



Холдинговая компания "ЭМЗ"  
ООО "Ярославский электромеханический завод"

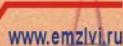
# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ИСПЫТАНИЮ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ КЛАССА 5-138 кВ  
УСТАНОВКАМИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО  
НАПРЯЖЕНИЯ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ СЕРИИ VLF

## ЛВИ НУТ

ЯЭМЗ

ЯРОСЛАВЛЬ



[www.emzlv.ru](http://www.emzlv.ru)



г. Ярославль,  
апрель 2010 г.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ ЛВИ НУТ - ВЫПУСК № 4

Методические указания по испытанию силовых кабелей класса 5-132 кВ установками переменного синусоидального напряжения сверхнизкой частоты серии VLF.



**Холдинговая компания «ЭМЗ»**  
**Ярославский электромеханический завод**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**ПО ИСПЫТАНИЮ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ КЛАССА 5 - 138 кВ  
УСТАНОВКАМИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО  
НАПРЯЖЕНИЯ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ СЕРИИ VLF**



**г. Ярославль, Апрель 2010**

**Граппа авторов:**

Дивногорцев В.Л. - инженер-электрик, Старосельская Ю.Ю.- инженер-электрик,

**Руководитель группы:**

Гнатко В.С – кандидат экономических наук, президент компании.

Настоящие "Методические указания по испытанию силовых кабелей класса 5 – 138 кВ установками переменного синусоидального напряжения сверхнизкой частоты серии VLF" входят в курс лекций по тематике продукции выпускаемой холдинговой компанией «ЭМЗ». Методика вошла также в новое 4-е переработанное и дополненное издание «Справочника Пользователя ЛВИ НVT».

Задача настоящей методики – сориентировать пользователя в своих шагах при работе с установками серии VLF, а также гармонизировать действующие в России Правила и Методики с международными стандартами базирующимися на огромной мировой практике эксплуатации кабелей из сшитого полиэтилена. Это необходимо еще и потому, что нахлынувшие в Россию множество типов установок для работы с кабелем из сшитого полиэтилена рекламируются как исключительные и только они пригодные для испытания подобных кабелей. Настоящая Методика основывается на международных стандартах и огромной практике применения в полевых условиях установок серии VLF и указывает на необходимость системного и методологического подхода при организации работ по испытанию силовых кабелей. Авторы уделили также внимание некоторым теоретическим вопросам в оценке и выборе величин испытательных напряжений, что позволяет ответить на некоторые вопросы, возникавшие на семинарах о причине выбора того или иного испытательного напряжения.

При составлении методики авторами были использованы международные стандарты, статистические и тестовые отчеты, а также технические материалы компании HVInc. (США).

Методические указания рекомендованы техническим работникам электросетевых предприятий, отделов главного энергетика промышленных предприятий, ремонтным электросетевым и энергетическим службам, специалистам, занятым на обслуживании лабораторий серии ЛВИ НVT производства ООО ЯЭМЗ.

Гнатко В.С., Дивногорцев В.Л. Старосельская Ю.Ю. 2010-04-22

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	5
2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	5
3. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СОКРАЩЕНИЯ.....	5
4. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	5.
5. КОНСТРУКЦИЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ.....	6
6. ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ФАЗНЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ.....	10
7. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СВЕХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ 0,1...0,01Гц ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЙ.....	11
8. ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИСПЫТАНИЙ.....	14
9. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ.....	16
10. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ.....	18
11. ИСПЫТНИЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ ПЕРЕМЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ СВЕХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (ОТ 0,01 Гц ДО 0,1Гц) УСТАНОВКАМИ СЕРИИ VLF .....	18
12. ЛИТЕРАТУРА .....	21



## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящие Методические указания распространяются на силовые кабели с любым типом изоляции.

В методических указаниях изложены способы испытаний силовых кабелей переменным напряжением сверхнизкой частоты

«Методические указания по испытанию силовых кабелей класса 5 – 138 кВ установками переменного синусоидального напряжения сверхнизкой частоты серии VLF» рекомендуются к применению персоналу электрических станций, электрических сетей, подстанций, а также наладочных и ремонтных предприятий.

## 2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Следующие нормативные документы содержат положения, на которые даются ссылки в этом тексте.

ГОСТ 15845-80 "Изделия кабельные. Термины и определения "

ГОСТ 16442-80 "Кабели силовые с пластмассовой изоляцией"

ГОСТ 12.3.019–80 "Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности"

ГОСТ 12.2.007-075 "ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности"

BS EN 50191:2001 "Erection and operation of electrical test equipment"

IEEE Std 400 -2001 "Guide for Field Testing and Evaluation of Insulation of Shielded Power Cable Systems"

IEEE Std 400.2 2004 "Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)"

IEC 60840 «Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ( $U_m = 36$  kV) up to 150 kV ( $U_m = 170$  kV) – Test methods and requirements»

## 3. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

КЛ – кабельная линия

СПЭ – изоляция из сшитого полиэтилена

СНЧ – сверхнизкая частота

#### 4. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящих методических указаниях применяют следующие термины и определения:

**Силовой кабель** - кабель для передачи электрической энергии токами промышленных частот

**Пропитанная бумажная изоляция** - многослойная изоляция из лент кабельной бумаги и изоляционного пропиточного состава

**Номинальное напряжение** – напряжение кабеля, являющееся стандартным напряжением, на которое рассчитан кабель и которое служит для определения параметров электрических испытаний.

