

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. М. КАРАПЕТЯН

К ВОПРОСУ ОБ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ  
 В ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ АГРЕГАТАХ

Широкое развитие передвижных электрифицированных агрегатов (ПЭА), применяемых в торфяной промышленности, в сельском хозяйстве, строительстве и т. п., ставит, особенно остро, обеспеченность безопасностью и безаварийной работы электрооборудования указанных агрегатов.

Передвижные электрифицированные агрегаты питаются через понижительные подстанции от линии передачи 6—10 кВ. При этом подвижные машины питаются от понижительной подстанции через неэкранированный шланговый кабель [1, 2].

Многолетний опыт показывает, что эти агрегаты в процессе эксплуатации подвергаются воздействию атмосферных перенапряжений, вследствие чего имеют место повреждения и выход из строя электрооборудования. В связи с этим величина перенапряжения в указанных установках приобретает важное значение.

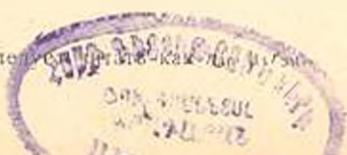
При грозных разрядах в линии электропередачи 6—10 кВ, после срабатывания защитных аппаратов, установленных на стороне высокого напряжения, защитные аппараты низковольтной стороны подстанции срабатывают вследствие подпора напряжения на корпусе подстанции (рис. 1)\*. При этом максимальная величина потенциала на корпусе подстанции определяется согласно рис. 2.

$$u_{\text{кп}} = \frac{2 u_{\text{д. мин}} \cdot z}{z + z_c} \quad (1)$$

где:  $z = \frac{z_c \cdot z_{\text{ш}} \cdot r_{\text{зп}}}{z_c \cdot r_{\text{ш}} + z_c \cdot z_{\text{ш}} + z_{\text{ш}} \cdot r_{\text{зп}}}$  — эквивалентное расчетное сопротивление заземленной подстанции;  $z_c = 230 \text{ Ом}$  — волновое сопротивление системы трех проводов ЛЭП 6—10 кВ,  $z_{\text{ш}} = 100 - 150 \text{ Ом}$  — волновое сопротивление неэкранированного шлангового кабеля [2],  $r_{\text{зп}} = 10 \text{ Ом}$  — принятая величина импульсного сопротивления заземления подстанции;  $u_{\text{д. мин}} = 1100 \text{ кВ}$  — принятое минимальное разрядное напряжение изоляции ЛЭП 6—10 кВ.

При приведенных значениях  $u_{\text{д. мин}}$ ,  $z$  и  $z_c$  получим  $u_{\text{кп}} = 80,5 - 90,3 \text{ кВ}$ . Волна напряжения такой сравнительно большой величины распространяется по кабелю до двигателя, где часть волны отражается, а часть преломляется.

\* Далее во всех рисунках  $R_{\text{ш}}$  и  $R_{\text{дм}}$  следовало бы писать как  $R_{\text{ш}}(z)$  и  $R_{\text{дм}}(z)$ .



В настоящей работе приводятся расчет и экспериментальные данные перенапряжения в подвижной машине при заданной проходящей волне и заданных  $z$ ,  $z_0$  и  $z_1$  для различных величин сопротивления заземления подвижной машины ( $r_{3M}$ ).

При определении величины опасных перенапряжений в шланговом кабеле и двигателе подвижной машины (ПЭА), рассматриваются при трех условиях работы кабеля (рис. 3). Для упрощения принимаем, что к кабелю подключен один двигатель без учета его входной емкости. Рассмотрим волновой процесс для трех условий работы кабеля.

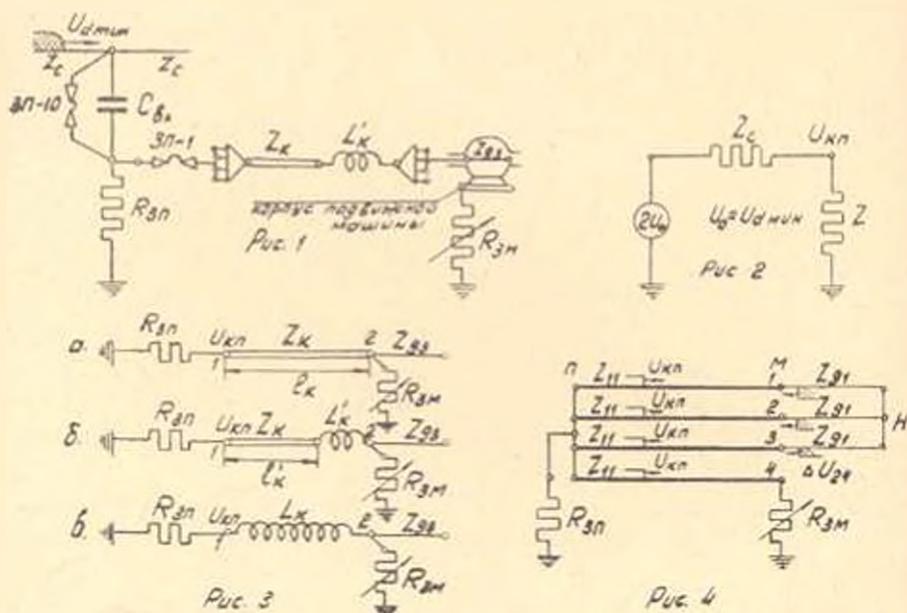


Рис. 1. Эквивалентная схема размещения передвижного электрифицированного агрегата. Рис. 2. Расчетная схема для определения потенциала на корпусе подстанции. Рис. 3. Принципиальная расчетная схема определения перенапряжения в ПЭА для трех условий работы кабеля.

Рис. 4. Расчетная схема для определения перенапряжения в подвижной машине.

1. Кабель разматан и по всей длине лежит на земле. — Первоначально рассмотрим волновой процесс и перенапряжения в подвижной машине при отсутствии отражения и преломления волн от заземления подстанции и нейтрали двигателя  $\frac{2l_1}{V_1} > t < \frac{2l_2}{V_2}$ , где:  $V_1$  и  $V_2$  — скорости распространения электромагнитной волны по кабелю и по обмотке двигателя,  $l_1$  и  $l_2$  — длины кабеля и обмотки двигателя.

В расчетах, согласно рис. 3а, принимаем, что от точки II по кабелю и подвижной машине распространяется прямоугольная беско-

нечная волна  $u_{кп}$ . Затухание волн в кабеле и в обмотке двигателя пока не учитывается.

Рассмотрим случай, когда в конце трех жил кабеля с волновыми сопротивлениями  $z_{11} = z_{22} = z_{33}$  подключены три фазы обмотки двигателя с полным сопротивлением  $z_{21}$ . В конце четвертой „нулевой“ жилы кабеля с волновым сопротивлением  $z_{44} = z_{11}$  подключено сопротивление  $r_{2м}$  (рис. 4).

Определим величины напряжения в точках 1, 2, 3 и 4, составляя систему уравнений для падающих и отраженных волн:

$$\left. \begin{aligned} u_{кп} &= u_1^I = u_2^I = u_3^I = i_1^I(z_{11} + 2z_{12}) + i_4^I z_{11} \\ u_{кп} &= u_4 = 3i_1^I z_{12} + i_4^I z_{11} \\ -u_1^{II} &= -u_2^{II} = -u_3^{II} = i_1^{II}(z_{11} + 2z_{12}) + i_4^{II} z_{11} \\ -u_4^{II} &= 3i_1^{II} z_{12} + i_4^{II} z_{11} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В уравнениях (2) принято, что взаимные волновые сопротивления между жилами кабеля одинаковы  $z_{12} = z_{13} = z_{23}$  и т. д. Известно, что  $i_2 = i_1^I + i_1^{II}$ ;  $u_4 = u_4^I + u_4^{II}$ ;  $i_1 = i_1^I + i_1^{II}$ ;  $i_4 = i_4^I + i_4^{II}$ . Кроме того имеем граничные условия на выводах двигателя М (рис. 4).

$$\left. \begin{aligned} u_2 - u_4 &= i_2 \cdot z_{21} \\ u_4 &= i_4 \cdot r_{2м} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решая уравнения (2 и 3), получим выражения:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= 2u_{кп} \frac{(z_{11} - z_{12})z_{21} + (z_{21} + z_{31} - z_{12})r_{2м}}{(z_{11} + z_{11})(z_{11} + r_{2м}) - z_{12}(r_{2м} - 3z_{12} - 2z_{11})} \\ u_4 &= 2u_{кп} \frac{(z_{21} + z_{31} - z_{12})r_{2м}}{(z_{11} + z_{11})(z_{11} + r_{2м}) - z_{12}(r_{2м} - 3z_{12} - 2z_{11})} \\ \Delta u_{24} &= u_2 - u_4 = 2u_{кп} \frac{(z_{11} - z_{12})z_{21}}{(z_{11} + z_{11})(z_{11} + r_{2м}) - z_{12}(r_{2м} - 3z_{12} - 2z_{11})} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Так как волновые сопротивления всех трех фазовых обмоток двигателя одинаковы и кроме того, принимая одинаковыми частичные волновые сопротивления всех жил кабеля, будем иметь напряжения  $u_1 = u_2 = u_3$ .

