l_3=0,02$ м

L_B гн	0,01	0,02	0,03	0,04	Примечание
r_B ом	1	1,5	1,75	2	$E_{mv}=20$ кВ
$W(\tau_B)$ дж	2863	1539	1077	828	$\psi=48^\circ$
I_m ка	5,147	2,749	1,914	1,467	$R_0=2000$ ом
$\tau_B \cdot 10^{-3}$ сек	7,9	8,15	8,45	8,55	$l_3=0,02$ м
R_{dmin} ом	0,018	0,034	0,048	0,062	$t_{вкл}=1,5 \cdot 10^{-3}$ сек
$R_d(t_{вкл})$ ом	0,07	0,125	0,185	0,24	$f=77$ гц
R_{dcp} ом	0,1055	0,143	0,169	0,181	

Обращают внимание близкие значения амплитуды тока в дуге при различных длинах межэлектродного промежутка для одних и тех же вариантов параметров цепи (L и r). Постоянство I_m определяется большим значением собственного сопротивления высоковольтной обмотки по сравнению с сопротивлением дугового канала.

Варьирование параметрами цепи высоковольтной обмотки при постоянном межэлектродном промежутке показывает, что амплитуда тока и энергия, вводимая в дуговой канал, возрастают при уменьшении активного и индуктивного сопротивления цепи высоковольтной обмотки. В соответствии с этим, при меньших L_B , r_B получаем меньшие значения активного сопротивления канала дуги. Следует отметить длительное горение дуги (исчисляемое миллисекундами), что способствует уверенному перехвату дуги рабочей низковольтной обмоткой ударного генератора.

Длительное поддержание горения дуги в межэлектродном промежутке высоковольтной обмоткой является большим преимуществом рассматриваемого способа инициирования дуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Мазов, В. М. Веревкин, В. В. Алексеев. Возбуждение упругих волн в грунте с помощью электрических разрядов в жидкой среде. Вопросы разведочной геофизики. Вып. 4, «Недра», 1964.
 2. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. Удельная энергия ударного генератора. Известия ТПИ, т. 132, изд. ТГУ, Томск, 1965.
 3. К. А. Наугольных, Н. А. Рой. Электрические разряды в воде. М., «Наука», 1971.
 4. Б. А. Франковский, К. А. Хорьков, Ю. Г. Шмигирилов. Исследование инициирования дуги в межэлектродном промежутке в воде разрядом высоковольтной конденсаторной батареи при питании дуги низковольтным ударным генератором. Известия ТПИ. Настоящий сборник.
-