

# ЭЛЕКТРОНИКА И АВТОМАТИКА ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

---

---

**Ф.Ф. МЕНДЕ**

доктор техн. наук, директор  
НИИ Криогенного приборостроения  
Физико-технический институт низких температур  
им Б.И. Веркина НАН Украины  
Харьков, Украина  
E-mail: mende\_fedor@mail.ru

## КАК СКОРОСТЬ УДЛИНЕНИЯ ДЛИННОЙ ЛИНИИ ВЛИЯЕТ НА ЕЕ ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

*В статье рассмотрено поведение входного сопротивления длинной линии, удлиняющейся механическим способом. Показано, что это сопротивление зависит от скорости удлинения линии и может приобретать отрицательные значения в случае сокращения длины линии. Показано также, что в том случае, когда линия удлиняется со скоростью большей, чем скорость распространения сигналов в ней, такая линия имеет входное сопротивление, равное входному сопротивлению бесконечной линии.*

**Ключевые слова:** длинная линия, погонная емкость, погонная индуктивность, волновое сопротивление линии.

**F.F. MENDE**

Doctor of Techn. Sciences, Director  
Research institute for cryogenic instrument  
engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature  
Physics and Engineering NAS Ukraine  
Kharkov, Ukraine  
E-mail: mende\_fedor@mail.ru

## НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

*In the article the behavior of line impedance, which is lengthened by mechanical method, is examined. It is shown that this resistance depends on the rate of lengthening line and can acquire negative importance in the case of the decrease of the length of line. It is shown also, that when the line is lengthened with the speed of larger than the signal velocity in it, this line has the input resistance, equal to the input resistance of infinite line.*

**Key words:** long line, linear capacity, linear inductance, line characteristic.

## 1. Входное сопротивление длиной линии, удлиняющейся механическим способом

Если величина емкости или разности потенциалов на емкости зависят от времени, то величина тока, текущего через емкость определяется соотношением:

$$I = C \frac{dU}{dt} + U \frac{dC}{dt}.$$

Таким образом, ток в цепи, содержащей емкость, можно получить двумя способами: изменяя напряжение на емкости при постоянной емкости или изменяя емкость при неизменном напряжении, или производить изменение обоих параметров одновременно.

В том случае, если изменяется емкость, и на ней поддерживается неизменное напряжение  $U$ , имеем:

$$I = U \frac{dC}{dt}.$$

Напряжение на индуктивности равно

$$U = L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}.$$

Когда ток  $I$ , протекающий через индуктивность, постоянен, а изменяется индуктивность, получаем:

$$U = I \frac{dL}{dt}.$$

Предположим, что у нас имеется длинная линия, длина которой изменяется механическим путем по закону  $z = vt$ . Тогда емкость и индуктивность линии будут изменяться по закону

$$C(t) = zC_0 = vt C_0,$$

$$L(t) = zL_0 = vt L_0,$$

где  $C_0$  и  $L_0$  – погонная емкость и индуктивность линии.

Если к линии подключить источник напряжения  $U$ , то он будет заряжать увеличивающуюся емкость линии, для чего от источника в линию будет течь ток

$$I = U \frac{dC(t)}{dt} = vUC_0. \quad (1)$$

Этот ток будет течь через проводники линии, обладающие индуктивностью. Но, поскольку индуктивность линии увеличивается на ней будет наблюдаться падение напряжения

$$U = I \frac{dL(t)}{dt} = vIL_0 = v^2UC_0L_0. \quad (2)$$

Разделив (2) на (1), получим активное сопротивление линии

$$R(v) = vL_0. \quad (3)$$

Если учесть, что скорость распространения в линии определяется соотношением

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0C_0}}, \quad (4)$$

то активное сопротивление линии  $n$  может быть выражено в долях этой скорости

$$nv_0, \quad (5)$$

где коэффициент  $n$  меньше единицы.

Подставляя (5) в (3) и учитывая (4), получаем:

$$R(v) = n \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = nZ_0,$$

где  $Z_0$  – волновое сопротивление линии.

Если линия не расширяется, а сокращается, то активное сопротивление становится отрицательным. Это означает, что линия не поглощает энергию, а отдает ее во внешние цепи.

Возникает вопрос, как будет вести себя сопротивление линии, если линия будет удлиняться со скоростью, большей чем  $v_0$ . Для ответа на этот вопрос рассмотрим случай подключения источника постоянного напряжения к бесконечной длинной линии.