Из уравнения (4) видно, что перенапряжение  $\Delta u_{24}$ , действующее на изоляцию обмотки двигателя, имеет максимальное значение при  $r_{2м} = 0$ ;  $\Delta u_{24} = 2u_{кп} \frac{(z_{11} - z_{12})z_{21}}{z_{11}(z_{11} - z_{11}) - z_{12}(3z_{12} + z_{11})}$ ; при  $r_{2м} = \infty$ ;  $\Delta u_{24} = 0$ .

Рассмотрим волновой процесс с учетом многократного отражения волн  $\left(\frac{I_0}{V_k} < 1 > \frac{I_0}{V_k}\right)$ . Из уравнения (4) найдем эквивалентные коэффициенты отражения  $\beta_2$  между „рабочей“ жилой кабеля и одной

фазовой обмоткой двигателя и  $\beta_4$  между „нулевой“ жилой кабеля и сопротивлением  $r_{3n}$

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 &= 2 \frac{(z_{11} - z_{12})z_{21} + (z_{21} + z_{11} - z_{12})r_{3n}}{(z_{11} + z_{21})(z_{11} + r_{3n}) - z_{12}(r_{3n} - 3z_{12} - 2z_{11})} - 1 \\ \beta_4 &= 2 \frac{(z_{21} + z_{11} - z_{12})r_{3n}}{(z_{11} + z_{21})(z_{11} + r_{3n}) - z_{12}(r_{3n} - 3z_{12} - 2z_{11})} - 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Таким образом, при  $t=0$  от точек 2 и 4 имеем первые отраженные волны напряжения соответственно равные  $u_2^I = \beta_2 \cdot u_{3n}^I$ ;  $u_4^I = \beta_4 \cdot u_{3n}^I$ . Эти волны при  $T_n = \frac{l_n}{V_n}$  отражаются от сопротивления  $r_{3n}$  и определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} u_2^{II} &= \frac{u_2^I(2r_{3n} - z_{11} - 3z_{12}) + 2r_{3n} \cdot u_4^I}{4r_{3n} + z_{11} + 3z_{12}} \\ u_4^{II} &= \frac{6r_{3n} u_2^I - (2z_{11} + z_{11} - 3z_{12}) u_4^I}{4r_{3n} + z_{11} + 3z_{12}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Выражения (6) получены аналогично выражения (4). При времени  $t = 2T_n$  волны напряжений  $u_2^{III}$  и  $u_4^{III}$  в точках 2 и 4 снова отражаются с соответствующими значениями, определяемыми уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} u_2^{IV} &= \frac{2u_2^{III}(z_{11} + 2z_{12})r_{3n} - z_{12}z_{21} | - u_4^{III}[(z_{11} - z_{12})(z_{11} + 3z_{12}) - r_{3n}(z_{11} + 5z_{12} - z_{21}) - z_{12}z_{21}]}{(z_{11} + z_{21})(z_{11} + r_{3n}) - z_{12}(r_{3n} - 3z_{12} - 2z_{11})} \\ u_4^{IV} &= \frac{u_2^{III}[r_{3n}(z_{11} + 5z_{12} + z_{21}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + 3z_{12}) - z_{12}z_{21}] + 6u_4^{III}z_{12}r_{3n}}{(z_{11} + z_{21})(z_{11} + r_{3n}) - z_{12}(r_{3n} - 3z_{12} - 2z_{11})} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

полученными аналогично (4).

В дальнейшем процесс отражения в узле П и на выводах М соответственно повторяются через каждый промежуток времени  $\Delta t = T_n$ .

В виду того, что нейтраль двигателя практически изолирована, рассмотрение процесса многократных отражений производится с учетом этого обстоятельства. При времени  $t = 2T_n$  со стороны изолированной нейтрали двигателя к точке 2 возвращается волна  $\Delta u_{23} = \Delta u_{24}$ , которая преломляется; при этом

$$\Delta u_{24np} = -\Delta \beta_2 \cdot \Delta u_{24} \quad (8)$$

где:  $\Delta \beta_2 = \frac{2z'_{21}}{z'_{21} + z_{21}}$  — эквивалентный коэффициент преломления,  $z'_{21}$  — волновое сопротивление одной „рабочей“ жилы кабеля (для волны приходящей со стороны нейтрали двигателя), когда четвертая жила

заземлена через сопротивление  $r_{\text{зм}}$ ;  $z_{\text{к1}}^f = z_{11} + 2z_{12} - \frac{3z_{12}^2}{z_{11} + r_{\text{зм}}}$  (рис. 4).

В момент времени  $t = 4T_1$  в точке 2 имеется преломленная волна  $\Delta u_{21}^1 \text{ пр} = \Delta \beta_2 \Delta z_2 \Delta u_{21}$ ; где  $\Delta \beta_2 = \Delta z_2 - 1$ . В дальнейшем, в точке 2, этот процесс повторяется через каждый промежуток времени  $\Delta t = 2T_1$ , поскольку преломленные волны  $\Delta u_{21}^n \text{ пр}$ , распространяясь по кабелю доходят до заземления подстанции  $r_{\text{зм}}$ , где соответственно отражаются.

Для получения максимального значения перенапряжения в начале обмотки и на корпусе двигателя следовало бы учесть достаточно большое число отражений и преломлений. Целесообразность такого рассмотрения целиком зависит от значений отраженных волн на выводах двигателя  $M$  и в нейтрали двигателя  $N$ . Кроме того, при данном рассмотрении полностью игнорируется затухание и деформация волн в кабеле и в обмотке двигателя, существенно снижающие величину перенапряжения [2, 3, 8].

При учете значения коэффициентов  $\Delta z_2$  (8) и  $\gamma_{21}$  ( $\gamma_{21}$  — коэффициент затухания волн в обмотке двигателя), оказывается, что влияние преломленной волны  $\Delta u_{21}^n \text{ пр}$  на величину перенапряжения в начале обмотки двигателя получается максимальным при  $t = 2T_1$  и доходит до значения  $(0,7-2,2) \cdot 10^6$  от  $u_{\text{нп}}$ ; в момент времени  $t = 4T_1$  преломленная волна уменьшается и меняет знак ( $\Delta z_2 < 1$ ;  $\Delta \beta_2 < 0$ ). В дальнейшем влияние  $\Delta u_{21}^n \text{ пр}$  еще больше уменьшается.

Учитывая вышесказанное в расчетах перенапряжения в подвижной машине с учетом многократных отражений, влиянием преломленной волны  $\Delta u_{21}^n \text{ пр}$  пренебрегаем.

