

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. М. КАРАПЕТЯН

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННОГО И ВЗАИМНОГО
ВОЛНОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЖИЛ ШЛАНГОВЫХ
И СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

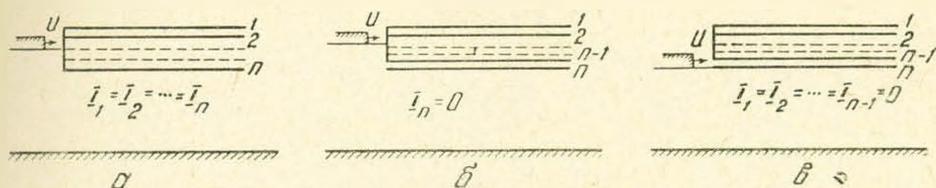
Величина атмосферного перенапряжения в подвижной машине передвигного электрифицированного агрегата при данной проходящей волне существенно зависит от электромагнитной связи между жилами подводящего небронированного кабеля. Поэтому знание эквивалентного $Z_{ан}$, собственного Z_{11} и взаимного Z_{12} волновых сопротивлений необходимо для расчета величины атмосферных перенапряжений и разработки схемы грозозащиты подвижной машины, где устанавливаются электродвигатели.

Волновые процессы в многожильных кабелях, особенно небронированных, изучены мало [1, 2]. Между тем в этих кабелях волновые процессы значительно отличаются от волновых процессов, происходящих в линиях электропередач. В небронированном кабеле процесс происходит в неоднородной среде (резина, воздух и земля). Вследствие недостаточной гибкости кабеля и неровности земли, кабель соприкасается с землей не по всей длине. Поэтому в кабеле волновые процессы и его волновые параметры будут существенно отличаться от волновых процессов, происходящих в линиях электропередач.

Строгое аналитическое решение задачи частичных волновых сопротивлений (Z_{11} , Z_{12}) многожильного кабеля является весьма сложным.

В настоящей работе предлагается способ определения собственного Z_{11} и взаимного Z_{12} волновых сопротивлений, а также эквивалентного сопротивления $n - 1$ жил кабеля, когда его n -я жила в начале изолирована. В работе [2] автором дается метод определения $Z_{эз}$ и Z_{12} для двух типов кабелей. Эта методика справедлива для начальной стадии волнового процесса, пока еще остается в силе допущение относительно малости продольных составляющих электрического поля.

Рассмотрим в общем случае эквивалентное, собственное и взаимное волновые сопротивления многожильного кабеля с числом жил n , когда все жилы имеют одинаковые собственные $Z_{11} = Z_{22} = \dots = Z_{nn}$ и взаимные $Z_{12} = Z_{23} = \dots = Z_{km}$ волновые сопротивления, где $k = 1, 2, 3, \dots, n$ и $k \neq m$. Рассмотрим начальную стадию процесса, когда $t < 2T_k = \frac{2l_k}{v_k}$ ($2T_k$ — время двойного пробега волны, l_k — длина кабеля, v_k — скорость распространения электромагнитной волны). Составим систему уравнений, связывающую потенциалы (напряжение

Рис. 1. Схемы соединения жил кабеля для определения Z_{11} и Z_{12} .

ние зарядов плоскости перпендикулярной оси кабеля. При подстановке $I_n = 0$ в уравнение (1) получим напряжение в изолированной n -ой жиле: $U_n = I_1(n-1)Z_{12}$. Отсюда коэффициент связи изолированной n -ой жилы относительно жил 1, 2... $n-1$ равен

$$K_{en} = \frac{(n-1)Z_{12}}{Z_{11} + (n-2)Z_{12}}. \quad (4)$$

В частности коэффициент связи изолированной четвертой жилы у четырехжильного кабеля относительно трех жил будет $K_{e4} = \frac{3Z_{12}}{Z_{11} + 2Z_{12}}$.

