

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. М. КАРАПЕТЯН

ВОЛНОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ
ПЕРЕДВИЖНЫХ УСТАНОВОК

Широкое развитие передвижных электрифицированных установок, применяемых в торфяной промышленности, в сельском хозяйстве и т. д., ставит особенно остро вопрос обеспечения безопасности и безаварийной работы электрооборудования указанных установок.

Многолетний опыт показывает, что эти установки в процессе эксплуатации подвергаются воздействию атмосферных перенапряжений, вследствие чего имели место повреждения и выход из строя электрооборудования. В связи с этим грозозащита указанных установок приобретает важное значение.

Для разработки надежной схемы грозозащиты необходимо знать значение амплитуды и форму волны перенапряжения в разных элементах электроустановок.

Упрощенная принципиальная электрическая схема передвижной электрифицированной установки, применяемой в сельском хозяйстве, показана на рис. 1.

Определение амплитуды и формы волны перенапряжения расчетным путем в элементах передвижных электрифицированных установок связано с большими трудностями из-за наличия в этих установках большого количества электродвигателей и кабелей, волновые параметры которых зависят как от конструкции кабелей и двигателей, так и от условий работы установки.

При анализе эквивалентной схемы (рис. 2) выясняется, что величина перенапряжения, не касаясь пока формы падающей волны, определяется входной емкостью $C_{\text{вх}}$ питающей подстанции, волновым сопротивлением кабеля Z_k (намотанный частично или полностью на барабан), волновым сопротивлением двигателя Z_d , а также импульсными сопротивлениями заземления подстанции $R_{\text{зет}}$ и передвижной машины $R_{\text{м}}$.

Шагающие экскаваторы питаются от стационарных подстанций бронированным кабелем, а торфяные и сельскохозяйственные машины питаются от передвижных подстанций (иногда торфяные машины питаются от стационарных подстанций) небронированным резиновым шланговым кабелем.

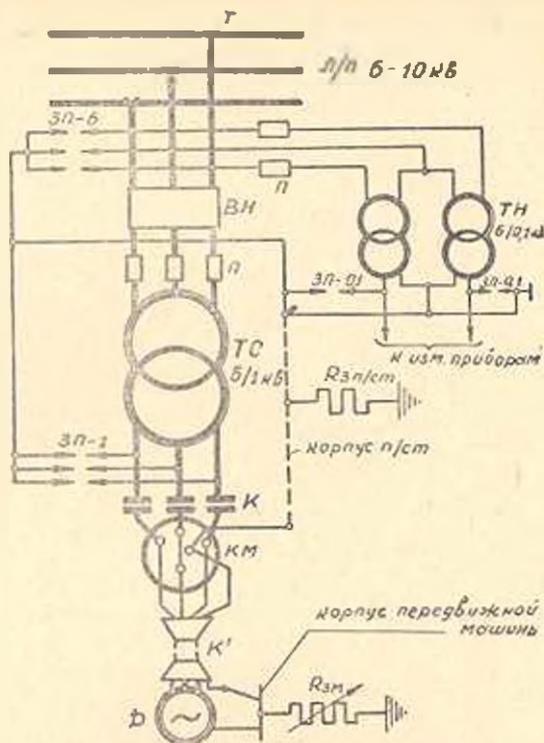


Рис. 1. Упрощенная принципиальная электрическая схема электрифицированной установки: T — токоъем, 3П-6 — защитный промежуток на 6 кв, П — предохранитель, ВП — выключатель нагрузки, ТН — трансформатор напряжения 6/0,1 кв, 3П-0,1 — защитный промежуток на 0,1 кв, ТС — трансформатор силовой 5/1,0 кв, 75—100 кв, 3П-1 защитный промежуток на 1,0 кв, К — контактор, К' — кабель гибкий, D — двигатель передвижной машины.

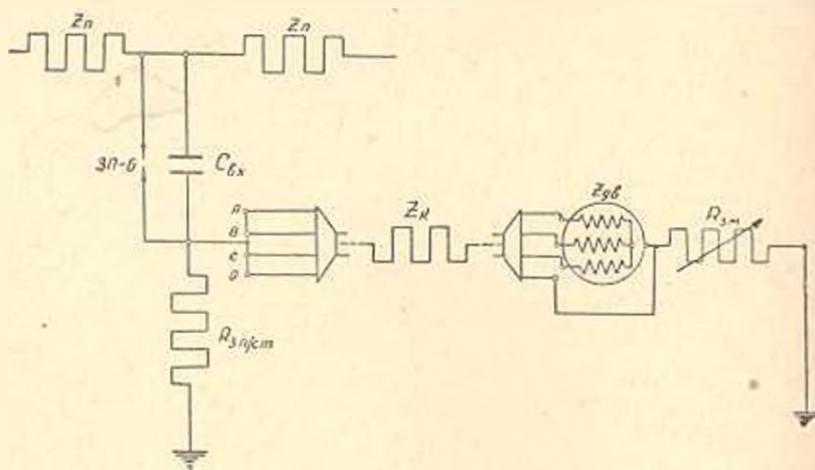


Рис. 2. Эквивалентная схема передвижных электрифицированных машин где: $Z_{л}$ — волновые сопротивления линии передачи, $C_{бх}$ — входная емкость подстанции, $Z_{к}$ — волновое сопротивление кабеля, $R_{зп/ст}$ — сопротивление заземлений подстанции при импульсе, $Z_{дв}$ — эквивалентное волновое сопротивление двигателя, 3П-6 — защитный промежуток, $R_{зм}$ — контактное сопротивление заземлений передвижной машины (гусеницы) с землей при импульсе.