Таким образом, при учете затухания волн в кабеле выражения  $u_2(t)$  и  $u_4(t)$  примут вид:

$$\left. \begin{aligned} u_2(t) &= \gamma_{21} (1 - \beta_2) u_{\text{нп}} + \gamma_{21}^2 (u_2^{\text{III}} + u_2^{\text{IV}})(t - 2T_k) + \gamma_{21}^5 (u_2^{\text{V}} + \\ &\quad + u_2^{\text{VI}})(t - 4T_k) + \dots \\ u_4(t) &= \gamma_{21} (1 + \beta_2) u_{\text{нп}} + \gamma_{21}^2 (u_4^{\text{III}} - u_4^{\text{IV}})(t - 2T_k) + \gamma_{21}^5 (u_4^{\text{V}} + \\ &\quad + u_4^{\text{VI}})(t - 4T_k) + \dots \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

При практических расчетах и графических построениях следует учесть деформацию фронта волны для данного кабеля за каждый промежуток времени  $2T_k$ . С этой целью вводится в рассмотрение коэффициент  $K_k = \frac{t_{\text{ф}}}{t_{\text{фк}}}$  — представляющий собой отношение длин фронта волны в начале и в конце кабеля. Следует отметить, что в случае, когда  $2T_k = t_{\text{ф}}$  или близко к нему, влияние многократного отражения максимальное. Ясно, что при данной волне (когда  $2T_k > t_{\text{ф}}$ ) с увеличением длины кабеля влияние многократных отражений уменьшается (отражение происходит на спадающем хвосте волны). Например, при коротких волнах, где  $t_{\text{к}} < 2T_k$  ( $t_{\text{к}}$  — длина волны) влиянием

многократного отражения можно пренебречь. Следует отметить также, что в зависимости от величины сопротивления  $r_{3m}$  знак отраженной волны в подвижной машине может меняться. Отсюда ясно, что в зависимости от параметров волны, длины кабеля и сопротивления  $r_{3m}$  влияние многократных отражений будет различно.

При учете затухания волн в обмотке двигателя, выражение для напряжения в его нейтрали примет вид:

$$u_3(t) = u_3(t) + 2\gamma_{13} \cdot \Delta u_{24} |t - \gamma_{11} \cdot \Delta \theta_2 (t - 2T_1) + \gamma_{11}' \cdot \Delta \theta_2^2 (t - 4T_1) + \dots | \quad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что максимальное значение напряжения практически будет определяться первыми двумя членами. Напряжение, воздействующее на изоляцию между нейтралью обмотки и корпусом двигателя  $\Delta u_{34}(t) = u_3(t) - u_4(t)$ . В случае кабеля на 3,0 кв (который имеет по три „рабочих“ и „нулевых“ жилы) определение величины напряжения волн при многократных отражениях производится аналогично случаю для кабеля на 1,0 кв. Ниже приводятся выражения для этих волн.

$$\begin{aligned} u_1^I &= u_{30} \frac{(z_{21} - z_{12})(z_{21} + 3r_{3m} - z_{11} - 5z_{12}) - 3z_{21}(r_{3m} - z_{12})}{(z_{21} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12}) + (z_{21} - 2z_{12})(3r_{3m} + z_{11}) + 3r_{3m}(z_{21} - 3z_{12})} \\ u_4^I &= u_{30} \frac{(z_{11} - z_{12})(3r_{3m} - z_{11} - 5z_{12}) + z_{21}(3r_{3m} - z_{11} - 2z_{12})}{(z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12}) - (z_{11} + 2z_{12})(3z_{1m} - z_{21}) + 3z_{3m}(z_{21} - 3z_{12})} \\ u_1^{II} &= \frac{6u_1^{III} r_{3m} - u_4^{II}(z_{11} + 5z_{12})}{z_{21} + 5z_{12} + 6r_{3m}} \\ u_4^{II} &= \frac{6u_1^{III} r_{3m} - u_4^{II}(z_{11} + 5z_{12})}{z_{21} + 5z_{12} + 6r_{3m}} \\ u_1^{IV} &= \frac{u_1^{III} [(z_{21} - z_{12})(z_{21} + 5z_{12}) + 3r_{3m}(z_{21} + 5z_{12} - z_{21})]}{3r_{3m}(3z_{12} - z_{21}) - (z_{11} - 2z_{12})(3r_{3m} + z_{21}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12})} \\ &\quad - \frac{u_4^{III} (z_{11} + 2z_{12})z_{21} - u_4^{III} [6z_{12}z_{21} - 6r_{3m}(z_{11} + 2z_{12})]}{3r_{3m}(3z_{12} - z_{21}) - (z_{11} - 2z_{12})(3r_{3m} + z_{21}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12})} \\ u_4^{IV} &= \frac{u_1^{III} [z_{21}(z_{21} - 2z_{12} - 3r_{3m}) + z_{11} + 5z_{12}](z_{11} - z_{12}) - 3r_{3m}}{3r_{3m}(3z_{12} - z_{21}) - (z_{11} + 2z_{12})(3r_{3m} + z_{21}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12})} \\ &\quad - \frac{18u_1^{III} r_{3m} z_{12}}{3r_{3m}(3z_{12} - z_{21}) - (z_{11} + 2z_{12})(3r_{3m} + z_{21}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12})} \end{aligned} \quad (11)$$

Выражение эквивалентного волнового сопротивления одной „рабочей“ жилы кабеля, когда нулевые жилы заземлены через  $r_{3m}$ , будет,

$$z_{21} = z_{11} + 2z_{12} - \frac{9z_{12}^2}{z_{11} + 2z_{12} + 3r_{3m}} \quad (12)$$

*Волновые процессы в подвижной машине при частичной и полной намотке кабеля на барабан.* — При рассмотрении волнового про-

цесса кабельный барабан представляется сложной схемой замещения, наподобие схемы замещения силового трансформатора [5]

Как показали экспериментальные исследования, в наших условиях, кабель, намотанный на барабан можно рассматривать в основном как сосредоточенную индуктивность  $L_k$  [3]. При этом разность напряжения между жилами на конце кабеля определяется электрической связью между „рабочей“ и „нулевой“ жилами при соответственном числе витков и сопротивлении  $r_{\text{лн}}$ .

Определение этой связи сводилось, грубо говоря, к определению некоторого коэффициента связи, которое производилось опытным путем на макете кабельного барабана [3]. Волна напряжения подавалась к началу кабеля, а в конце кабеля измерялось напряжение в „рабочей“ и „нулевой“ жилах, заземленных через  $r_{\text{лн}} = 203 \text{ ом}$  и  $r_{\text{лн}} = 0$ . Опыты производились при различном числе витков кабеля на барабане.

Как показали опыты, благодаря большой электрической связи между жилами кабеля, напряжения на последних в основном определяются величиной сопротивления  $r_{\text{лн}}$ , с уменьшением которого напряжения на концах жил кабеля уменьшаются. Величина разности напряжений между жилами при заданной проходящей волне и сопротивлении  $r_{\text{лн}}$  уменьшается с увеличением числа витков и при небольшом числе витков ( $n=96$ ) может быть практически принята равной нулю.

При расчетах принимаем, что напряжения в начале обмотки двигателя и на его корпусе одинаковы.

Это допущение ведет к некоторому увеличению расчетного напряжения  $u_4$  на корпусе двигателя, что дает некоторый запас при разработке схемы грозозащиты.

а) *Кабель частично разматан с барабана и лежит на земле* (рис. 36). Принимаем, что время двойного пробега волны вдоль разматанной части кабеля больше, или имеет такой же порядок как и длина фронта волны. При расчетах индуктивность  $L_k$  предполагается сосредоточенной в одной точке, причем она не обладает ни емкостью ( $C_k = 0$ ), ни сопротивлением ( $r = 0$ ).

В частном случае, когда по кабелю распространяется прямоугольная бесконечная волна  $u_{\text{кп}}$ , согласно рис. 36, можно написать выражения для отраженной ( $u_{\text{отр}}$ ) и преломленной ( $u_{\text{пр}}$ ) волны в виде [6]

$$\left. \begin{aligned} u_{\text{отр}} &= u_{\text{кп}} - u_{\text{кп}} \frac{2z_k}{r_{\text{лн}} + z_k} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \\ u_{\text{пр}} &= u_2 = u_{\text{кп}} \cdot \frac{2r_{\text{лн}}}{z_k + r_{\text{лн}}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$\tau = \frac{L_k}{z_k + r_{\text{лн}}}$  — постоянная времени цепи

Из выражения (13) видно, что коэффициент отражения меняется во времени. В момент времени ( $t=0$ )  $\beta=1$ ,  $u_{отр} = u_{кн}$ , т. е. перед кабельным барабаном напряжение удваивается. Таким образом, вследствие наличия индуктивности  $L_{кн}^1$  изоляция на границе между разомкнутой и намотанной частями кабеля будет подвергаться воздействию двойного напряжения падающей волны ( $2 u_{кн}$ ). Эта величина напряжения может оказаться самой опасной для изоляции кабеля.