**Испытательное напряжение** - напряжение заданной формы и длительности, которое прикладывается к изоляции для определения какой-либо ее характеристики.

**Линейное напряжение (U)** - напряжение между двумя фазными проводниками 3-х фазного кабеля или 3-х фазной кабельной системы. Линейное напряжение характеризует класс кабеля.

**Фазное напряжение (U<sub>0</sub>)**– напряжение между фазным проводником и заземленным экраном (экранами) 3-х фазного кабеля или 3-х фазной кабельной системы.

**Installation test** (Испытания после прокладки) – полевые испытания, которые проводятся после прокладки кабеля до выполнения соединений. Испытание предназначено для обнаружения повреждений, возникших при хранении, транспортировке или прокладке.

**Acceptance test** (Приемочные испытания) – полевые испытания, которые проводятся после прокладки и монтажа кабельной системы, включая монтаж концевых муфт и кабельных соединений, до введения в работу кабельной системы. Испытание предназначено для обнаружения повреждений, возникших после прокладки кабеля, или ошибок при установке кабельной арматуры.

**Maintenance test** (Профилактические испытания) – полевые испытания, которые проводятся в течении срока службы кабельной системы. Они предназначены для обнаружения повреждений, вызванных старением изоляции или другими причинами, с целью проверки пригодности кабельной системы к дальнейшей эксплуатации и составления планов технического обслуживания.

**Водные трининги** – это повреждения полимера, развивающиеся на технологических дефектах изоляции при совместном действии электрического поля и влаги, диффундирующей из окружающей среды.

#### 5. КОНСТРУКЦИЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ

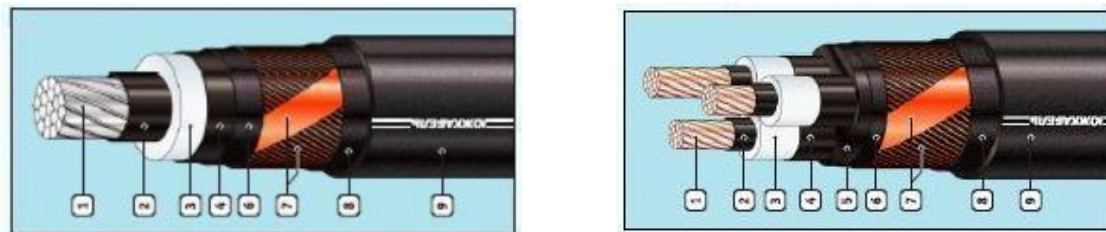
Силовые кабели предназначены для передачи по ним на расстояние электроэнергии, используемой для питания электрических установок.

Силовой кабель состоит из следующих основных элементов:

- токопроводящей жилы (жил);
- изоляции;
- экрана;
- оболочек.

Помимо указанных элементов в конструкцию силовых кабелей могут входить полупроводящие выравнивающие слои, нулевые жилы, жилы защитного заземления, защитные покровы и заполнители. В зависимости от назначения и условий эксплуатации кабелей и проводов экран и наружные покровы могут отсутствовать.

По количеству жил силовой кабель разделяется на 1-жильный и многожильный.



а)

б)

- 1 – многопроволочная, уплотненная токопроводящая жила
- 2 – внутренний экструдированный полупроводящий слой
- 3 – изоляция из сшитого полиэтилена
- 4 – внешний экструдированный полупроводящий слой
- 5 – экструдированное полупроводящее заполнение (для 3-х жильных кабелей)
- 6 – слой обмотки полупроводящим полотном
- 7 – медный экран
- 8 – слой обмотки нетканым полотном или пластмассовой лентой
- 9 – наружная оболочка из поливинил-хлоридного пластиката, ПВХ пластиката пониженной горючести или ПВХ пластиката пониженной пожароопасности

**Рис.1.** Конструкция силового кабеля

а) 1-жильный кабель

б) 3-х жильный кабель

Изоляция силового кабеля разделяется на следующие виды: пропитанная бумажная изоляция, полимерная изоляция, сшитый полиэтилен.

Изоляция кабелей может быть обозначена следующим образом:

- EPR – изоляция из этилен-пропиленовой резины
- PE – полиэтиленовая изоляция
- PILC – пропитанная бумажная изоляция
- RIP – резино-бумажная изоляция
- XLPE – изоляция из сшитого полиэтилена
- TR-XLPE – изоляция из триингостойкого сшитого полиэтилена

Маркировка силовых кабелей обычно включает буквы, обозначающие материал, из которого изготовлены жилы, изоляция, оболочка, и тип защиты покрова. Маркировка кабелей высокого напряжения (свыше 35кВ) отражает также особенности его конструкции.

Буквенные обозначения в маркировке силовых кабелей

Таблица 1.