Будем считать, что фронт напряжения, который соответствует моменту подключения к линии источника постоянного напряжения, движется по линии с какой-то скоростью  $v_0$  и текущая координата этого фронта определится соотношением  $z = v_0 t$ . При этом суммарная величина заряженной емкости и величина суммарной индуктивности, по которой протекает ток, отсчитываемые от начала линии до места нахождения фронта напряжения, будут изменяться по закону [1...3]:

$$C(t) = zC_0 = v_0 t C_0,$$

$$L(t) = zL_0 = v_0 t L_0.$$

Источник напряжения  $U$  будет при этом заряжать увеличивающуюся емкость линии, для чего от источника к заряжаемой линии в соответствии с соотношением (3) должен течь ток:

$$I = U \frac{dC(t)}{dt} = v_0UC_0.$$

Этот ток будет течь через проводники линии, обладающие индуктивностью. Но, поскольку индуктивность линии в связи с движением фронта напряжения, тоже увеличивается, то в соответствии с

соотношением (4), на ней будет наблюдаться падение напряжения:

$$U = I \frac{dL(t)}{dt} = v_0 IL_0 = v_0^2 UC_0 L_0.$$

Из этого соотношения сразу находим, что скорость движения фронта напряжения при заданных погонных параметрах линии и при наличии на входе линии постоянного напряжения  $U_1$  должна составлять

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}.$$

Это означает, что линия, длина которой увеличивается со скоростью большей чем  $v_0$ , будет вести себя как бесконечно длинная линия, поскольку фронт напряжения не сможет достичь ее конца.

### Заключение

В статье рассмотрено поведение входного сопротивления линии, удлиняющейся механическим способом. Показано, что это сопротивление зависит от скорости удлинения линии и может приобретать отрицательные значения в случае сокращения длины линии. Показано также, что в том случае, когда линия удлиняется со скоростью большей, чем скорость распространения сигналов в ней, такая

линия имеет входное сопротивление, равное входному сопротивлению бесконечной линии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менде Ф.Ф. *Великие заблуждения и ошибки физиков XIX–XX столетий. Революция в современной физике*. Харьков: НТМТ, 2010, 176 с.
2. Менде Ф.Ф. *Новая электродинамика. Революция в современной физике*. Харьков, НТМТ, 2012, 172 с.
3. Менде Ф.Ф. Новые подходы в современной классической электродинамике. Часть I // *Инженерная физика*. 2013. № 1. Сс. 35...49.

### REFERENCE

1. Mende F.F. *Velikie zabluzhdeniya i oshibki fizikov XIX–XX stoletiy. Revolyutsiya v sovremennoy fizike* [Great misconceptions and errors physicists XIX–XX centuries. Revolution in modern physics]. Kharkov: Publishing House «NTMT», 2010.
2. Mende F.F. *Novaya elektrodinamika. Revolyutsiya v sovremennoy fizike* [New electrodynamics. Revolution in the modern physics]. Kharkov: Publishing House «NTMT», 2012, 163 p.
3. Mende F.F. *Novye podkhody v sovremennoy klassicheskoy elektrodinamike. Chast' I* [New approaches in contemporary classical electrodynamics. Part I]. *Inzhenernaya fizika* [Engineering Physics]. 2013. № 1. Pp. 35...49.

---

### Сведения об авторе

**Менде Федор Федорович**, доктор техн. наук, директор

E-mail: [mende\\_fedor@mail.ru](mailto:mende_fedor@mail.ru)

НИИ Криогенного приборостроения Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины

61103, Украина, Харьков, пр. Ленина, 47

### Information about author

**Mende Fedor F.**, Doctor of Techn. Sciences, Director

E-mail: [mende\\_fedor@mail.ru](mailto:mende_fedor@mail.ru)

Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering NAS Ukraine

61103, Kharkov, Ukraine, Lenin Ave., 47

---

### Уважаемые читатели!

В журнале № 9.2015 в статье Скворцова В.К. «Физический смысл вектора электрического смещения и напряженности магнитного поля. Элементарный диск местной поляризации. Элементарная трубка местного намагничивания» на стр. 13 была допущена опечатка в формуле, характеризующей напряженность электрического поля. Было  $\mathbf{E}_0 = \mathbf{P} / \varepsilon_0 \frac{1}{\sqrt{1 + R^2 / a^2}}$ , а следует читать

$$\mathbf{E}_0 = \mathbf{P} / \varepsilon_0 \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + R^2 / a^2}} \right).$$