Выражение (13) показывает, что на величину максимальной крутизны волны при  $t=0$ ;  $\left(\frac{du_{кн}}{dt}\right)_{макс}$  —  $\frac{2u_{кн} \cdot r_{эм}}{L_{кн}^1}$  влияют, кроме амплитуды падающей волны  $u_{кн}$ , также величины  $L_{кн}^1$  и  $r_{эм}$ . Следует отметить, что максимальная крутизна не зависит от волнового сопротивления  $z_k$  кабеля.

Распространяющаяся по кабелю волна, имеющая характер апериодических импульсов, выражается уравнением:  $u_{кн} = u_0 \left( e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right)$ ,

где:  $T_1$  и  $T_2$  — постоянные времени, характеризующие соответственно длину фронта ( $t_f$ ) и длину хвоста ( $t_b$ ) волны.

Для определения напряжения  $u_2(t)$  на сопротивлении  $r_{эм}$  (рис. 36) воспользуемся интегралом Дюамеля [9]:

$$\left. \begin{aligned} i(t) &= u_{кн}(0) \cdot y(t) + \int_{x=0}^{x=t} y(t-x) \cdot u_{кн}(x) dx, \\ u_2(t) &= i(t) \cdot r_{эм}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решая уравнения (14), получим:

$$u_2(t) = \frac{2u_0 r_{эм}}{z_k + r_{эм}} \left[ \frac{1}{T_1 - \tau_1} \left( T_1 e^{-\frac{t}{T_1}} - \tau_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) - \frac{1}{T_2 - \tau_1} \left( T_2 e^{-\frac{t}{T_2}} - \tau_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \right] \quad (15)$$

Отсюда следует, что при  $t=0$ ,  $\frac{du_2(t)}{dt} = 0$ , поэтому в начале процесса скорость подъема волны напряжения за кабельным барабаном (на  $r_{эм}$ ) очень мала. В дальнейшем эта скорость возрастает и достигает максимума, после чего спадает.

Крутизна преломленной волны  $u_2(t)$  определяется выражением

$$\frac{du_2}{dt} = \frac{2u_0 r_{эм}}{z_k + r_{эм}} \left[ \frac{1}{T_1 - \tau_1} \left( e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) - \frac{1}{T_2 - \tau_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \right] \quad (16)$$

Из (15 и 16) нетрудно убедиться, что величина амплитуды и крутизна преломленной волны  $u_2(t)$  определяются величинами  $L_k^1$ ,  $\tau_1$  и  $r_{\text{ин}}$ . Максимальная крутизна при пологой форме волны будет меньше, чем при волне с отвесным фронтом.

В случае частичной намотки кабеля учет влияния многократных отражений на величину  $u_2(t)$  не производится, так как это влияние практически незначительно.

б) Кабель по всей длине намотан на барабан (рис. 3в). — В расчете принимается, что кабельный барабан обладает только индуктивностью  $L_k$ , через которую распространяется волна напряжения

$u_{\text{ка}} = u_0 \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right)$ . Пользуясь интегралом Дюамеля, определим выражение для  $u_2(t)$ :

$$u_2(t) = u_0 \left[ \frac{1}{T_1 - \tau_2} \left( T_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} - \tau_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) - \frac{1}{T_2 - \tau_2} \left( T_2 e^{-\frac{t}{\tau_1}} - \tau_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \right] \quad (17)$$

где:  $\tau_2 = \frac{L_k}{r_{\text{ин}}}$  — постоянная времени цепи.

В этом случае крутизна волны  $u_2(t)$  определяется выражением

$$\frac{du_2(t)}{dt} = u_0 \left[ \frac{1}{T_1 - \tau_2} \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) - \frac{1}{T_2 - \tau_2} \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \right] \quad (18)$$

При данной длине кабеля ( $L_k$ ), очевидно, что  $\tau_2 > \tau_1$  ( $L_k > L_k^1$ ;  $z_1 + r_{\text{ин}} > r_{\text{ин}}$ ); следовательно, из выражения (15)–(18) следует, что величина амплитуды и крутизна волны в точке 2, в случае полностью намотанного кабеля, значительно меньше, чем при частично намотанном кабеле.

В этом случае цепь состоит из сосредоточенных параметров  $L_k$  и  $r_{\text{ин}}$ , в которых отсутствует волновой процесс.

При анализе трех условий работы кабеля, оказывается, что волновые процессы сильно отличаются друг от друга. Если в первом случае расчетная схема состоит из элементов с распределенными параметрами, то во втором и третьем случаях добавляются элементы со сосредоточенными параметрами.

**Экспериментальное исследование.** — Для экспериментального определения перенапряжения в различных элементах схемы ПЭА был собран его макет. Макет состоял из следующих основных узлов: 1) сопротивление  $z_1$ , имитирующего волновое сопротивление трех фаз линии передачи 6–10 кв ( $z_1 = z_0 = 230$  ом); 2) Сопротивления  $r_{\text{ин}}$  имитирующего сопротивление заземления передвижной подстанции ( $r_{\text{ин}} = 10$  ом); 3) кабелей 1,0 и 3,0 кв; 4) кабельного барабана; 5) двигателя с номинальным напряжением 1,14 кв, мощностью 25,0 квт; 6) переменного сопротивления  $r_{\text{ин}}$ , имитирующего сопротивление заземле-

ния корпуса подвижной машины ( $r_{\text{м}} = 0,56, 92$  и  $203 \text{ ом}$ ; 7) дросселя (без железа)  $L_{\text{д}}$ .

Сопротивления  $r_{\text{л}}$ ,  $r_{\text{эл}}$  и  $r_{\text{св}}$  бифилярные. Тип и конструкция кабелей и двигателя приведены в [2,3]. Длина кабеля и число его витков на барабане приводятся на рис. 5—9, там же приводится схема соединения элементов макета.

Опыты проводились для вышеуказанных трех условий работы кабеля на территории Института электротехники АН Армянской ССР.

Напряжения подавались от генератора импульсного напряжения (ГИИ) при  $u_0 = 4,16 - 5,09 \text{ кв}$ , 2,2/47, 2,5/60, 1,04/6,6  $\mu\text{сек}$  (рис. 5—9). Напряжение на генераторе измерялось при помощи шарового разрядника Д—2,0  $\text{см}$  с подсвечиванием кварцевыми лучами и с помощью катодного осциллографа типа КО—20 через омический делитель, 600  $\text{ом}$ .

До экспериментов были определены волновые параметры кабелей и двигателя, данные которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры волны $f_{\text{ф}}/t_{\text{ф}}$	Волновое сопротивление $Z$	Кэф. заг. волн $\gamma$	Кэф. деформ. фронта волны $k$	Скор. распр. волны $V$	Кэф. связи между жилами $k_c$	Примечание
$\mu\text{кс}/\mu\text{кс}$	$\text{ом}$	—	—	$\text{м}/\mu\text{кс}$	—	
2.2/47 1.04/6.6	117 120	0.90 0.82	0.70 0.60	105 110	0.81 —	Кабель 1,0 кв, типа КИЭП $4 \times 10 \text{ мм}^2$
2.2/47 1.04/6.6	107 105	0.88 0.83	0.50 0.45	90 95	0.89 0.88	
2.2/47	1100*	0.88	0.55	115	—	Двигатель 1,14 кв. 25 квт

\*  $Z = 1100 \text{ ом}$  для одной фазы обмотки двигателя.

