

УДК 621.135

ОПАСНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Погодина М. А., Осипчик А. В

Научный руководитель Счастливая Е.С., старший преподаватель

В нормальном режиме работы векторы напряжения на проводах трехфазной высоковольтной линии (ВЛ) образуют симметричную трехфазную звезду. Электрические поля, создаваемые в окружающем пространстве напряжениями прямой последовательности, почти полностью взаимно компенсируются, подобно магнитным полям от токов прямой последовательности.

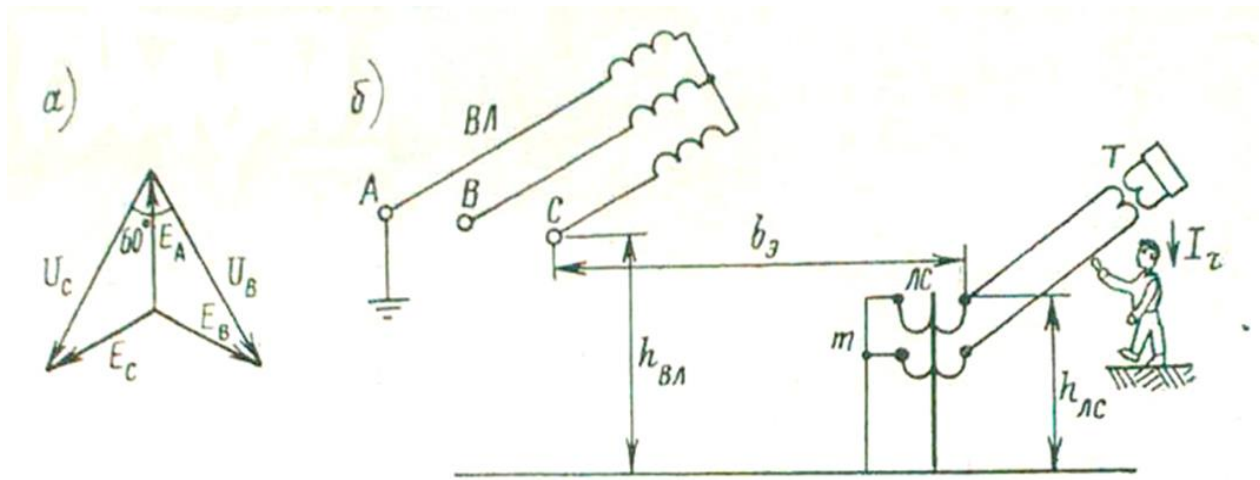


Рисунок 1. К расчету тока, протекающего через человека, при опасном электрическом влиянии ВЛ на ЛС: *a* — векторная диаграмма напряжений; *b* — схема сближения

При однофазном коротком замыкании в сети с заземленной нейтралью определяющее значение имеет опасное магнитное влияние токов нулевой последовательности.

Рассмотрим далее случай однофазного замыкания на землю ВЛ, работающей в сети с изолированной нейтралью. При этом ток нулевой последовательности ограничен большим емкостным сопротивлением сети и в большинстве случаев можно пренебречь магнитным влиянием. Однако, если вблизи ВЛ проходит воздушная ЛС и на ней имеются изолированные от земли двухпроводные цепи, то на них может возникнуть опасное индуктированное напряжение (рис. 1). При замыкании на землю фазы А, на фазах В и С сети с изолированной нейтралью действуют линейные напряжения, сдвинутые на 60° . Соответствующее напряжение нулевой последовательности равно

$$U_0 = \frac{U_B + U_C}{3}; \quad |U_0| = U_{л}/\sqrt{3} \approx U_{\phi}$$

Ток, протекающий через человека, коснувшегося изолированного провода ЛС, зависит от U_0 , взаимной емкости между проводами ВЛ и ЛС и от экранирующего эффекта других заземленных проводов. Когда этот ток превышает 1 мА, человек испытывает неприятные ощущения. Если же ток достигает десятков миллиампер, то при неблагоприятных обстоятельствах руки человека начинают конвульсивно сжиматься, и он не в состоянии самостоятельно оторваться от провода. Токи свыше 100 мА,