Буква или сочетание букв	Значение буквы или сочетания букв	Буква или сочетание букв	Значение буквы или сочетания букв
А	Алюминиевая жила	С	Свинцовая оболочка
АС	Алюминиевая жила и свинцовая оболочка	О	Отдельные оболочки поверх каждой фазы
АА	Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка	В- в конце обозн. через черточку	Обедненно - пропитанная бумажная изоляция
Б	Броня из двух стальных лент с антикоррозийным защитным покровом	Ц	Бумажная изоляция , пропитанная нестекающим составом
Бн	То же , но с негорючим защитным покровом ( не поддерживающим горение )	НР	Резиновая изоляция и оболочка из резины , не поддерживающей горение
Г	Отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки	В	Изоляция или оболочка из поливинилхлорида
л (2л)	В подушке под броней имеется выпрессованный шланг из поливинилхлорида (полиэтилена)	П	Изоляция или оболочка из термопластичного полиэтилена
Шв (Шп)	Защитный покров в виде выпрессованного шланга (оболочки) из поливинилхлорида ( полиэтилена )	Пс	Изоляция или оболочка из самозатухающего полиэтилена (не поддерживающего горение)
К	Броня из круглых оцинкованных стальных проволок , поверх которых наложен защитный покров	Пв	Изоляция из вулканизированного полиэтилена
П	Броня из оцинкованных плоских проволок , поверх которых наложен защитный покров	ББГ	Броня профилированной стальной ленты
		У	Для кабелей , изготовленных после 01.04.85.Изоляция может работать при температурах 80 , 70 , 60°С соответственно для кабелей на напряжение 6 , 10 , 20 , 35 кВ



**Пример 1:**



VDE - кодировка силовых кабелей с изоляцией из пластика

**Таблица 2.**

Провод/жила	N	Кабель выполнен в соответствии с немецким стандартом. Медный проводник специальным символом не обозначается
	A	Алюминиевая жила (NA2XSY 1x95 SE,6/10kV)
	Y	Изоляция или оболочка из поливинилхлорида NA2XSY 1x50 SE,6/10kV)
	2X	Изоляция из сшитого полиэтилена XLPE (NA2XSY 1x50 SE,6/10kV)
Концентрический проводник, экран	S	Экран из медной проволоки и медной ленты, намотанных по спирали (N2XSY 1x35 RM/16 6/10 kV)
	SE	Экран из медной проволоки и медной ленты вокруг каждой жилы кабеля, намотанный по спирали (N2XSEY 3x120 RM/16 6/10 kV)
	(F)	Водонепроницаемый экран, из водонабухающей ленты, обеспечивающий продольную герметизацию(NA2XS(F)2Y 1x150 RM/25 12/20 kV)
	(FL)	Водонепроницаемый экран, из водонабухающей ленты, обеспечивающий продольную герметизацию и оболочка из ламинированного полимера(NA2XS(FL)2Y 1x150 RM/25 12/20 kV)
Броня	F	Броня из плоских жил гальванизированной стали (NYFGY 3x70 SM 3,6/6 kV)
	G	Броня: лента из гальванизированной стали, намотанная по двум спиральям в противоположных направлениях (NYFGY 3x70 SM 3,6/6 kV)
	B	Броня из двойной стальной ленты (2XSYBY 3x120 RM/16 6/10 kV)
	R	Броня из гальванизированной стальной проволоки концентрической формы (NYRGY 4x70 SM 0,6/1 kV)
Оболочка	K	Оболочка из свинца (NYKY 4x16 RE 0,6/1 kV)
	Y	Оболочка из ПВХ (NAYY 4x95 SE 0,6/1 kV)
	2Y	Оболочка из полиэтилена (NA2XS2Y 1x150 RM 25 12/20 kV)
	H	Огнестойкая, галогеночистая оболочка (N2XSEH 3x120 RM 16 6/10 kV)

## 6. ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ФАЗНЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ.

Трехфазные цепи наиболее распространенные в современной электроэнергетике. Это объясняется рядом их преимуществ по сравнению с однофазными цепями: экономичность передачи энергии, возможность сравнительно простого получения кругового вращающегося магнитного поля, а также двух различных эксплуатационных напряжений в одной установке – фазного и линейного.

Напряжение между двумя фазами называется линейным ( $U$ ), а между фазой и экраном (землей) – фазным ( $U_0$ ). Линейное напряжение больше фазного в  $\sqrt{3}$  или 1,73 раза.

$$U = \sqrt{3} \times U_0 \quad (1)$$

На рис 2 и 3 показаны способы замеров линейного и фазного напряжений на примере силового кабеля.