Если для кабелей и машин шагающих экскаваторов волновые параметры, в основном, зависят от их конструкции, то волновые параметры кабелей и машин, применяемых в торфяной промышленности и в сельском хозяйстве, зависят также и от условий их работы (в основном от состояния поверхности и степени влажности грунта).

Во время работы указанных установок кабель их разматывается или наматывается на барабан, находящийся на передвижной машине, причем, даже при полной размотке кабеля все же остается некоторое число витков на барабане кабеля. Например, для электротрактора типа ХТЗ-12 минимальное число витков на барабане 12, чему соответствует длина кабеля 14 м, а максимальное число—325 витков, что составляет длину кабеля 770 м. Волновые параметры небронированного кабеля, лежащего на земле могут сильно изменяться в зависимости от состояния ее поверхности.

Насколько нам известно, в литературе имеется единственная работа Разевига Д. В. [1] по волновым параметрам бронированных кабелей. Поэтому исследование волновых параметров небронированных кабелей представляет значительный интерес. Как показали результаты исследования, волновые параметры бронированных и небронированных кабелей отличаются друг от друга в 5—10 раз [1, 2].

Определение волновых параметров небронированных кабелей теоретическим и расчетным путем, с учетом всех условий работы установки, в настоящей стадии изученности вопроса не представляется возможным. Поэтому их определение необходимо проводить экспериментальным путем.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментального определения волновых параметров шланговых кабелей на напряжение 1,0 и 3,0 кв (рис. 3), применяемых в сельском хозяйстве и торфяной промышленности.

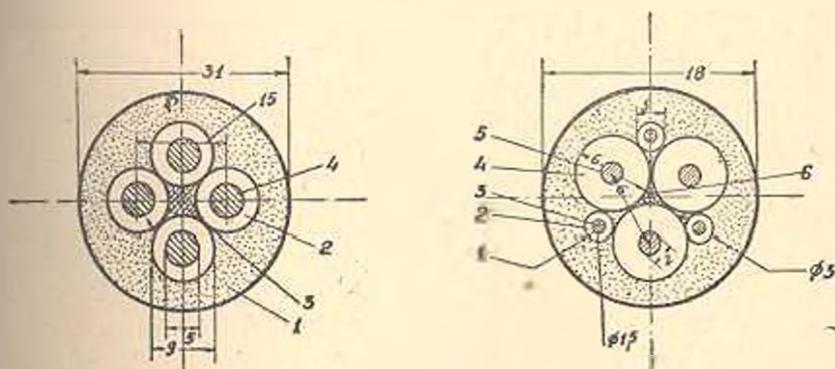


Рис. 3. Поперечное сечение небронированных шланговых кабелей на напряжениях 1 кв (левый рисунок) и 3 кв. Для кабеля в 1 кв (КШЭП 4×10 мм²): 1—Общая резиновая изоляция; 2—фазовая резиновая изоляция; 3—резиновый наполнитель; 4—рабочая жила. Для кабеля 3 кв (3×2,5+3×1 мм²): 1—Общая резиновая изоляция; 2—фазовая резиновая изоляция; 3—нулевая жила; 4—резиновая изоляция; 5—рабочая жила; 6—жгутовый наполнитель.

* Установка разработана инж. А. П. Сивковым [3].

При определении волновых параметров кабеля использовались методика и установка, разработанные в лаборатории ТВН им. А. А. Горева в Ленинградском политехническом институте* в 1953—54 гг., применительно к исследованию волновых характеристик высоковольтных электрических машин [2] и распространенные в дальнейшем на волновые параметры кабеля.

Экспериментальная установка.— Полагая, что в первом приближении электрические процессы в кабеле линейны и не зависят от амплитуды импульса напряжения, волновые параметры можно определить с достаточной для практики точностью при амплитуде до 1000 в.

При этом можно догадаться, что в кабеле 1,0 кв, импульсной короны при таких напряжениях не будет (сечение жил $4 \times 10 \text{ мм}^2$), а для кабеля 3,0 кв — напряжение при опыте меньше номинального напряжения кабеля. При более высоких напряжениях волновые параметры кабеля изменятся, причем волновые сопротивления уменьшатся, а затухание и деформация волн увеличатся и в общем случае перенапряжение в различных элементах установки из-за изменения волновых параметров будет ниже, чем перенапряжение при пропорциональном пересчете от низкого напряжения к высокому. Следовательно, такое допущение приводит к некоторому запасу прочности изоляции элементов установки.

Установка состоит из генератора импульсных волн (ГИИ) с широкой регулировкой формы волны, синхронизированного с электронным осциллографом со ждущей разверткой и комплекта измерительных устройств. От ГИИ по схеме подавались аperiodические импульсы 50 раз в секунду. В различные элементы схемы агрегата от делителей напряжения (омически-емкостных) и шунтов включался электронный осциллограф. Установка позволяла получать на экране электроно-лучевой трубки достаточно яркое неподвижное изображение последующего явления и обеспечивала удобное визуальное наблюдение и фотографирование.