С помощью аналогичного второго катодного осциллографа измерялись напряжения:  $u_1$  — на сопротивлении  $r_{\text{м}}$  (точка 1),  $u_2$  — в начале обмотки двигателя (точка 2),  $u_3$  — в нейтрали двигателя (точка 3),  $u_4$  — на корпусе двигателя (точка 4, рис. 5—9),  $\Delta u_{24}$  и  $\Delta u_{34}$  между точками 2—4 и 3—4, при величине сопротивления  $r_{\text{м}} = 0$ ; 56, 92 и 203  $\text{ом}$ . При снятии осциллограмм  $\Delta u_{24}$  и  $\Delta u_{34}$  пластины явления осциллографа изолировались от „земли“ схемы.

На рис. 5—9 приведены осциллограммы напряжения в элементах схемы при различных волнах и условиях работы кабеля.

Для определения опасных перенапряжений, полученные данные пересчитаны с низкого (т. е. напряжения, при которых производились опыты) к высокому напряжению. При пересчете значения коэффициентов  $\gamma$ ,  $\gamma_{\text{л}}$ ,  $k$  и  $k_c$  принимались такими же как и при опыте. В эк-



$U_2/U_3/U_4 = 190/200/190 \text{ В}$



$U_2/U_3/U_4 = 145/160/150 \text{ В}$



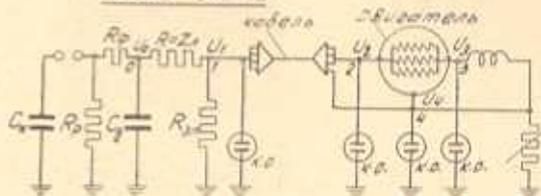
$U_2/U_3/U_4 = 115/125/90 \text{ В}$



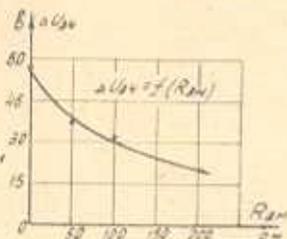
$U_2/U_3 = 57/57 \text{ В}$



Схема опыта



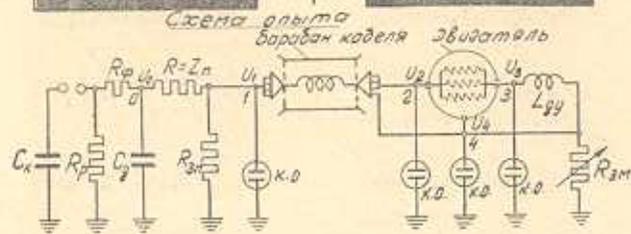
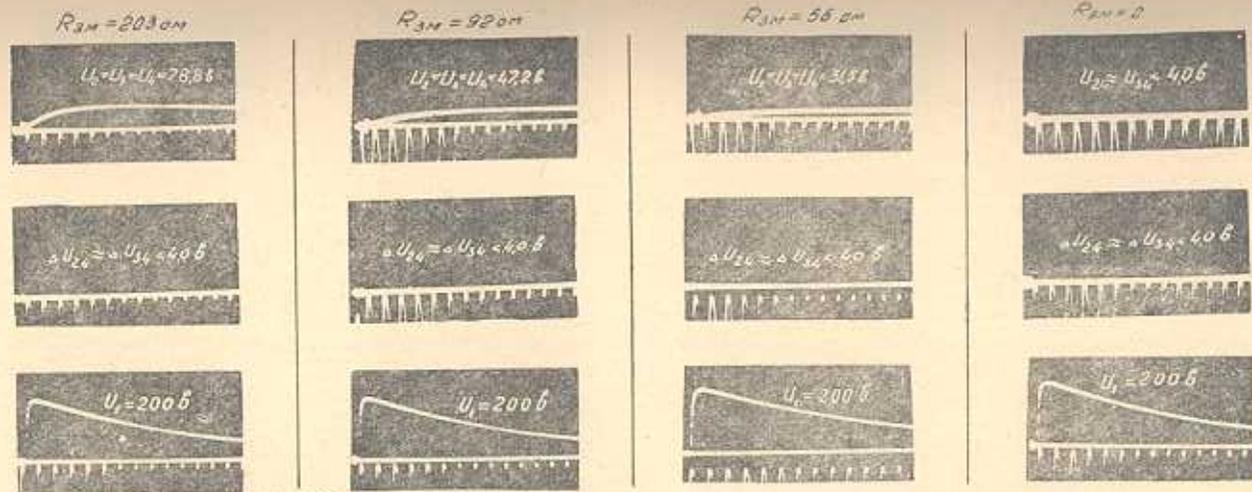
$C_x = 4,0 \text{ мкФ}$      $R_p = 1,25 \text{ Ом}$      $Z_A = 230 \text{ Ом}$   
 $C_g = 0,01 \text{ мкФ}$      $R_{3H} = 3,15 \text{ Ом}$      $R_{3H} = 10 \text{ Ом}$



$l_w = 127 \text{ м}$

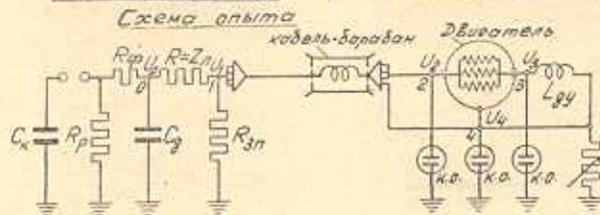
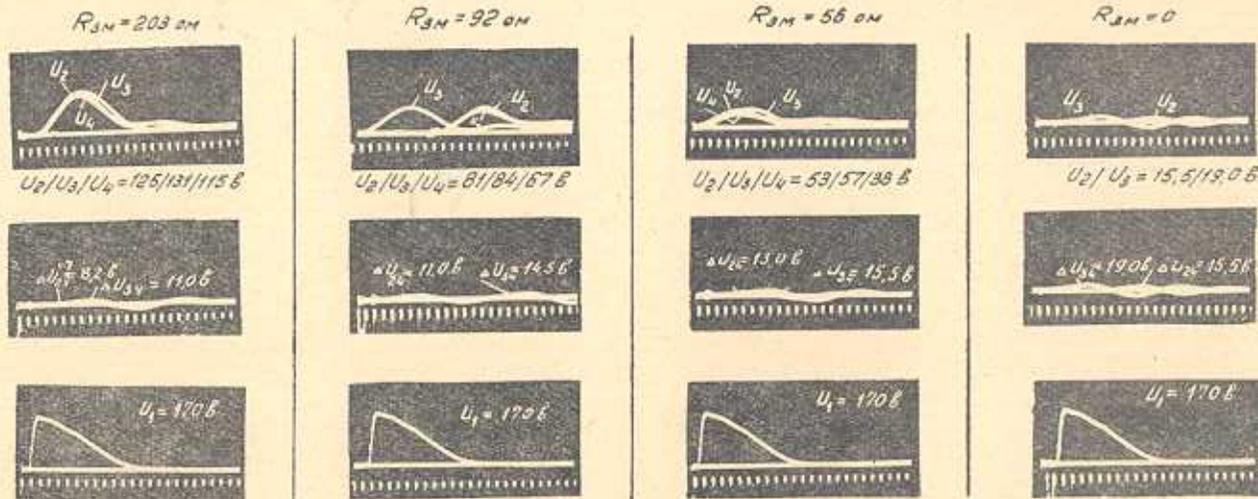
Осциллограммы волны напряжения в точках 1, 2, 3 и 4 макета передвижной машины. Волны сняты при различных величинах сопротивления заземления корпуса передвижной машины. Исходная волна  $U_1 = 4160 \text{ В}$ ,  $t_{ф}/t_{г} = 1,04/6,6 \text{ мксек}$ .  
 Примечание: Кабель 10 кв. лежащий на земле.  $\Delta U_{24}(t) = U_2(t) - U_4(t)$ ;  
 $\Delta U_{34}(t) = U_3(t) - U_4(t)$ .  
 На осциллограммах указаны максимальные напряжения.  $T_{гр} = 1,1 \text{ мксек}$   
 Рис 5