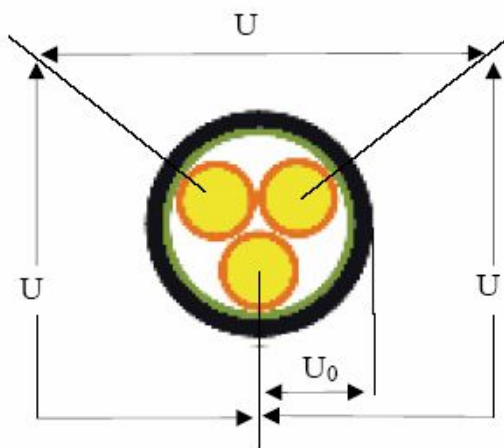


Рис.2. Фазные и линейные напряжения для трехжильного кабеля

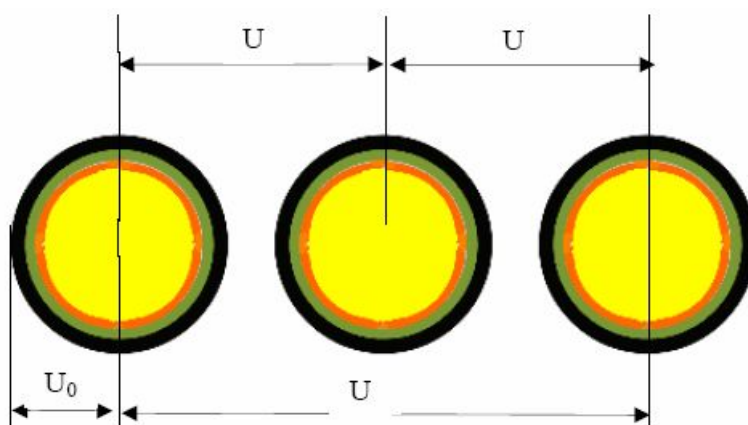


Рис.3. Фазные и линейные напряжения для системы из одножильных кабелей

Номинальное напряжение кабеля выражают сочетанием двух значений  $U_0/U$ , выраженных в киловольтах. Например, кабель АНХСМК 6/10кВ, кабель N2XS2Y 12/20кВ.

Если говорят о значениях переменного напряжения или тока, то, как правило, подразумевают их действующие значения.

Для действующих значений синусоидально изменяющихся напряжения или тока справедливы следующие выражения:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

где

$I$  – действующее значение переменного тока

$I_m$  – амплитудное значение переменного тока

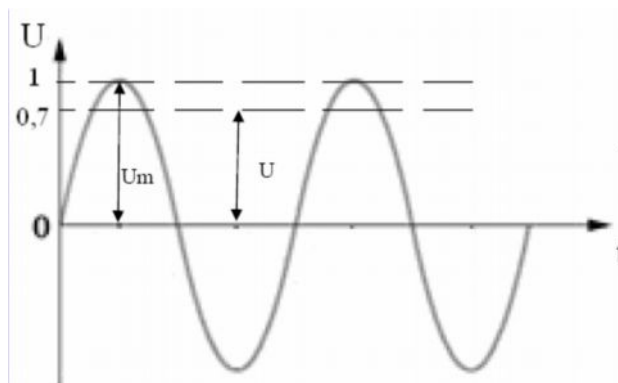
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

где

$U$  – действующее значение напряжения

$U_m$  – амплитудное значение переменного напряжения

Примечание.  $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,7$



**Рис.4.** График мгновенных значений синусоидального напряжения.

## **7. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СВЕХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ 0,1...0,01Гц ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

В течение многолетних исследований ведущими зарубежными специалистами было доказано, что испытания постоянным напряжением оказывают вредное влияние на твердую изоляцию кабелей и могут вызвать в ней повреждения, а также являются неэффективным способом определения качества изоляции кабеля. Это явилось серьезным основанием того, почему большинство предприятий во всем мире перестали использовать испытания постоянным током и используют испытания переменным напряжением СНЧ.

Применительно к силовым кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена наиболее эффективным и экономичным является щадящий метод испытаний напряжением сверхнизкой частоты 0,1 Гц, которое по величине не превышает более чем в 3 раза номинальное напряжение КЛ.

Испытания при очень низких частотах со сменой полярности позволяют выявлять дефекты в изоляции без формирования объемных зарядов в структуре полиэтиленовой изоляции, которые приводят к резкому уменьшению ресурса такого кабеля при приложении постоянного напряжения.

Воздействие на изоляцию напряжения СНЧ аналогично воздействию на нее напряжения промышленной частоты, на которой работают силовые кабели.

Стандарт IEC 60840 рекомендует испытывать силовые КЛ класса от 45кВ с изоляцией из СПЭ и их арматуру (например, ОПН, вентильные разрядники и др) переменным напряжением промышленной частоты. Величины испытательного напряжения промышленной частоты указаны в таблице 3.

Испытательное переменное напряжение синусоидальной формы промышленной частоты (IEC 60840 Standard)

Таблица 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Класс напряжения объекта	Максимальное линейное напряжение с учетом перенапряжений	Величина фазного напряжения	Испытания попеременным воздействием напряжения промышленной частоты и грозового импульса	Измерение уровня частичных разрядов	Измерение величины $\text{tg}\delta$	Испытания на совместное воздействие изгиба, температуры и повышенного напряжения	Испытание грозовым импульсом	Испытания повышенным напряжением после прокладки (Installation test)
$U$	$U_m$	$U_0$	$2,5U_0$	$1,5U_0$	$U_0$	$2U_0$		
кВ	кВ	кВ	кВ	кВ	кВ	кВ	кВ	кВ
45 - 47	52	26	65	39	26	52	250	52
60 - 69	72,5	36	90	54	36	72	325	72
110 - 115	123	64	160	96	64	128	550	128
132 - 138	145	76	190	114	76	152	650	132
150 - 161	170	87	218	131	87	174	750	150

Для проведения полевых испытаний объектов с высокими емкостями, таких как кабели и двигатели/генераторы, переменным напряжением промышленной частоты потребуется установка с очень большой мощностью (сотни кВА); вес такой установки может достигнуть нескольких тонн.

Единственный способ провести полевые испытания объектов с высокими емкостями, таких как кабели и двигатели/генераторы, переменным напряжением – это использовать установку, вырабатывающую переменное напряжение сверхнизкой частоты. Чем ниже частота, тем меньше потребная мощность испытательной установки.