Если обозначим

$$K'_c = \frac{Z_{12}}{Z_{11}}, \quad (5)$$

то получим

$$K_c = \frac{3K'_c}{1 + 2K'_c}. \quad (5')$$

При учете граничных условий n -ой жилы кабеля из уравнения (1) можно получить выражение эквивалентного волнового сопротивления кабеля с количеством жил $n-1$:

$$Z_{э(n-1)} = \frac{Z_{11} + (n-2)Z_{12}}{n-1}. \quad (6)$$

В частности для четырехжильного кабеля имеем $Z_{э3} = \frac{Z_{11} + 2Z_{12}}{3}$.

в) Волна U распространяется по n жиле кабеля, когда остальные жилы $n-1$ изолированы (рис. 1в). В этом случае имеем $U = U_n = I_n Z_{11}$; $U' = U_1 = U_2 = \dots = U_{n-1} = I_1 Z_{12}$, откуда коэффициент связи изолированных $n-1$ жил относительно n равен $K'_c = \frac{Z_{12}}{Z_{11}}$, т. е.

то, что было обозначено в (5). Учитывая граничные условия n ой жилы (рис. 1в) из уравнения (1) вытекает общезвестное выражение: $Z_{э1} = Z_{11}$, т. е. эквивалентное волновое сопротивление одной n -ой жилы не зависит от общего числа жил кабеля.

В случае, когда шестижильный кабель (3,0 кВ) без экрана лежит на земле имеем $K_c = 0,87$, $K'_c = 0,86$. Это показывает, что эквивалентное

волновое сопротивление трех „рабочих“ ($3 \times 2,5 \text{ мм}^2$) и трех „нулевых“ ($3 \times 1,0 \text{ мм}^2$) жил практически одинаковы [2].

Для проверки принятых упрощений сравним значения K_c (для двух типов кабелей) [1, 2], определенных из опыта и из (5), где K_c найден опытным путем. Сопоставление расчетных и опытных значений показывает их удовлетворительную сходимость.

В таблице 1 приведены опытные и расчетные величины Z_{11} , Z_{12} и Z_{33} для двух типов небронированных резиновых кабелей на напряжение 1,0 и 3,0 кв [1, 2].

Таблица 1

Тип кабеля	Z_{33} ом		Z_{11} ом		Z_{12} ом	Условие работы кабеля
	расч.	опытн.	расч.	опытн.		
КШЭП $4 \times 10 \text{ мм}^2$	21,0	22,0	40,9	40,5	11,1	В искусственном экране Без экрана. Кабель лежит на земле.
	124	130	139	145	118	
Опытный $3 \times 2,5 + 3 \times 1,0 \text{ мм}^2$	27,0	26,0	46,2	46,0	17,4	В искусственном экране Без экрана. Кабель лежит на земле.
	124	120	144	151	115	

Приведенные в таблице 1 данные показывают, что при определении Z_{11} , Z_{12} и Z_{33} по предлагаемому способу, максимальная ошибка не превышает 5%.

Анализ показывает, что в общем случае в n -жильном кабеле, при заданном Z_{33} и коэффициенте связи K_c , изолированных $n-1$ жил относительно жил n , можно при помощи уравнений (2) и (5) найти собственное Z_{11} и взаимное Z_{12} волновые сопротивления жил кабеля:

$$Z_{11} = \frac{nZ_{33}}{1 + (n-1)K_c}, \quad (7)$$

$$Z_{12} = \frac{nZ_{33}K_c}{1 + (n-1)K_c}. \quad (8)$$

Имея значение Z_{11} и Z_{12} можно найти эквивалентные волновые сопротивления при различных схемах соединения жил кабеля, а также коэффициенты связи, необходимые для расчета перенапряжений в подвижной машине передвижного электрофицированного агрегата.