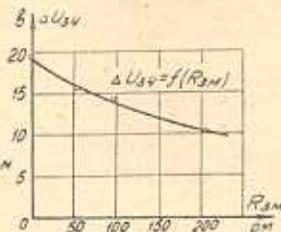


$C_k = 4,0 \text{ мкф}$	$R_p = 20,5 \text{ ом}$	$Z_n = 230 \text{ ом}$
$C_d = 0,015 \text{ мкф}$	$R_{зп} = 64 \text{ ом}$	$R_{зп} = 10 \text{ ом}$

Осциллограммы волны напряжения в точках 1, 2, 3 и 4 макета передвижной машины. Волны сняты при различных величинах сопротивления заземления корпуса передвижной машины. Исходная волна  $U_0 = 4700 \text{ в}$ ,  $I_{ф1}/I_{ф2} = 2,2/4 \text{ мкс}$ .  
Примечание: кабель 30 мВ-наматанный на барабан  $W = 234 \text{ витков}$ .  
На осциллограммах указаны максимальные напряжения.  
 $T_{2р} = 51 \text{ нксвк}$



$C_k = 4,0 \text{ мкФ}$      $R_p = 1,25 \text{ ом}$      $Z_l = 230 \text{ ом}$   
 $C_g = 0,01 \text{ мкФ}$      $R_{3M} = 3,5 \text{ ом}$      $R_{3M} = 10 \text{ ом}$



Осциллограммы волны напряжения в точках 1, 2, 3 и 4 макета передвижной машины. Волны сняты при различных величинах сопротивления заземления корпуса передвижной машины. Исходная волна  $U_1 = 4440 \text{ В}$ ,  $C_p / C_g = 1,04 / 6,5 \text{ мксек}$ .  
 Примечание: кабель  $30 \text{ кВ}$ ,  $L_k = 310 \text{ м}$ , часть которого ( $L_k = 120 \text{ м}$ ) — катушка барабан  $W = 109 \text{ витков}$ .  $\Delta U_2(t) = U_2(t) - U_1(t)$ ,  $\Delta U_3 = U_3(t) - U_1(t)$ . На осциллограммах указаны макс напряжения.  $T_{gp} = 1 \text{ мксек}$

Рис. 8.

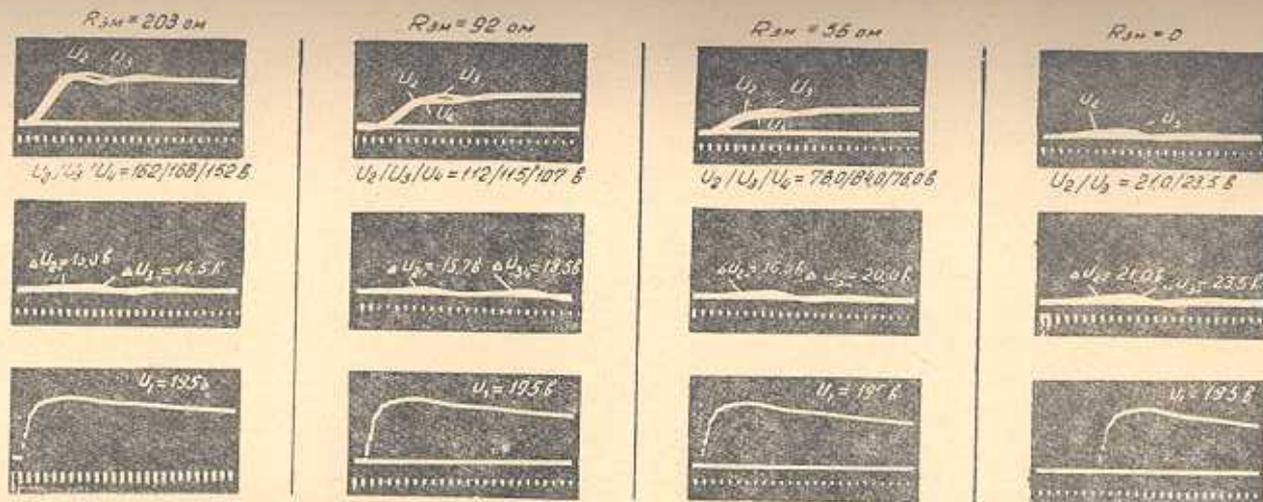
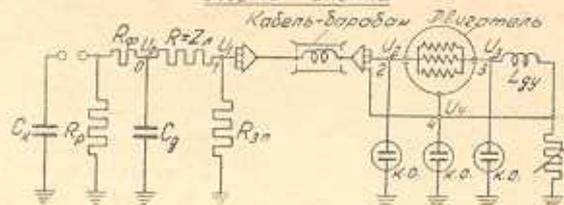
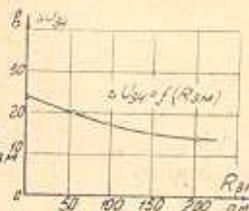


Схема опыта



$C_x = 4.0 \text{ мкф}$   $R_p = 20.5 \text{ ohm}$   $Z_p = 230 \text{ ohm}$   
 $C_g = 0.02 \text{ мкф}$   $R_\phi = 64 \text{ ohm}$   $R_{ан} = 10 \text{ ohm}$



Осциллограммы волны напряжения в точках 1, 2, 3 и 4 макета передвижной машины. Волны сняты при различных величинах сопротивления заземления катушки передвижной машины. Указанная волна

$U_0 = 5090 \text{ B}$ ,  $t_p/t_d = 2.5/1.65 \text{ мкс}$

Примечание: кабель 3.0 кв,  $C_x = 310 \text{ м}$ , часть которого ( $C_x = 100 \text{ м}$ ) намотана на дарабак  $W = 109 \text{ витков}$ .  $\Delta U_{23}(t) = U_2(t) - U_3(t)$ ,  $\Delta U_{34}(t) = U_3(t) - U_4(t)$ . На осциллограммах указаны максимальные напряжения.  $T_{ep} = 11 \text{ мксек}$

Рис. 9.

в экспериментах эквивалентное расчетное сопротивление  $z$  (1) принималось равным  $z = \frac{z_k \cdot r_{\text{зм}}}{z_k + r_{\text{зм}}} = 9,24 \text{ ом}$ , где  $r_{\text{зм}} = 10 \text{ ом}$ . Согласно рис. 1, при  $u_0 = 2200 \text{ кв}$ , напряжение на сопротивлении  $r_{\text{зм}}$  равно  $u_1^1 = u_{\text{кп}} = 84,6 \text{ кв}$ . Таким образом, принимая напряжение в начале кабеля

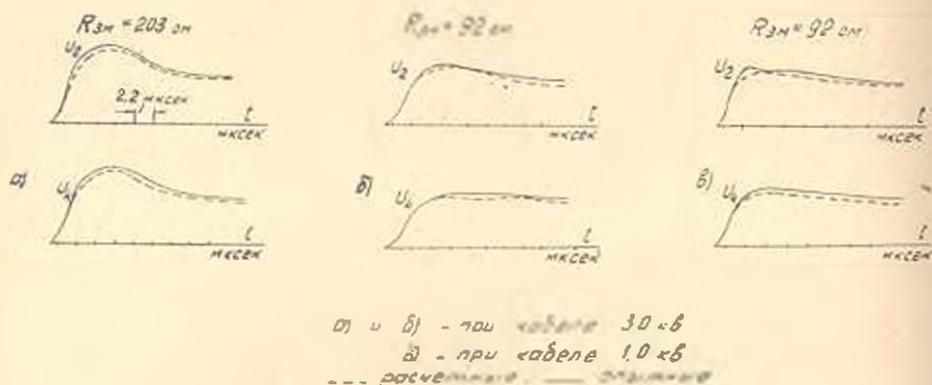


Рис. 10.

$u_1^1 = 84,6 \text{ кв}$  (при полной намотке кабеля  $u_1^1 = 91,7 \text{ кв}$ ), напряжение на остальных элементах соответственно пересчитывалось умножением величины каждого напряжения на коэффициент  $\frac{u_1^1}{u_1}$ .

Результаты пересчета приведены в таблице 2.