Существуют различные формы испытательного напряжения СНЧ.

Стандарты **DIN-VDE 0276-620** и **0276-1001** (Германия) рекомендуют испытание 3-кратным напряжением линия-экран ( $3V_0$ ) в течение 60 минут. Форма испытательного напряжения – прямоугольная с фронтами, соответствующими синусоидальному напряжению частотой 50Гц (косинусные прямоугольники), частота – 0,1Гц. Продолжительность испытаний 60 минут считается необходимой для выявления любых дефектов, вне зависимости от их значительности.

**Примечание.** Некоторые поставщики аналогичного оборудования в пределах России и СНГ указывают необходимую длительность испытаний, равную 15мин. Следует иметь ввиду, что такое снижение продолжительности по сравнению с рекомендациями стандартов DIN-VDE 0276-620 и 0276-1001 резко снижает достоверность результатов проведенных испытаний.

Стандарты **IEEE400** и **IEEE400.2** (США) рекомендуют испытание 2...3-кратным напряжением линия-экран ( $2V_0-3V_0$ ) в течение 30...60 минут. Форма напряжения – синусоидальная, частота 0,1...0,01Гц.

Меньшее время испытаний в случае использования синусоидального напряжения обусловлено его большей эффективностью по сравнению с напряжением косинусно-прямоугольной формы: скорость роста каналов пробоя в поврежденной твердой изоляции примерно в 2 раза больше.

В таблице 4 приведена скорость роста водных триингов при воздействии повышенного напряжения, обуславливающих пробой КЛ с изоляцией из СПЭ, для различных видов испытаний.

Скорость роста водных триингов для различных видов испытаний  
(выдержка из стандарта **IEEE400**)

**Таблица 4**

Кратность испытательного напряжения $U_t/U_0$	Скорость роста водных триингов (мм/ч)		
	Испытание напряжением промышленной частоты	Испытание переменным напряжением синусоидальной формы частотой 0,1Гц	Испытание переменным напряжением косинусно-прямоугольной формы частотой 0,1Гц
2	1,7 – 2,4	2,3	1,4
3	2,2 – 5,9	10,9 – 12,6	3,4 – 7,8
4	175 – 611	58,3 – 64,2	22,2 – 30,3
5		336	125

К недостаткам применения испытательного напряжения сверхнизкой частоты косинусно-прямоугольной формы частотой 0,1Гц относятся:

- меньшая эффективность по сравнению с синусоидальным напряжением, требует более длительного проведения испытания (рекомендуется – 30...60мин);
- работа переключающего механизма может вызвать блуждающие волны и переходные процессы в кабеле;
- форма напряжения зависит от длины кабеля;
- невозможность использования для измерения  $\text{tg}\delta$  и уровня частичных разрядов.

Преимуществом указанного метода является сравнительно небольшой расход энергии, потребляемой установками во время испытаний.

Преимущества синусоидального испытательного напряжения частотой 0,1Гц при проведении испытаний изоляции КЛ:

- при нормативном уровне испытательного напряжения  $U / U_0 = 2...3$  канал пробоя формируется наиболее быстро;
- в изоляции не образуются объемные заряды;
- форма напряжения не зависит от длины кабеля;
- отсутствие блуждающих волн;
- применимы для испытаний кабелей с любым видом изоляции;
- пригодны для измерения  $\text{tg}\delta$  и уровня частичных разрядов при использовании диагностики состояния КЛ с СПЭ изоляцией.



К недостаткам метода можно отнести большее потребление энергии по сравнению с установками, вырабатывающими косинусно–прямоугольную форму напряжения СНЧ.

Настоящей методикой регламентируются испытания синусоидальной формой напряжения СНЧ, как наиболее перспективный метод.

## 8. ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИСПЫТАНИЙ.

Кабельные линии после прокладки, монтажа и в процессе эксплуатации должны быть испытаны повышенным переменным напряжением синусоидальной формы частотой 0,1 ... 0,01Гц, указанным в таблице 5.

Рекомендуемая периодичность профилактических испытаний 1 раз в три года.

Примечание. Стандарт **IEEE400.2** для кабелей классов 5...35кВ рекомендует испытание 2...3 – кратным напряжением линия–экран ( $2U_0 - 3U_0$ )

Для кабелей более высоких классов величины испытательных напряжений получены методом аппроксимации и проведением дополнительных исследований.

Испытательное переменное напряжение синусоидальной формы частотой 0,1 ... 0,01Гц (IEEE 400.2 VLF Standard)

**Таблица 5**

Класс кабеля	Acceptance (Приемочные испытания)	Installation (Испытания после прокладки)	Maintenance (Профилактические испытания)
кВ (Фаза – фаза)	амплитудное значение испытательного напряжения $U_m$ , кВ (Фаза – Экран)	амплитудное значение испытательного напряжения $U_m$ , кВ (Фаза – Экран)	амплитудное значение испытательного напряжения $U_m$ , кВ (Фаза – Экран)
5	14	12	10
6	16	13	11
8	18	16	14
10	21	18	16
15	28	25	22
20	36	31	27
25	44	38	33
35	62	55	47
69	117	104	91
110	176	154	138
115	184	160	144
138	204	187	162

### Пример 2. Расчет испытательного напряжения.

В соответствии со стандартом **IEEE400.2** величина испытательного напряжения (действующее значение) вычисляется по формуле:

$$U_{исп} = (2...3) \times \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Амплитуда испытательного напряжения:

$$U_m = U_{исп} \times \sqrt{2}$$

Более высокая кратность испытательного напряжения выбирается для кабелей, имеющих меньшее напряжение, и наоборот.