протекающие через человека более 3 с, могут привести к смертельному исходу. Правила защиты ограничивают величину допустимого тока

$$I_{\text{доп}} \leq 10 \text{ мА.}$$

Ток, протекающий через человека, можно приближенно вычислить по следующей формуле:

$$I_{\text{ч}} \approx 2,83 U_{\text{л}} \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{m_i + 2} \frac{h_{\text{вл}} h_{\text{лс}} k_{\text{вл}} k_{\text{д}}}{b_{\text{э}i}^2 + h_{\text{вл}}^2 + h_{\text{лс}}^2} \leq I_{\text{доп}},$$

где $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение ВЛ, кВ; $I_{\text{ч}}$ — ток через человека, мА; $l_i, b_{\text{э}i}, m_i$ — длина, ширина i -го эквивалентного параллельного участка сближения в метрах и число заземленных проводов ЛС на этом участке; $k_{\text{вл}} \approx 0,7$ — коэффициент экранирования от заземленных проводов ВЛ; $k_{\text{д}} \approx 0,7$ — коэффициент экранирования сплошного ряда деревьев.

Если $I_{\text{ч}}$ оказалось больше допустимого, необходимо заземлить среднюю точку линейного трансформатора Т на ЛС или принять другие меры, снижающие ток $I_{\text{ч}}$ (см. рис. 1).

С аналогичным явлением приходится считаться при прикосновении человека к транспорту, находящемуся под проводами ВЛ сверхвысокого (330...750 кВ) и ультравысокого (1150 кВ и выше) напряжения (рис. 2).

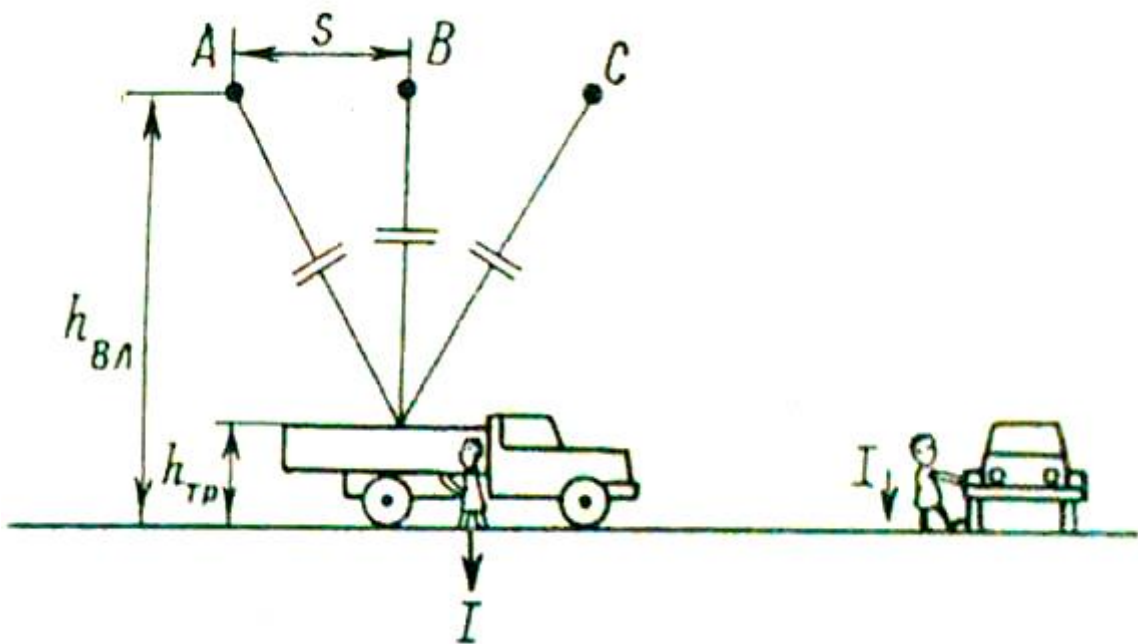


Рисунок 2. К расчету тока, протекающего через человека, при опасном электрическом влиянии ВЛ на транспорт

Транспортные средства на резиновом ходу сравнительно хорошо изолированы от земли. Через человека, стоящего на земле и коснувшегося корпуса крупногабаритного транспорта, будет протекать суммарный емкостный ток, обусловленный напряжениями всех трех фаз ВЛ. При нахождении транспорта под проводами ВЛ СВН или УВН этот ток может вызывать неприятные ощущения у людей, а также затруднять

сельскохозяйственные работы на участках, расположенных под линией, даже в нормальном режиме работы ВЛ.