Определение волновых параметров кабелей на напряжение 1,0 и 3,0 кв. При определении волновых параметров кабеля, эквивалентная схема последнего может быть представлена в виде цепочки с распределенными параметрами с бесконечно большим числом элементарных звеньев. Эквивалентная схема звена изображена на рис. 4. Для такой цепочки определялись следующие волновые параметры:

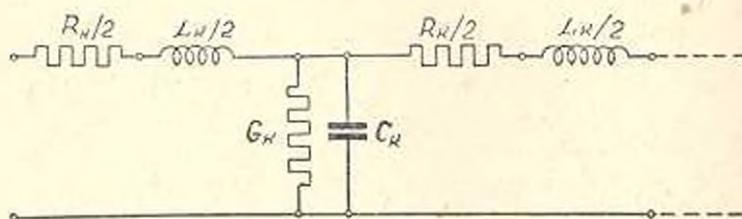


Рис. 4. Звено эквивалентной схемы кабеля.

1. Волновое сопротивление кабеля— Z_0 .
2. Средняя скорость распространения волны по кабелю— $V_{ср}$.
3. Коэффициент затухания электромагнитной волны по кабелю— γ_k .
4. Коэффициент деформации электромагнитной волны по кабелю— K_d .

С учетом условий работы установок, опыты на кабелях производились при следующих условиях:

а) Экранированный кабель, экраном которого служила алюминиевая фольга толщиной 0,03 мм плотно намотанная на кабель. Такая модель кабеля, в силу большей изученности экранированных кабелей, позволила построить экспериментальную установку, уточнить методику исследования и получить предварительные данные по волновым параметрам.

б) Кабель без экрана, поднятый над землей на высоту 25—30 см. Этому положению соответствует условие работы кабеля, когда поверхность земли неровная, в этом случае кабель касается земли в отдельных точках, находящихся друг от друга на расстоянии 50—70 см.

в) Кабель без экрана, лежащий по всей длине на земле.

Эти три условия не полностью охватывают реальные условия, но позволяют определить диапазон изменения волновых параметров кабеля во время его работы. Длина кабелей применяемых в опытах была: кабеля на 1,0 кв—127 м, кабеля на 3,0 кв—500 м.

Для определения волновых параметров кабеля при разных схемах соединения его жил (рис. 5), опыты производились при напряжениях 600—1000 вольт для воли в среднем: 1,2/4,5 мксек; 2,8/9,5 мксек и 2,8/35 мксек.

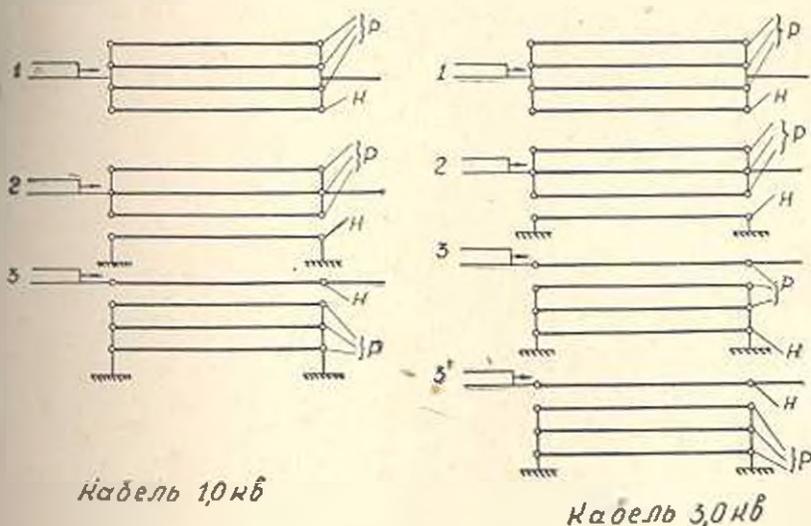


Рис. 5. Схемы соединения жил кабелей 1,0 и 3,0 кв. при опытах. P—рабочая жила, H—нулевая жила.

Определение волнового сопротивления кабеля Z_k . Существующие методы определения Z_k не дают возможности достаточно точно получить зависимость этих сопротивлений от формы волны проходящего по кабелю импульсного напряжения.

Рассмотрение волновых процессов позволяет характеризовать кабель с эквивалентным волновым сопротивлением, средней скоростью распространения волны и другими волновыми параметрами.

Для экспериментального определения волнового сопротивления кабеля, целесообразнее всего пользоваться методом вольтамперной характеристики [2, 3]. На такой характеристике Z_k определяется как тангенс угла наклона касательной. Очевидно, что если этот тангенс остается постоянным, то исследуемая цепь представляется постоянным волновым сопротивлением. Если восходящая ветвь характеристики близка к прямой, то аппроксимируя по тангенсу угла наклона можно найти эквивалентное волновое сопротивление

$$Z_k = \frac{K_U}{K_I} \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

где: K_U — масштаб напряжения,

K_I — масштаб тока,

α — угол наклона с прямой частью характеристики.

На рис. 6 показана методика определения Z_k . Для получения вольтамперной характеристики использована схема, приведенная на рис. 7. Для контроля определения Z_k , сопротивление R_{c2} подбиралось таким образом, чтобы от конца кабеля не было отражения. В этом случае нисходящая ветвь вольтамперной характеристики представляет собой линию, параллельную восходящей ветви или совпадающую с ней. Очевидно,