Մ. Մ. ԿԱՐԿԳԵՏՅԱՆ

ՃԿՈՒՆ ԵՎ ՌԻՖԱՅԻՆ ԿԱՌԵԼՆԵՐԻ ՋԻՂԵՐԻ ՍԵՓԱԿԱՆ ԵՎ ՓՈՆԱԳԱՐՁ ԱՂԻՔԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ա մ փ ո փ ու մ

Մթնոլորտային գերլարման մեծությունը տեղափոխելի տեղակայումներում ավյալ եկող ալիքի ղեկքում կախված է տեղակայմանը էլեկտրաէներգիայով սնող կարելի ջիղերի միջև գոյություն ունեցող էլեկտրամագնիսական կապի մեծությունից՝ K կ. վերջինը կախված է կարելի ջիղերի սեփական Z_{11} և փոխադարձ Z_{12} ալիքային դիմադրությունների մեծություններից: Այդ պատճառով տեղափոխելի տեղակայումների ամպրոպից պաշտպանելու սխեմաները մշակելիս անհրաժեշտ է սենսալ Z_{11} և Z_{12} ալիքային դիմադրությունների մեծությունները: Բազմաջիղ կարելիների սահմանային պայմանների անորոշության պատճառով որոշել մաթեմատիկական մեթոդով Z_{11} և Z_{12} դիմադրությունների մեծությունները բավականին դժվարությունների հետ է կապված և շատ ղեկքերում անհնարին է: Եթե նույնիսկ հայտնի են կարելի ջիղերի սահմանային պայմանները, ապա նրա էլեկտրական անհամասեռ դաշտի բարդության պատճառով (հատկապես առանց զրահի կարելիների համար) այդ հարցը տեսականորեն որոշելը դառնում է անհնարին:

Այդ իսկ առումով հողվածում բերված են կարելի ջիղերի համարժեք Z_{11} սեփական Z_{11} և փոխադարձ Z_{12} ալիքային դիմադրությունների, նրա ջիղերի միջև գոյություն ունեցող էլեկտրամագնիսական կապի գործակցի K մեծությունների հաշվարկման ընթացքը կարելի ջիղերի միացման հետևյալ երեք ղեկքերում՝

ա) ալիքը տարածվում է կարելի բոլոր n ջիղերով (նկ. 1ա), բ) ալիքը տարածվում է կարելի $n-1$ ջիղերով, երբ n ջիղը մեկուսացված է (նկ. 1 ճ), գ) ալիքը տարածվում է կարելի n ջիղով, երբ մնացած $n-1$ ջիղերն են մեկուսացված (նկ. 1 ծ):

Հաշվարկումները կատարվել են նաև 2 մասնակի ղեկքերում առանց զրահի սեփական ճկուն կարելիների համար:

Ալիքային դիմադրությունների (Z_{11} , Z_{12} և Z_{13}) հաշվային և փորձնական ավյալները ցույց են տալիս բավարար գույամերձություն: Այդուհանդերձ 1 բերված են Z_{11} , Z_{12} և Z_{13} հաշվային և փորձնական ավյալները 2 տիպի առանց զրահի սեփական կարելիների համար: Այդուհանդերձ բերված ավյալները ցույց են տալիս, որ Z_{11} , Z_{12} և Z_{13} որոշման առաջարկված մեթոդով ստացված մեծությունների ամենամեծ սխալը 5% -ից չի անցնում:

Հիշյալ հողվածում բերվում է կարելի ջիղերի սեփական Z_{11} և փոխադարձ Z_{12} ալիքային դիմադրությունների որոշման ընդհանուր մեթոդ: Կարելի բոլոր ջիղերի ալիքային համարժեք դիմադրության Z_{11} և նրանց միջև գոյություն ունեցող կապի գործակցի՝ K կառուցվածքի ղեկքում, որոնք հեշտությամբ փորձով որոշվում են, (2) և (5) բանաձևերի միջոցով, տրվում են Z_{11} և Z_{12} ալիքային դիմադրությունների որոշման բանաձևերը (7) և (8): Հողվածում բերված են երկու տիպի կարելիների (առանց զրահի) սեփական և փոխադարձ ալիքային դիմադրությունների մեծությունները:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карапетян М. М.* Волновые характеристики гибких кабелей передвижных установок. „Известия АН АрмССР“ (серия технических наук), т. X, № 3, 1957.
2. *Карапетян М. М.* Некоторые вопросы волновых процессов в передвижных электрифицированных установках. „Известия АН АрмССР“ (серия технических наук), т. X, № 4, 1957.