В условиях приведенного опыта при  $u_0 = \text{const}$ ,  $u_2 = u_3$  и  $u_3 = f(r_{\text{зм}})$ . С увеличением величины  $r_{\text{зм}}$  амплитудное значение волн  $u_2$ ,  $u_3$  и  $u_1$  увеличивается. Напряжения  $\Delta u_{21}$  и  $\Delta u_{31} = i \left( \frac{1}{r_{\text{зм}}} \right)$ . Так как дроссель  $L_{xy}$  имеет значительную индуктивность ( $L_{xy} = 1,6$  генри), нейтраль двигателя можно считать изолированной от "земли".

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

1) Кабель полностью размотан. а) максимальное перенапряжение в подвижной машине относительно "земли" имеет место в нейтрали двигателя, а минимальное — на его корпусе, б) несмотря на большое значение коэффициента связи  $K_c$  между жилами кабеля, перенапряжения, воздействующие на изоляцию двигателя достигают значительной величины, в) ввиду наличия сильной электромагнитной связи между жилами кабеля, во всех случаях перенапряжения в подвижной машине определяются, главным образом, сопротивлением заземления  $r_{\text{зм}}$ , г) затухание и деформация волн в кабеле значительно уменьшают перенапряжения во всех элементах ПЭА, д) крутизна волн  $\Delta u_{21}^1$  и  $\Delta u_{31}^1$  достигает максимума при  $r_{\text{зм}} = 0$  и с возрастанием длины волны убывает. Следует отметить, что вследствие наличия значительного затухания и деформации волны в обмотке двигателя,

№№ п/п	Параметры исходной волны		Параметры волн в точках 1, 2, 3 и 4				Параметры волн между точками 2-4 и 3-4		Соотнош. зазем- ления подпиточной машины	Примечание
	$U_{1,2}$	$u_0$	$u_1/U_1^*$	$u_2/U_2^*$	$u_3/U_3^*$	$u_4/U_4^*$	$\Delta u_{24}/U_{221}^*$	$\Delta u_{34}/U_{331}^*$	Грм	
	кВсек/мксек	кВ	кВ/мксек	кВ/мксек	кВ/мксек	кВ/мксек	кВ/м.сек	кВ/мксек	о.м	
1	2.2/47	2200	84.6/2.4	103/3.3	113/4.0	100/4.4	9.8/2.2	10.8/3.3	203	Кабель 1,0 км лежит на земле
2	2.2/47	2200	84.6/2.4	79.8/3.3	89.3/4.4	75.2/4.4	14.3/2.2	15.3/3.3	92	
3	2.2/47	2200	84.6/2.4	70.4/3.0	84.6/5.0	70.4/11.0	19.7/2.5	20.4/3.8	56	
4	2.2/47	2200	84.6/2.4	29.6/2.6	32.0/5.0	0	29.6/2.6	32.0/5.0	0	
5	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	100/3.3	106/4.4	95.3/3.3	11.1/2.2	11.1/3.8	203	
6	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	76.6/3.3	84.6/4.4	68.8/3.8	16.6/2.2	16.6/3.8	92	
7	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	60.9/3.3	66.2/4.4	47.6/4.0	19.6/2.2	19.6/3.8	56	
8	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	30.2/2.2	30.2/3.8	0	30.2/2.2	30.2/2.8	0	
9	2.2/47	2200	84.6/2.4	102/7.0	116/7.7	100/7.0	7.1/1/3.6	8.3/4.4	203	Кабель 3,0 км лежит на земле
10	2.2/47	2200	84.6/2.4	73.5/5.5	84.6/5.5	69.0/7.7	11.6/4.1	13.4/4.8	92	
11	2.2/47	2200	84.6/2.4	62.3/5.5	66.8/9.2	57.9/17.0	12.1/13.8	19.7/5.8	56	
12	2.2/47	2200	84.6/2.4	18.3/4.4	25.1/4.8	0	17.4/4.4	23.8/4.8	0	
13	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	40.2/4.4	93.3/5.5	82.5/4.4	8.2/2.2	10.7/3.8	203	
14	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	64.0/4.4	68.2/5.5	54.0/4.6	10.6/2.5	13.6/3.6	92	
15	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	47.7/4.4	50.8/5.5	37.0/4.7	11.0/3.3	15.9/3.7	56	
16	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	16.9/4.0	23.1/4.4	0	16.9/4.0	23.1/4.4	0	
17	2.5/60	2200	84.6/2.8	70.3/6.0	73.0/7.9	67.0/6.2	5.7/4.4	6.3/4.8	203	Кабель 3,0 км частично намотан на барабан
18	2.5/60	2200	84.6/2.8	48.5/13.2	50.0/20.0	46.5/13.2	6.8/4.6	8.0/4.8	92	
19	2.5/60	2200	84.6/2.8	34.0/20.0	36.5/20.0	33.0/20.0	7.1/4.4	8.7/4.8	56	
20	2.5/60	2200	84.6/2.8	9.1/3.8	10.0/4.4	0	9.1/3.8	10.0/4.4	0	
21	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	62.2/5.0	65.0/5.5	57.3/4.9	4.1/2.7	5.4/4.4	203	$w = 109$ витков
22	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	40.3/5.0	41.8/5.5	33.4/4.9	5.4/3.3	7.2/4.4	92	
23	1.04/6.6	2200	84.6/1.1	26.4/5.0	28.4/5.5	18.9/4.9	6.5/3.0	7.7/4.4	56	
24	1.04/6.6	2200	84.3/1.1	7.7/3.3	9.45/4.4	0	7.7/3.3	9.4/4.4	0	
25	2.2/47	2200	91.7/2.4	36.1/>38.0	36.1/>38.0	36.1/>38.0	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	203	Кабель 3,0 км намотан на барабан полностью
26	2.2/47	2200	91.7/2.4	21.6/>38.0	21.6/>38.0	21.6/>38.0	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	92	
27	2.2/47	2200	91.7/2.4	14.4/>38.0	14.4/>38.0	14.4/>38.0	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	56	
28	2.2/47	2200	91.7/2.4	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	<1.8/>38.0	0	

\* Значение  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_{24}$  и  $U_{34}$  соответствуют максимальным значениям напряжений.

$\Delta u_{24}^1 > \Delta u_{34}^1$ , междувитковая изоляция у нейтрали, сравнительно с начальной частью обмотки находится в относительно благоприятных условиях.

2) Кабель частично разматан на земле. — Перенапряжения воли в элементах макета сравнительно невелики. Это можно объяснить наличием сосредоточенной индуктивности намотанного кабеля, которая ограничивает и сглаживает приходящие от подстанции волны. Влияние этой индуктивности сильнее при коротких волнах. Величины перенапряжения  $\Delta u_{24}$  и  $\Delta u_{34}$  значительно занижены. Ввиду наличия сильной электрической связи между жилами кабеля, зависимости  $u_0$ ,  $u_1$  и  $u_2$  от  $r_{24}$  сильнее, чем в первом случае. Крутизна воли  $\Delta u_{24}^1$  и  $\Delta u_{34}^1$  значительно ниже, чем в первом случае.

3) Кабель полностью намотан на барабан. — Вследствие сравнительно большой сосредоточенной индуктивности перенапряжения более занижены, чем в первых двух случаях. Как видно из пересчитанных данных, при  $\omega = 234$  витков, величина напряжения безонгсии для изоляции обмотки двигателя (при  $\omega = 96$  витков, величина напряжения все же остается опасной)

На основании полученных данных можно сказать, что, несмотря на наличие электромагнитной связи между жилами кабеля, перенапряжения в точках 2, 3 и 4, а также между ними ( $\Delta u_{24}$  и  $\Delta u_{34}$ ) безусловно остаются недопустимыми для главной и междувитковой изоляций двигателя и опасны для обслуживающего персонала. При этом максимальные перенапряжения имеют место в случае полностью разматанного кабеля. Следовательно, имеется необходимость разработки грозозащиты, рассчитанной для случая разматанного кабеля.