Для испытания кабеля класса 5кВ после прокладки

$$U_m = 3 \times \frac{5}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 12,2$$

Для испытания кабеля класса 35кВ после прокладки

$$U_m = 2 \times \frac{35}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 56,9$$

Практически, никаких вычислений производить не нужно; величину испытательного напряжения следует брать непосредственно из таблицы 5.

Выбор длительности испытаний обусловлен следующим:

- 68% зарегистрированных пробоев произошли в течение 12 минут после приложения напряжения
- 89% - в течение 30 минут
- 95% - в течение 45 минут
- 100% - в течение 60 минут

Рекомендованная длительность проведения испытаний: 30 минут.

Для частот 0,05, 0,02 и 0,01Гц длительность увеличить до 1 часа

В некоторых случаях продолжительность испытаний и величина испытательного напряжения могут определяться поставщиком и потребителем в зависимости от состояния изоляции КЛ и периодичности проведения испытаний.

## 9. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Технические характеристики установок серии VLF представлены в таблице 6.

Таблица 6

Название установки	Амплитуда выходного напряжения, кВ	Частота*, Гц/ Максимальная нагрузка**, мкФ	Масса, кг блок управления/высоковольтный блок/регулятор напряжения	Внешний вид
VLF-28 CMF	28	0,1/0,4	33	
VLF-4022CMF	40	0,1/1,1 0,05/2,2 0,02/5,5	23/33	
VLF-6022CMF	60	0,1/1,1 0,05/2,2 0,02/5,5	34/55	
VLF-50CMF	50	0,1/5 0,05/10 0,02/25 0,01/50	9/98/73	
VLF-65CMF	65	0,1/2,2 0,05/4,4 0,02/11 0,01/22	9/98/73	

<b>VLF-90CMF</b>	90	0,1/0,55 0,05/1,1 0,02/2,75	34/133	
<b>VLF-12011CMF</b>	120	0,1/0,55 0,05/1,1 0,02/2,75 0,01/5,5	9/177/73	
<b>VLF-200CMF</b>	200	0,1/0,75 0,05/1,5 0,02/3,75	295/1678	

\*Частота выходного напряжения. Для испытаний переменным током СНЧ могут применяться более низкие частоты, если емкость кабеля слишком высока для 0.1Гц. Большинство установок серии VLF имеет несколько выходных частот. Часто, чтобы сэкономить время, все три фазы кабеля соединяются параллельно и испытываются одновременно, используя более низкую частоту.

\*\*Максимальная емкость объекта испытаний. Установки VLF различаются по емкости (мкФ) нагрузки, которую они могут испытывать. Необходимо знать погонную емкость в мкФ/км и максимальную длину кабеля, чтобы затем вычислить максимальную нагрузку.

Большинство моделей VLF имеют регулируемую выходную частоту, чтобы в случае необходимости испытание могло быть проведено на частоте ниже, чем 0.1Гц, если это позволяет инструкция по испытаниям. Чем ниже частота, тем более длинный кабель может быть испытан.

Например, установка VLF-28CM рассчитана на 0.4μF при 0.1Гц (она может испытывать примерно 1.2км кабеля класса 15 кВ), а установка VLF-65CM рассчитана на 2.2 мкФ при 0.1Гц и может снижать частоту до 0.01Гц, что позволяет испытывать нагрузку емкостью до 22мкФ (32км кабеля класса 35 кВ).

Емкость кабеля с изоляцией из СПЭ

**Таблица 7**

S мм <sup>2</sup>	μF/км											
	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800
10 кВ	0,23	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37	0,41	0,45	0,50	0,55	0,61	0,68
20 кВ	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,27	0,29	0,32	0,35	0,39	0,43	0,49
35 кВ	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,40
110 кВ						0,131	0,141	0,151	0,172	0,186	0,202	0,221

Где S – сечение жилы.

## 10. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

При использовании установок серии VLF по назначению должны выполняться требования безопасности, предусмотренные ГОСТ 12.3.019–80 «Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности».

10.1. При монтаже, эксплуатации (проведении испытаний) и техническом обслуживании установок серии VLF должны соблюдаться правила и требования, предусмотренные действующими "Правилами устройства электроустановок" и "Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок".

10.2. К работе с установками серии VLF и их обслуживанию допускаются лица, изучившие руководство по эксплуатации на установку и другие документы из комплекта документации установки, а также знающие устройство и правила эксплуатации всех используемых при испытаниях и обслуживании установки устройств, приспособлений и приборов, и имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже IV при работе с электроустановками на напряжение выше 1000 В.

10.3. Испытания изоляции с применением установок должно проводиться бригадой персонала, соответствующего требованиям 10.2 настоящей методики, в составе не менее двух человек.