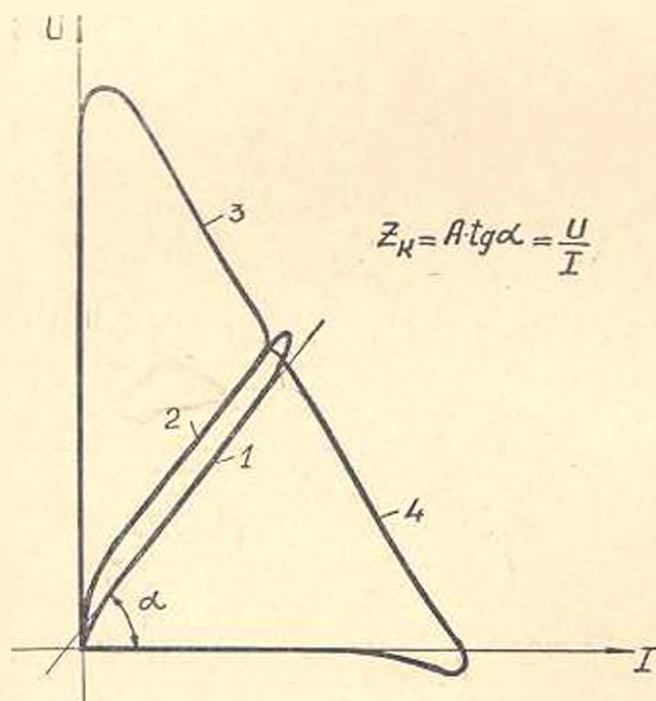


Рис. 6. Определение волнового сопротивления кабеля по вольтамперной характеристике. 1. Общая восходящая ветвь; 2. Нисходящая ветвь при согласованном сопротивлении в конце кабеля $R_{c2} = Z_k$; 3. Конец кабеля разомкнут $R_{c2} = \infty$; 4. Конец кабеля короткозамкнут $R_{c2} = 0$.

что при этом $R_{c2} = Z_k$.

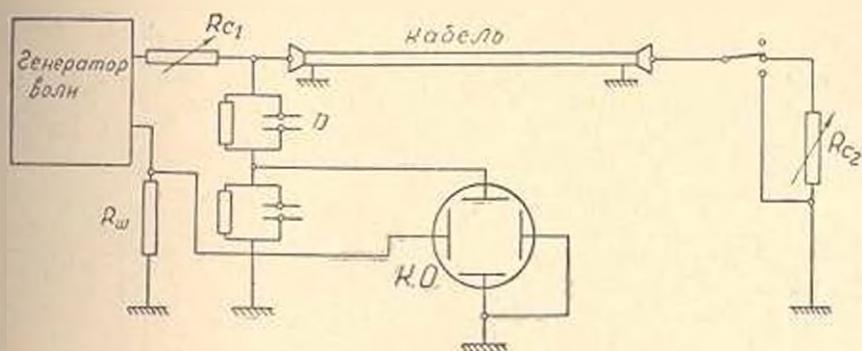


Рис. 7. Схема получения вольтимперных характеристик.

Для анализа процессов отражения волны от конца кабеля и для контроля восходящих ветвей, обычно осциллографировались характеристики при разомкнутых, короткозамкнутых и включенных на согласованное сопротивление концах кабеля. На рис. 8 приведены осциллограммы вольтимперных характеристик кабеля 1,0 кв лежащего на земле, при подаче напряжения параллельно 4-м жилам.

Результаты экспериментов по определению Z_k сведены в таблицу 1 [2].

Из полученных данных видно, что Z_k зависит от условий работы кабеля и формы волны ($Z_k = 19 - 330$ ом). Изменение Z_k определяется в основном изменением емкости кабеля. Эта емкость имеет наибольшую величину для экранированного кабеля и наименьшую для кабеля поднятого над землей, соответственно $Z_{эк} = 19$ ом и $Z_{нэ} = 330$ ом.

Если у поднятого кабеля заземлить одну из рабочих жил, то Z_k уменьшается, что указывает на увеличение емкости и уменьшение индуктивности отдельных жил. Опыт показал, что величина Z_k растет с уменьшением фронта волны. Наиболее четко это сказалось на экранированном кабеле. Объяснить это явление можно следующим образом. Для резиновой изоляции кабеля величина диэлектрической проницаемости ϵ_p в сильной степени зависит от частоты приложенного напряжения, причем в диапазоне применяемых в опыте частот с увеличением частоты ϵ_p уменьшается [4].

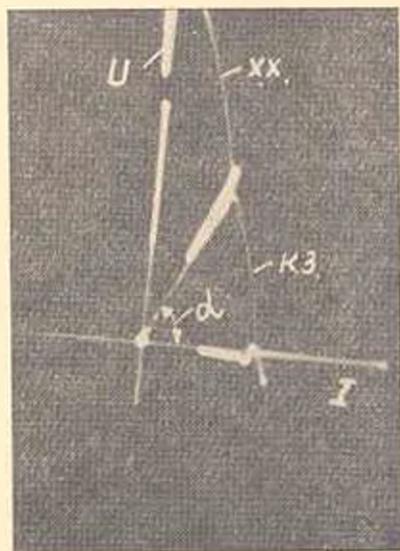


Рис. 8. Осциллограмма вольтимперных характеристик кабеля 10 кв, лежащего на земле (без экрана).