Вопрос грозозащиты двигателей подвижной машины требует отдельного рассмотрения. Можно указать следующий способ ее осуществления; на конце кабеля, где подключаются двигатели, включается комплект вентильных разрядников с конденсаторами; поскольку разрядники на такое напряжение не выпускаются, необходимо рассмотреть также вариант искровых защитных промежутков с конденсаторами. Следует также предусмотреть различные мероприятия для уменьшения перенапряжения со стороны ЛЭП 6—10 кВ, а также на понижительной подстанции.

Для сравнения экспериментальных данных с расчетными, по предлагаемой методике определения частичных волновых сопротивлений  $z_{11}$  и  $z_{12}$  [4] и расчета перенапряжения в точках 1—4 (рис. 4) представленный в настоящей работе был произведен расчет при волне 2,2/47 мксек. При расчете были использованы волновые параметры кабеля и двигателя, данные которых приведены в таблице 1. При сравнении опытных данных с расчетными, оказалось, что при разматанном кабеле их расхождение не превышает 5—12%. Для примера на рис. 10 приведены расчетные и экспериментальные графики изменения напряжения  $u_0$  и  $u_1$  во времени в начале обмотки двигателя и на его корпусе при  $r_{24} = 203$  и 92 ом, для приведенных двух типов

кабелей 1,0 и 3,0 кв. Отсюда видно, что предлагаемый метод расчета перенапряжения с учетом электромагнитной связи между жилами кабеля для наилучших условий работы подвижной машины, может быть практически приемлемым.

В случае полной намотки кабеля расхождения данных доходят до 30%. Такое сравнительно большое расхождение можно объяснить тем, что при расчетах напряжение в конце всех жил кабеля принималось одинаковым. В действительности между точкой 2 и 4 при полной намотке имеется некоторая разность потенциалов, величина которой увеличивается с уменьшением  $r_{эм}$ . Такое допущение приводит к увеличению тока  $\Delta i$  (через  $r_{эм}$ ), что, в свою очередь, приводит к увеличению напряжения на  $\Delta u = \Delta i \cdot r_{эм}$ . Как показали опытные и предварительные расчетные данные, при полной и частичной намотке кабеля, перенапряжение получается значительно меньше, чем в случае полностью разматанного кабеля, поэтому их более точное расчетное определение не производилось.

Институт электрогелики  
АН Армянской ССР

Поступило 5.V.1960

Մ. Մ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՄԻՆՈՂՈՐՏԱՅԻՆ ԿԵՐԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՐՁԸ ԼԷԿԵՏՐԱԿԱՆԱՅՈՒՄԻ  
ՏԵՂԱՓՈՒԵԼԻ ԱԿՐԵԴԱՏՆԵՐՈՒՄ

Ա. Մ. Գ Ի Ն Փ Ի Ն Ա Մ

Էլեկտրատեխնիկական տեղափոխելի ազդեցատները սնվում են էլեկտրականությամբ իջեցնող տրանսֆորմատորների միջոցով  $B - 10$  կՎ էլեկտրատեղոգման զինքից: Երբ միջնուրաային զերլարումների պատճառով աշխատում են իջեցնող տրանսֆորմատորի վրա տեղադրված պաշտպանիչ սարքերը, նրա կարևորի վրա զերլարման չափը հասնում է  $80,5 - 90,3$  կՎ: Լարման այնքը ալգպիտի րայտիան մեծ չափով տարածվում է առանց դրանի, ճկուն, բազմաչիղ կարելով մինչև տեղափոխելի մեքենան, որտեղ լարման մի մասը անդրադառնում է, մի մասը՝ բեկվում: Հետագայում այնքային երևույթը համապատասխանորեն շարունակվում է:

Հողվածում բերվում են տեղափոխելի մեքենայում զերլարումների  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_1$ ,  $\Delta U_{21}$  և  $\Delta U_{31}$  հաշվարկային և փորձնական մեծությունները կարելի հետևել պայմաններում՝ ա) կարելի ամբողջ երկարությամբ փոխում է զեանի վրա, բ) կարելի փոխում է զեանի վրա մասնակի, իսկ մնացած մասը փաթաթվում է թմրակի վրա, գ) կարելի ամբողջ երկարությամբ փոթաթվում է թմրակի վրա: Գերլարման մեծությամբ հաշվարկային կատարվել է հաշվի առնելով կարելի ջիղերի միջև դոլություն ունեցող էլեկտրամագնիսական կապը տեղափոխելի մեքենայի հողանցման տարրեր զիմադրությունների  $r_{21}$  մասնակի: Հարկավոր է նշել, որ այդպիսի փորձի մասնակի ամենաբարձր զերլարումը (պեանի ձևիսամամբ) տեղափոխելի մեքենայի շարժիչում տեղի տնի նրա փաթույթի շեզոքում ( $U_2$ ), իսկ ամենափոքրը՝ նրա կարևորի վրա ( $U_1$ ): Ընործիվ կարելի ջիղերի միջև դոլություն ունեցող էլեկտրամագնիսա-

կան հասցի, գերլարումները  $\Delta u_{21}$  և  $\Delta u_{31}$ , որոնք ազդում են շարժիչի մեկուսացման վրա, խիստ կերպով կախված են տեղափոխելի մեքենայի հողանցման գիծադրություն  $r_{21}$  մեծությունից: Ընդ որում, այդ լարումների պեկնարարքը արժեքը տեղի ունի, երբ  $r_{21} = 0$ : Ինչպես հաշվալին, այնպես էլ փորձնական ավալները ցույց են տալիս, որ տեղափոխելի մեքենայում ամենարարձր գերլարումները տեղի տնեն, երբ կարելի ամբողջ երկարությամբ փոխված է գետնի վրա, իսկ ամենափոքրը՝ երբ կարելի ամբողջովին փաթափված է թվրակի վրա:

Ստացված գերլարումները իրենց մեծությամբ փոփոխվում են թեև հասցրածոց անձնակազմի և թեև էլեկտրական շարժիչների և այլ սարքերի մեկուսացման համար: Ուստի անհրաժեշտ է մշակել համապատասխան սխեմա տեղափոխելի մեքենան միևնույն պայմաններում գերլարումներից պաշտպանելու համար:

Միաժամանակ անհրաժեշտ է միջոցառումներ ձեռնարկել էլեկտրահաղորդման դմերից եկող գերլարումների փոքրացման համար:

Հաշվալին և փորձնական ավալները իրար հետ համեմատելիս պարզվում է, որ նրանց միջև եղած տարբերությունը չի անցնում  $5 + 12^{\circ}$ , ուստի հողափոխված շարժիչի մեծողը պրակտիկորեն՝ ընդունելի է էլեկտրականացված տեղափոխելի ազդեցականներում միևնույն պայմաններում հաշվելու համար:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян М. М., Торосян А. С. Защитный промежуток ЗП—1 для цепи 1000 в передвижной подстанции электротрикторного агрегата. «Известия АН Армянской ССР» (серия техн. наук), том IX, № 8, 1956.
2. Карапетян М. М. Волновые характеристики гибких кабелей передвижного установок. Известия АН Армянской ССР (серия техн. наук), том X, № 3, 1957.
3. Карапетян М. М. Некоторые вопросы волновых процессов в передвижных электрфицированных установках. «Известия АН Армянской ССР» (серия техн. наук), том X, № 3, 1957.
4. Карапетян М. М. Методика определения собственного и взаимного волновых сопротивлений жнз шланговых и силовых кабелей. «Известия АН Армянской ССР» (серия техн. наук), том XI, № 2, 1959.
5. Костенко М. В. Атмосферные перенапряжения и грозозащиты высоковольтных установок. М., 1949.
6. Рюденберг Р. Явление неустановившегося режима в электрических установках, М., 1931.
7. Разевиг Л. В. Затухание волн в кабелях. Электричество, № 5, 1948.
8. Valentin W. W., Dillard I. K., Clayton I. M. Surge attenuation in power cable. Power Apparatus and Systems, № 21, 1955.
9. Нейман Л. Р. и Калантаров П. Л. Теоретическая основа электротехники. Часть вторая. М.—Л., 1954.