Оценим величину тока, проходящего через человека, коснувшегося корпуса автомашины, которая находится непосредственно под проводами ВЛ. Принимаем, что эти провода расположены, в одной горизонтальной плоскости на высоте $h_{\text{ВЛ}}$ над поверхностью земли (см. рис. 2). В наиболее неблагоприятном случае, если машина находится под средним проводом ВЛ, вертикальная составляющая напряженности электрического поля у поверхности земли (при $h_{\text{тр}} \leq 0,2h_{\text{ВЛ}}$) в первом приближении равна

$$E_3 \approx \frac{U_{\text{л}} s^2}{2h(h^2 + s^2) \lg \frac{2hs}{r_3 \sqrt{h^2 + s^2}}},$$

где $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение электропередачи;
 $r_3 = r_{\text{п}} \sqrt{\frac{nr_{\text{п}}}{r_{\text{п}}}}$ — эквивалентный радиус расщепленной фазы; $r_{\text{п}}$ — радиус окружности, по которой расположены провода расщепленной фазы; $r_{\text{п}}, n$ — радиусы и число проводов в фазе.

Для ВЛ СВН, у которых $h_{\text{ВЛ}} \leq s$, погрешность расчетов не превышает 5%. В качестве примера определим E_3 в середине пролета линии 750 кВ, имеющей $h_{\text{ВЛ}} = 13$ м, $s = 18$ м, провод 4×АСО — 600/60 ($r_{\text{п}} = 17$ мм, $r_{\text{п}} = 430$ мм, $n=4$, $r_3 = 270$ мм):

$$E_3 = \frac{750 \cdot 18^2}{2 \cdot 13(13^2 + 18^2) \lg \frac{2 \cdot 13 \cdot 18}{0,27 \sqrt{13^2 + 18^2}}} \approx 10 \text{ кВ/м.}$$

В первом приближении считаем, что у земли в пределах транспортного средства $E_3 = \text{const}$. Изолированный от земли металлический корпус машины под действием электрического поля приобретает напряжение по отношению к земле

$$U_{\text{тр}} \approx E_3 h_{\text{тр}} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кВ,}$$

где $h_{\text{тр}} \approx 1$ м — средняя высота машины.

Если человек, стоя на земле, прикоснется к корпусу машины, то через него на землю пройдет кратковременный импульс разрядного тока емкости машины. Суммарный заряд этой емкости составляет несколько микрокулон. Поэтому такое прикосновение не представляет непосредственной опасности для жизни человека, однако вызывает неприятное ощущение внезапного укола. Если он отдернет руку и затем снова дотронется до машины, это явление повторится. В случае тесного контакта человека с машиной на резиновом ходу и с землей через него будет протекать установившийся ток

$$I_{\text{ч}} \approx \omega \varepsilon_0 S E_3 \approx 0,4 \text{ мА,}$$

где $S \approx 3 \times 4$ м — площадь транспортного средства в плане. В связи с этим не рекомендуются остановки транспорта на резиновом ходу под проводами ВЛ 750 кВ и выше, а для сельскохозяйственных работ вблизи таких линий желательно использовать машины на гусеничном ходу.

Литература:

1. Школа для электрика, <http://electricalschool.info/>, <http://electricalschool.info/main/vl/897-jekologicheskoe-vlijanie-vozdushnykh.html>
2. РОСЭНЕРГОСЕРВИС, <http://rosenergосervis.ru/>,
<http://lib.rosenergосervis.ru/elektromagnitnaya-sovmestimost-v-elektroenergetike?start=90>
3. Портал нормативных документов, <http://www.iso.opengost.runiso.opengost.ru/> ,
<http://www.iso.opengost.runiso.opengost.ru/iso/11030-chast-4.-zaschita-ustanovok-svyazi-ot-opasnyh-napryazheniy-i-tokov-voznikayuschih-na-vozdushnyh-liniyah-svyazi.html>