## 11. ИСПЫТНИЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ ПЕРЕМЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (ОТ 0,01 Гц ДО 0,1Гц) УСТАНОВКАМИ СЕРИИ VLF

Проводить испытания кабельных линий следует согласно инструкции по эксплуатации установками, вырабатывающими синусоидальное испытательное напряжение частоты от 0,01 Гц до 0,1Гц. При использовании установки в составе мобильной лаборатории дополнительно следует выполнять требования инструкции по эксплуатации на лабораторию.

### 11.1. Порядок размещения установок серии VLF.

11.1.1 Распакованную установку, ее элементы и принадлежности проверяют визуальным осмотром на комплектность и отсутствие видимых повреждений.

11.1.2. Блок управления устанавливают на предусмотренную для размещения переносных приборов горизонтальную плоскость стола в пультовом помещении испытательного стенда таким образом, чтобы приборы и индикаторы ПУ находились под углом зрения оператора не более 45° (в любую сторону), а органы управления – в пределах досягаемости руки оператора в его нормальном положении за пультом.



11.1.3. Высоковольтный блок установки размещают в строго вертикальном положении – отклонение от вертикали не должно превышать  $5^\circ$ .

Высоковольтный блок размещают таким образом, чтобы расстояние от находящихся при испытаниях под высоким напряжением частей установки (зажим испытательного кабеля) и объекта испытаний (высоковольтной испытательной схемы) до ближайших заземленных частей на испытательном поле было не менее расстояния, предусмотренного BS EN 50191:2001 и инструкцией на установку.

#### 11.2. Заземление установки.

Заземлите установку серии VLF согласно инструкции по эксплуатации на Вашу установку.

При эксплуатации установки в составе мобильной лаборатории заземление установки произведено при монтаже лаборатории, поэтому перед проведением высоковольтных испытаний необходимо заземлить лабораторию согласно указаний ее инструкции по эксплуатации.

#### 11.3. Подключение установки к объекту испытаний.

Подключите выходной кабель установки серии VLF к жиле испытуемого кабеля, экран кабеля заземлите.

Типовая схема подключения установки серии VLF изображена на рисунке 5.

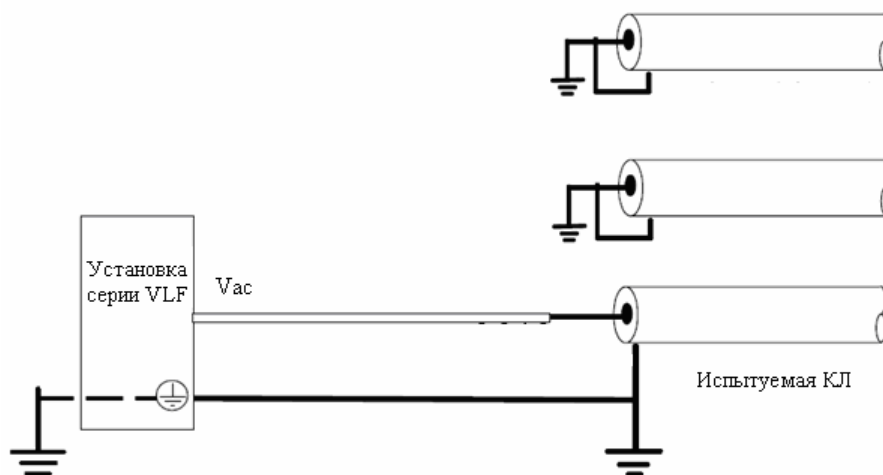


Рис.5. Схема подключения установки серии VLF

При испытании трехфазной сети, образованной системой одножильных кабелей, кабели, не участвующие в испытании, должны быть обязательно заземлены (см. рис.5).

При испытании 3-х жильного кабеля, жилы, не участвующие в испытании, должны быть заземлены.

**Примечание.** При эксплуатации установки серии VLF в составе мобильной лаборатории требования п 11.1 ...11.3 должны быть учтены в конструкции лаборатории и отражены в инструкции по её эксплуатации.

#### 11.4. Проведение испытаний

Руководствуясь требованиями инструкции по эксплуатации на Вашу установку, а также рекомендациями раздела 7 настоящей методики произведите испытания.

Общие рекомендации по эксплуатации установок серии VLF.

- подача высокого напряжения возможна только при нулевом положении регулятора напряжения установки
- перед первым подъемом испытательного напряжения следует выждать примерно 10 – 15 минут для того, чтобы масляный насос удалил воздух из системы охлаждения высоковольтного блока.
- амперметр высоковольтных испытательных установок серии VLF предназначен только для снятия ориентировочных значений тока, протекающего через объект. На показания прибора влияет как частота, так и длина кабелей, поэтому он не предназначен для измерения токов утечки и составления официальных протоколов по результатам испытаний.

Кабельная линия считается выдержавшей испытание, если во время испытаний:

- а) не произошло пробоя или перекрытия по поверхности концевых муфт;
- б) не наблюдалось резких толчков выходного тока.

При испытаниях вместе с кабелями испытываются концевые муфты и опорные изоляторы. Кабельные вводы и вставки на воздушных линиях испытываются без отсоединения от воздушной линии. При этом вентильные разрядники и ограничители перенапряжения на опоре линии электропередачи должны быть отсоединены.

В городских кабельных сетях испытанию при одновременном отключении могут подвергаться несколько кабельных линий, отходящих от подстанции, или цепочка последовательных соединений кабельных линий с распределительными устройствами. При этом трансформаторы напряжения, вентильные разрядники и ограничители перенапряжения должны быть отсоединены.