Таблица 1

Обозначение по рис. 5.	Кабель 1,0 кв 4×10 м ²		Кабель 3,0 кв 3×2,5+3×1,0 мм ²		Условия работы кабеля	
	длина фронта и длина волны $f \lambda_{\text{н}}$	волновое сопротивление $Z_{\text{к}}$	длина фронта и длина волны $f \lambda_{\text{н}}$	волновое сопротивление $Z_{\text{к}}$		
	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	ом	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	ом		
1	2,7/10	19	2,7/10	23	кабели экранированы	
2	2,7/10	20	2,7/10	25		
3	2,7/10	41	2,7/10	55		
3'	—	—	2,7/10	26		
1	2,7/40	19	2,7/40	22		
2	2,7/40	19	2,7/40	25		
3	2,7/40	32	2,7/40	52		
3'	—	—	2,7/40	24		
1	1,6/4,3	21	1,6/4,3	34		кабели покрываются землей
2	1,6/4,3	21	1,6/4,3	26		
3	1,6/4,3	31	1,6/4,3	56		
3'	—	—	1,6/4,3	25		
1	2,7/40	210	2,7/40	286		
2	2,7/40	49	2,7/40	32		
3	2,7/10	53	2,7/40	63		
3'	—	—	2,7/40	33		
1	1,1/5,6	214	1,6/4,3	330	кабели лежат на земле	
2	1,1/5,6	31	1,6/4,3	37		
3	1,1/5,6	35	1,6/4,3	64		
3'	—	—	1,6/4,3	24		
1	2,7/40	123	2,7/40	104		
2	2,7/40	38	2,7/40	30		
3	2,7/40	47	2,7/40	66		
3'	—	—	2,7/40	31		
1	—	—	1,6/4,3	125		
2	1,6/4,5	42	1,6/4,3	32		
3	1,6/4,5	52	1,6/4,3	60		
3'	—	—	1,6/4,3	33		

Уменьшение длины фронта волны аналогично увеличению частоты приложенного напряжения. При этом емкость кабеля уменьшается, а некоторое уменьшение индуктивности за счет уменьшения связанного с жилой магнитного потока не может компенсировать влияние изменения емкости. Выказанное предположение подтверждается опытами по определению средней скорости распространения волны по кабелю.

Средняя скорость распространения волны по кабелю $V_{\text{срк}}$ определялась по времени двойного пробега:

$$V_{\text{срк}} = \frac{2l}{2T} \quad (2)$$

где: l — длина кабеля в метрах,

$2T$ — время двойного пробега волны по кабелю в мксек.

Методика определения $V_{\text{срк}}$ показана на рис. 9. Схема измерения приведена на рис. 10. Волна напряжения осциллографировалась в начале кабеля при разомкнутых и короткозамкнутых жилах на конце кабеля. На рис. 11 изображена осциллограмма волны в кабеле 3,0 кв при параллельном соединении 4-х жил, когда кабель поднят над землей.

Результаты опытов сведены в табл. 2.

Эксперименты показали, что $V_{\text{срк}}$ при вышеуказанных условиях работы кабеля, изменяется в пределах от 90 до 240 м/мксек соответственно для экранированного и поднятого над землей кабеля. При поднятом из земли кабеле, когда одна из жил заземлена, скорость падает до 154 м/мксек. Уменьшение скорости происходит за счет сосредоточения электрического поля в основном в среде резиновой изоляции.

Для кабеля лежащего на земле (без экрана) $V_{\text{срк}} = 100$ — 105 м/мксек.

Для определения коэффициента затухания волны и деформации волны была собрана схема, изображенная на рис. 12. Затухание волны определяется из следующего соотношения:

$$\eta_k = \frac{U_{\text{хол}}}{2U_n} \quad (3)$$

где: $U_{\text{хол}}$ — напряжение холостого (разомкнутого) конца кабеля.

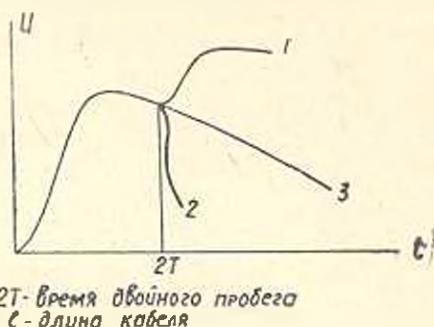


Рис. 9. Определение средней скорости распространения волны в кабеле по времени двойного пробега. Напряжение в начале кабеля: 1 — конец кабеля разомкнут; 2 — конец кабеля короткозамкнут; 3 — конец кабеля согласован.

Таблица 3

Обозначение по рас. №	Кабель 1,0 кв 4×10 мм ²			Кабель 3,0 кв 3×2,5+3×1,0 мм ²			Условия работы кабеля	
	длина фронта и длина волны в начале кабеля l_f/l_0	коэффициент затухания волны γ_k	коэффициент деформации фронта K_n	длина фронта и длина волны в начале кабеля l_f/l_0	коэффициент затухания волны γ_k	коэффициент деформации фронта K_n		
	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	—	—	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	—	—		
1	2,7/8,2	0,80	0,93	2,7/11	0,37	0,72	кабели экранированы	
2	2,7/8,2	0,82	0,94	2,7/10	0,76	0,91		
3	2,7/8,2	0,85	0,90	2,7/10	0,85	0,91		
3'	—	—	—	2,7/11	0,77	0,92		
1	2,7/40	0,75	0,86	3,3/40	0,42	0,58		кабели экранированы
2	2,7/40	0,84	0,90	3,3/37,5	0,84	0,88		
3	2,7/40	0,93	0,92	2,7/38	0,91	—		
3'	—	—	—	2,7/38	0,82	0,76		
1	1,7/5,5	0,77	0,85	1,4/2,5	0,32	0,58		кабели экранированы
2	1,7/3,8	0,81	0,86	1,3/4,0	0,67	0,70		
3	1,7/4,3	0,91	0,90	1,1/3,0	0,73	0,78		
3'	—	—	—	1,1/3,0	0,59	0,72		
1	2,0/45	0,97	0,90	3,0/38	0,89	0,96	кабели экранированы	
2	3,5/35	0,95	0,96	4,3/41	0,92	0,90		
3	3,5/30	0,95	0,95	3,36/52	0,93	0,96		
3'	—	—	—	4,8/48	0,92	0,89		
1	0,82/5,5	0,88	0,74	1,12/5,5	0,70	0,75	кабели подвешены над землей	
2	1,28/5,5	0,86	0,67	1,6/6,7	0,87	0,81		
3	1,28/5,5	0,84	0,61	3,0/6,0	0,81	0,91		
3'	—	—	—	3,35/6,7	0,85	0,85		
1	3,28/40	0,66	0,77	3,28/40	0,63	0,81	кабели лежат на земле	
2	3,68/35	0,92	0,72	2,74/41	0,84	0,94		
3	3,5/37	0,95	0,91	3,1/40	0,90	0,92		
3'	—	—	—	2,74/34	0,82	0,92		
1	1,9/4,5	0,75	0,51	1,6/5,6	0,35	0,45	кабели лежат на земле	
2	1,4/4,7	0,50	0,72	1,28/6,5	0,72	0,80		
3	1,95/5,1	0,81	0,76	1,28/5,7	0,76	0,80		
3'	—	—	—	1,42/5,6	0,74	0,78		