После выполнения работ по капитальному ремонту кабельных линий должны производиться внеочередные испытания в соответствии с указанными выше нормами испытания.

Место пробоя кабельной линии должно быть обследовано и установлена причина повреждения. При обследовании, которое производится в стационарной лаборатории, производится разборка и осмотр поврежденного образца кабеля (или кабельной муфты).

Кроме того, при осмотре пластмассовых оболочек следует обращать внимание на задиры, порезы, надрезы, трещины, сквозные отверстия, оплавления и другие повреждения.

При вскрытии и разборке кабельных муфт определяются основные конструктивные размеры и их соответствие требованиям действующей технической документации на муфты.

Результаты вскрытий, осмотров и заключения о причине повреждения оформляются протоколом.

При наличии в кабеле заводского дефекта, зафиксированного соответствующим актом, может быть предъявлена рекламация заводу изготовителю.

Если для ремонта линии не требуется производить демонтаж поврежденного участка, то анализ причин повреждения может производиться на месте ремонта.

Образцы кабелей с разными видами повреждений, в том числе с заводскими дефектами, рекомендуется сохранять в лаборатории для использования в качестве наглядных пособий при обучении персонала, также для представления их при предъявлении рекламаций.

Результаты испытаний кабельных линий, причины их повреждения и выполненные мероприятия по ремонту должны заноситься в паспорт кабельной линии.

### 11.5. Завершение испытаний

По завершении программы испытания следует снять с объекта высокое испытательное напряжение. Для этого переведите регулятор выходного испытательного напряжения Вашей установки в нулевое положение. Затем, выждав примерно 60 сек. (время, необходимое для разряда емкости объекта испытаний через разрядную цепь в высоковольтном блоке

Методические указания по испытанию силовых кабелей класса 5-132 кВ установками переменного синусоидального напряжения сверхнизкой частоты серии VLF.

установок серии VLF), отключите подачу испытательного напряжения и наложите штангу заземления на рабочий зажим высоковольтного кабеля установки.

По завершении испытательной смены и снятия напряжения с последнего в смене объекта испытаний выключите установку выключателем сетевого питания.

По результатам испытаний оформляют протокол в установленном у потребителя порядке.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 15845-80 "Изделия кабельные. Термины и определения "
2. ГОСТ 16442-80 "Кабели силовые с пластмассовой изоляцией"
3. ГОСТ 12.3.019–80 "Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности"
4. ГОСТ 12.2.007-075 "ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности"
5. BS EN 50191:2001 "Erection and operation of electrical test equipment"
6. IEEE Std 400.2™ -2004 IEEE Guide for Field of Shielded Power Cable Systems Usind Very Low Frequency (VLF)
7. IEEE Std 400™ -2001 IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems.
8. IEC60060-3 YY Test with VLF
9. VDE 0276-1001 Deutsche NORM
10. Hans R. Generlic, 1995., "Field Testing of HV Power Cables : Understanding VLF Testing" IEE Electrical Insulation Magazine, Vol.11 No.5
11. Shew Chong MOH TNB Distribution Sdn. Bhd. – Malaysia Very low frequency testing its effectiveness in detecting hidden defects in cables. 17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona, 12-15 May,2003
12. Recommendation for tests after installation on XLPE Medium voltage cables. Olex New Zealand Limited. 28 May 2008. (Prepared Under Research Project EPRI/RP 3392-01/CEA 200-D-780A).
13. Life Estimation of Water Tree deteriorated XLPE Cables by VLF (Very Low Frequency) Voltage Withstand Test  
Katsumi Uchida (Chubu Electric Power Co., Inc.), Masahiko Nakade and Daisuke Inoue (Tokyo Electric Power Co., Inc.), Hiroyuki Sakakibara and Masashi Yagi (The Furukawa Electric Co., LTD)
14. High Voltage VLF Testing of Power Cables. G.S.Eager, Fellow IEEE, C.Katz, Fellow IEEE, B.Fryszczyn, Non-member, Cable Technology Laboratories, Inc. New Brunswick, NJ
15. Diagnosis Monitoring Quality Control Research and Development. Diagnóstico de Estado de Cables AT. Power Diagnostix GmbH. Diagnostico de operacion Terna 060- AT 220 kV. Argentina, Ing. Osman Gei, Ing.Pablo Burgi, Ing. Claudio Merio, Alberto Sasson. December, 2008.
16. IEC 60840 «Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ( $U_m = 36$  kV) up to 150 kV ( $U_m = 170$  kV) – Test methods and requirements»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**ПО ИСПЫТНИЮ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ КЛАССА 5 - 138 кВ**  
**УСТАНОВКАМИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО**  
**НАПРЯЖЕНИЯ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ СЕРИИ VLF**

В авторской редакции

Обложка Самарина Е.Н.  
Верстка Смирнова Т.С.  
Корректор Кожурова О.Ю.

Сдано в набор 23.04.2010 г. Подписано в печать 27.04.2010г.  
Формат 60х90/16 Бумага офсетная  
Усл.печ.л.1.5 Тираж свободный  
Заказ № 121

Издательский центр ООО “ЯЭМЗ”  
150029 г.Ярославль Промзона, ул.Декабристов,14