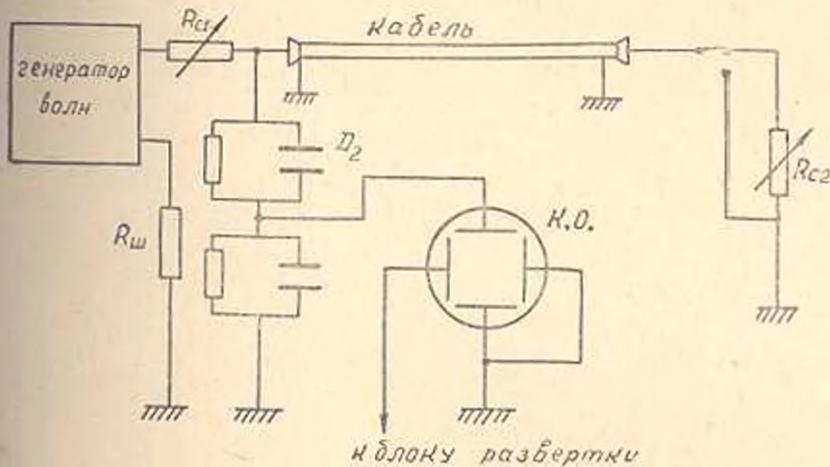


Рис. 10. Схема измерения средней скорости распространения волны.

U_n — напряжение в начале кабеля (при наличии $R_{c2} = Z_n$).

Так как время двойного пробега волна по кабелю 1,0 кв близко к длине фронта волны $2T \approx l_f$ (при длинной волне) напряжение в начале кабеля определялось при включении в конце кабеля соответствующего сопротивления $R_{c2} = Z_n$. Напряжение в конце кабеля $U_{ккк}$ измерялось при его разомкнутом состоянии, т. е. при $R_{c2} = \infty$.

По этим опытам был определен коэффициент деформации волны по кабелю K_k .

$$K_k = \frac{t_{0n}}{t_{0к}}$$

где: t_{0n} — длина фронта в начале кабеля.

$t_{0к}$ — длина фронта волны в конце кабеля.

На рис. 13 изображены осциллограммы воли напряжения в начале и в конце кабеля 3,0 кв лежащего на земле.

Результаты опытов по определению τ_k и K_k сведены в табл. 3. Для всех положений кабеля опыты были проведены при напряжениях 600—1000 вольт.



Рис. 11. Осциллограмма воли напряжения 3,0 кв. кабеля при параллельно соединенных 4-х жилах. 1—конец кабеля разомкнут; 2—конец кабеля короткозамкнут.

Таблица 2

Обозначение по рис. 5	Кабель 1,0 кв 4×10 мм ²		Кабель 3,0 кв 3×2,5+3×1,0 мм ²		Условия работы кабеля	
	длина фронта и длина волны t/λ	средняя скорость распространения волны $V_{ср}$ км	длина фронта и длина волны t/λ	средняя скорость распространения волны $V_{ср}$ км		
	$\frac{мксек}{мксек}$	$\frac{м}{мксек}$	$\frac{мксек}{мксек}$	$\frac{м}{мксек}$		
1	2,7/10	96	27/10	100	кабели экранированы	
2	2,7/10	96	27/10	138		
3	2,7/10	112	27/10	139		
3'	—	—	27/10	139		
1	2,7/40	90	3,0/40	97		
2	2,7/40	101	3,0/40	123		
3	2,7/40	101	3,0/40	133		
3'	—	—	3,0/40	126		
1	1,6/4,3	99	1,6/4,3	106		кабели подвешены над землей
2	1,6/4,3	103	1,6/4,3	140		
3	1,6/4,3	135	1,6/4,3	146		
3'	—	—	1,6/4,3	141		
1	2,7/40	241	3,0/40	210		
2	2,7/40	154	3,0/40	132		
3	2,7/40	153	3,0/40	131		
3'	—	—	3,0/40	131		
1	1,6/4,3	221	1,6/4,3	210		
2	1,6/4,3	112	1,6/4,3	144		
3	1,6/4,3	99	1,6/4,3	151		
3'	—	—	—	—		
1	3,0/40	95	3,0/40	85	кабели лежат на земле	
2	3,0/40	93	3,0/40	122		
3	3,0/40	102	3,0/40	135		
3'	—	—	3,0/40	120		
1	1,6/4,3	105	1,6/4,3	83		
2	1,6/4,3	99	1,6/4,3	134		
3	1,6/4,3	99	1,6/4,3	136		
3'	—	—	1,6/4,3	135		

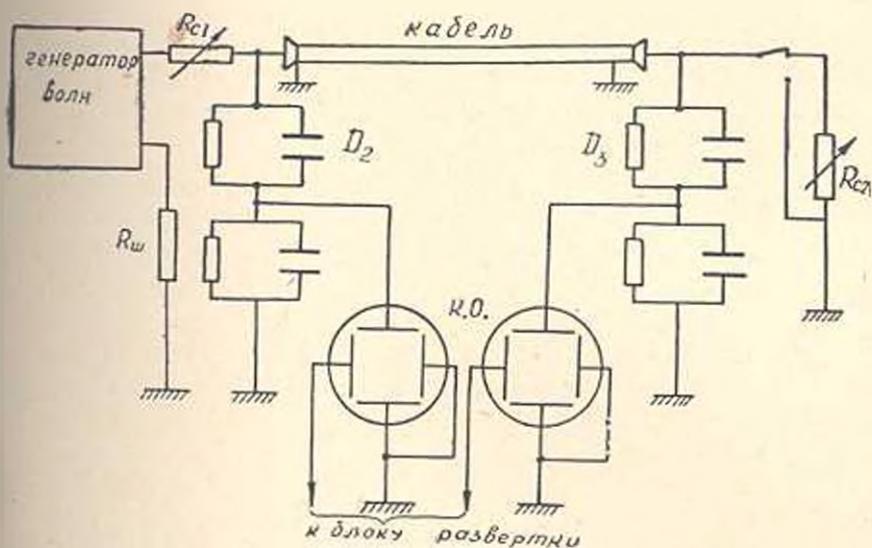


Рис 12. Схема определения затухания и деформации волн.

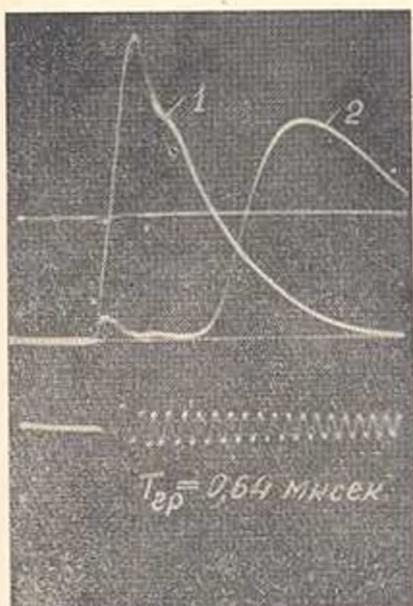


Рис. 13. Осциллограмма волн напряжения в начале (1) и в конце (2) 3,0 км. кабеля, лежащего на земле, при параллельно-сослежущих четырех жилах.

В экранированном кабеле влияние сопротивления грунта отсутствует (сопротивление экрана незначительно, так как экран был шунтирован в нескольких местах). Затухание и деформация волны в кабеле, лежащем на земле (без экрана) в основном обуславливается величинами удельного сопротивления грунта ρ_z [5], волнового сопротивления кабеля Z_k и его длиной.

Затухание и деформация волны в экранированном кабеле и в кабеле без экрана, лежащем на земле, мало отличаются друг от друга. Характерно, что затухание и деформация волны в лежащем на земле кабеле без экрана, при одной заземленной жиле, уменьшаются. Это уменьшение происходит за счет того, что заземленная жила шунтирует сопротивление грунта. При поднятом 4-х жильном кабеле затухание и деформация волны минимальны за счет увеличения волнового сопротивления кабеля.

З а к л ю ч е н и е

Произведенные измерения при различных условиях работы кабеля показали, что волновые параметры небронированного кабеля сильно зависят от условий работы кабеля и по величине значительно отличаются от обычных бронированных кабелей. При срабатывании защитных аппаратов из-за атмосферного перенапряжения, реально возможным следует считать распространение волны при параллельном соединении всех жил кабеля, в случае полностью размотанного и лежащего на земле кабеля. При этом в качестве расчетных величин волновых параметров кабеля можно принять при параметрах волн:

$$t_{\phi} = 1,2 \div 2,8 \text{ мксек} \text{ и } t_{\alpha} = 4,5 \div 40 \text{ мксек}$$

а) Волновое сопротивление $Z_k = 100 - 150 \text{ о.м.}$

б) Средняя скорость распространения волны $V_{\text{ср}} = 90 - 100 \text{ м/мксек.}$

в) Коэффициент затухания амплитуды волны напряжения, полученный при напряжениях $U = 600 - 1000$ вольт, для полностью размотанного кабеля 1,0 кв длиной 135 м, не превосходит $\eta_k \leq 0,94$, а для кабеля 3,0 кв длиной 500 м $\eta_k \leq 0,64$.

г) Коэффициент деформации фронта волны, при тех же условиях не превосходит $K_k \leq 0,7 - 0,8$.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность проф. М. В. Костенко, проявившему большой интерес к настоящей работе и давшему ценные указания и советы, как при проведении работы, так и при обсуждении ее результатов.

Автор благодарен также доценту Н. А. Козыреву, инж. А. П. Сивкову и инж. Л. С. Кротману, проявившим большое внимание к работе и оказавшим помощь в проведении экспериментов и в технической обработке их результатов.

Մ. Մ. ԿԱՐԱԳԻՏՅԱՆ

ՇՐՋԻՆԻ ՏՆՂԱԿԱՒԱՅՈՒՄՆԵՐՈՒՄ ՕԳՏԱԳՈՐԾՎՈՂ ՃԿՈՒՆ ԿԱՐԵԼՆԵՐԻ ԱՎԻՔԱՅԻՆ ԻՆՈՒԹԱԳՐՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Էլեկտրականացված շրջիկ տեղակայումների հզոր պարզացումը, որոնք օգտագործվում են տարֆային արդյունաբերությունում, գյուղատնտեսությունում և շինարարությունում մեջ, խիստ առաջ է քաշում հիշյալ տեղակայումների էլեկտրական սարքավորումների անվտանգությունը և անվթարությունը հարցը։ Երկար տարիների շահագործման փորձը ցույց է տվել, որ այդ տեղակայումները ենթարկվում են միջնորոտային գերլարումների (կայծակի) ազդեցությանը, որի պատճառով շահագործումից դուրս են գալիս էլեկտրական սարքավորումները։ Այդ պատճառով հիշյալ սարքավորումների կայծակից պաշտպանելու հարցը ամենակարևոր հարցերից մեկն է նրա շահագործման ընթացքում։

Շրջիկ էլեկտրական տեղակայումները կայծակից պաշտպանելու սխեման մշակելիս անհրաժեշտ է ունենալ նշված տեղակայումների էլեմենտների ալիքային բնութագրերը, որոնց մեջ կարևոր նշանակություն ունեն նաև այդ տեղակայումներում օգտագործվող առանց զրահի ճկուն կարելներին ալիքային բնութագրերը, ինչպես օրինակ՝ կարելի ալիքային զիմպուլսությունը Z_4 , էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման միջին արագությունը V_4 , էլեկտրամագնիսական ալիքի մարումը՝ τ_4 և նրա ազատագումը K_4 ։

Հիշյալ կարելները շահագործման ընթացքում կարող են աշխատել առբեր պայմաններում, որից կարող են խիստ փոփոխվել կարելի ալիքային պարամետրերը, ինչպես օրինակ՝ երբ գետինը խոնավ է (անձրևից նետ), կամ ունի տնարթուծյուններ, որի պատճառով կարելն իր երկարությունը գետնի նետ շփվում է մի քանի տեղում։ Այդ իսկ պատճառով առանց զրահի կարելի ալիքային պարամետրերը որոշվել են կարելի նետելու պայմաններում։

- ա) կարել—զրահավորված արհեստական ալյումինի էկրանով,
- բ) կարել—առանց զրահի, գետնից բարձրացված 25—30 սմ,
- գ) կարել—առանց զրահի, փոխած գետնի վրա։

Այդ երեք փորձերի ավելանքը չեն կարող լրիվ համապատասխանել իրական սեղ պայմանների ավելանքին, այլ ներառ ցույց կտան, թե ինչ առանձններում կարող են փոփոխվել ալիքային պարամետրերը նրա շահագործման ընթացքում։

Հողվածում գետնիցված են շրջիկ էլեկտրականացված տեղակայումներում օգտագործվող երկու տիպի 4×10 մմ² և $3 \times 2,5 + 3 \times 1,0$ մմ² ճկուն կարելների (առանց զրահի) ալիքային բնութագրերը։

Չափումները ցույց են տվել, որ առանց զրահի կարելի ալիքային պարամետրերը մերը նշված պայմաններում փոփոխվում են մեծ սահմաններում և խիստ տարբերվում են զրահով կարելների ալիքային պարամետրերի չափից։

Միջնորոտային գերլարումների պատճառով, երբ աշխատում են պաշտպանի սարքավորումները, բարձր լարման ալիքի աարածման ննարավոր

դեպք կարելի է բնդունել ալիքի տարածումը կարելի՞ դուրսն ա միացված չորս ֆիդերով, երբ կարելի ամբողջ երկարությամբ փոփած է գետնի վրա։ Այդ դեպքում կարելի ալիքային պարամետրերի հաշվարկին մեծութունները (երբ ալիքի պարամետրերն են $\tau_c = 1,2-1,8$ մկ վրկ, $\tau_n = 1,5-40$ մկ վրկ) կարելի է ընդունել։

ա) ալիքային դիմադրությունը $Z_k = 100-150$ օմ

բ) ալիքի տարածման միջին արագությունը $V_{\text{սկ}} = 90-100$ մ/մկ վրկ.

գ) լարման ալիքի մարման գործակիցը չի գերազանցում $\gamma_k \leq 0,94$ (1,0 կվ կարելի համար, երկարությունը 135 մ), $\gamma_k \leq 0,64$ (3,0 կվ կարելի համար, երկարությունը 500 մ)։

դ) լարման ալիքի ազդագման գործակիցը նույն պայմաններում չի գերազանցում $\kappa_k \leq 0,7-0,8$ ։

Լարման ալիքի մարման և ազդագման գործակիցները որոշվել են $U = 600-1000$ վ լարման դեպքում։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д. В. Развиг. Электричество, № 5, 1948. Затухание волн в кабелях.
2. Отчет ЛПИ имени Калинина и Лаборатории электротехники АН Арм. ССР 1. Исследование волновых параметров кабелей и двигателя электротракторного агрегата. 2. Исследование перенапряжений на электротракторе и разработка схемы его грозозащиты. Ленинград, 1954 г.
3. Отчет ЛПИ им. Калинина. Разработка методики исследования и предварительные исследования волновых параметров электрических машин. Ленинград, 1954 г.
4. Л. Н. Сиротинский, Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках. Изд. ГЭИ, 1946 г.