

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ

" КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ "

На правах рукописи

ХО ВАН НЬАТ ЧЬОНГ

УДК 621.3.027.7:621.317.727

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОММУТАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА
ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Специальность 05.14.12 - Техника высоких напряжений

Автореферат

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1997

009

AB 36, 762

Диссертация является рукописью

Работа выполнена на кафедре напряжений Национального " Киевский политехнический инс

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00760923 (R)

Научный руководитель

- доктор технических наук, профессор В.А. Бржезицкий

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор, академик НАН Украины Б.С. Стогний ;

- кандидат технических наук Ю.Я. Рыбальченко.

Ведущая организация

- Украинский государственный научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации

Защита диссертации состоится " 10 " 02 1997 г. в 15⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К 01.02.19 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Киевском политехническом институте (252056, г. Киев - 56, пр. Победы, 37)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского политехнического института

Автореферат разослан " 09 " января 1997 г.

Ученый секретарь

специализированного совета кандидат техн.наук, профессор

Б.Н. Кондра

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Работа выполнена по заданию Украинского государственного научно - производственного центра стандартизации, метрологии и сертификации (УкрЦСМ). Развитие новых направлений техники высоких напряжений (ТВН) (малогабаритные устройства с высоконапряженной изоляцией, импульсные источники питания мощных лазерных, электронно-лучевых и других технологических установок, системы обеспечения экологического состояния окружающей среды) потребовало повышения точности измерения факторов высоковольтных разрушающих испытаний, воздействий высокого напряжения на технологические процессы и операции. В связи с этим возникает необходимость точного измерения и контроля формы, амплитуды, длительности импульсных напряжений. Достижение этого требует, в свою очередь, развития теории масштабного преобразования высоких напряжений, совершенствования методик проведения испытаний, обработки их результатов. Среди наиболее часто используемых импульсов - коммутационный - является наименее изученным по своим частотным характеристикам, по особенностям проведения точных и высокоточных измерений.

Цель диссертационной работы

Развитие метода преобразования Фурье применительно к потребностям решения проблемы высокоточных измерений высоких напряжений и совершенствование на этой основе измерительных систем стандартного аperiodического коммутационного импульса.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1. Исследование взаимосвязи результатов прямого и обратного преобразования Фурье в применении к измерению коммутационного

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

импульса напряжения.

2. Разработка методики расчета параметров τ_1 , τ_2 коммутационного импульса напряжения в его математической модели $u(t) = U(e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$ по заданным исходным параметрам его зависимости от времени t - длительности подъема $T_п$ и длительности импульса $T_и$, рис. 1.

3. Получение обобщенного выражения выходного напряжения измерительной системы импульсных напряжений методом частных характеристик.

4. Введение понятия эффективного частотного диапазона стандартного апериодического коммутационного импульса и его исследование.

5. Разработка аппаратурной части и программного обеспечения экспериментального образца измерительной системы коммутационного импульса высокого напряжения.

Автор защищает:

1. Математическую модель сочетания результатов прямого и обратного преобразования Фурье.

2. Аналитическую форму предложенной методики расчета параметров коммутационного импульса.

3. Определение низкочастотной и высокочастотной границ эффективного частотного диапазона коммутационного импульса напряжения.

Методы исследования

Теоретические исследования, выполненные в работе, основаны на использовании метода и свойств интегрального преобразования Фурье, теории электрических цепей, функционального анализа, математического моделирования в сочетании с численными расчетами на ЭЦМ.

ИИИ им. В.С.Стефанова
ЛН УССР

Экспериментальные исследования проводились на реальных объектах на основе государственных стандартов на методы статистической обработки результатов измерений и определения метрологических характеристик.

Научная новизна:

1. Показано, что введенный в рассмотрение амплитудно-частотный спектр обратного Фурье-преобразования имеет колебательный характер, в качестве огибающей которого в положительной полуплоскости может быть принят амплитудно-частотный спектр прямого преобразования Фурье.

2. Используемое в технике высоких напряжений выражение для коммутационного импульса $u(t) = U(e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$ применимо при отношении длительности импульса и времени подъема $\frac{T_i}{T_p} > 2,67834699$.

3. Отношение $\tau_2/\tau_1 = X$ для стандартного аperiodического коммутационного импульса может быть представлено в виде однозначно определенной функции параметра $M = T_i/T_p - 1$.

4. Верхняя граница эффективного частотного диапазона для прецизионных средств измерений коммутационного импульса превышает аналогичные значения, задаваемые известной в литературе формулой, практически, в 8 раз.

Практическая ценность работы заключается в представлении зависимости параметра X от M в "готовом" для программирования и расчетов виде.

Границы эффективного частотного диапазона определены численно для случая аperiodического коммутационного импульса в диапазоне параметров $T_p = 250 \pm 50$ мкс, $T_i = 2500 \pm 1500$ мкс.

Показана практическая возможность создания высокоточных измерительных систем импульсных высоких напряжений на основе

использования частотных характеристик и интегрального преобразования Фурье.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы НТУУ "КПИ" при разработке измерительной системы коммутационных импульсов для НИИ ВН (г. Славянск), а также УкрЦОМ при создании программы и методики метрологической аттестации данной системы.

Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс в Киевском политехническом институте для изучения дисциплины "Измерения высоких напряжений и больших токов".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались на школе - семинаре "Проблемы энергосбережения в законодательстве и стандартах" (28 - 30 сентября 1993 года, г. Севастополь), и на научном семинаре кафедры техники и электрофизики высоких напряжений НТУУ "КПИ". По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 72 наименований и 6 приложений. Содержит 82 страниц основного текста, 30 рисунков, 19 таблиц, 43 страниц приложений.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определены ее цель, основные положения, которые выносятся на защиту, научная новизна полученных результатов и их практическая ценность.

В первой главе выполнен аналитический обзор методов и средств измерений высоких напряжений, рассмотрены особенности измерения импульсного высокого напряжения, обосновано направление работы.

Во второй главе исследовано применение интегрального преобразования Фурье для стандартного аperiodического коммутационного импульса напряжения. Показано, что введенное в рассмотрение понятие

амплитудно-частотного спектра обратного Фурье-преобразования для аperiodического коммутационного импульса является более продуктивным по сравнению с известными амплитудно- и фазо-частотным спектрами прямого преобразования Фурье. Обоснована разработанная методика аналитического расчета параметров τ_1 , τ_2 коммутационного импульса заданной формы.

В третьей главе получено аналитическое выражение для масштабного коэффициента масштабного преобразователя импульсного напряжения на основе метода частотных характеристик с использованием преобразования Фурье. Введено понятие эффективных границ частотного спектра коммутационного импульса. Исследованы низкочастотная и высокочастотная границы спектра и определены их численные значения. Рассмотрено соотношение полученных значений высокочастотной границы с данными, приводимыми в литературе.

В четвертой главе приведены разработанные основные положения структуры измерительной системы высоковольтных коммутационных импульсов и методики ее аттестации, которые следуют из выбранного метода. Дано описание экспериментального образца измерительной системы коммутационных импульсов, изложены результаты ее метрологической аттестации а также практического использования.

В заключении изложены основные результаты работы.

В приложениях приведены вспомогательные материалы, программы расчетов на РС IBM, а также документы, подтверждающие использование результатов работы.

Основное содержание работы

В диссертации рассмотрен комплекс вопросов, связанных с использованием интегрального преобразования Фурье для определения

характеристик масштабных преобразователей высоких напряжений (МПВН) аperiodического коммутационного импульса по ГОСТ 1516.2-76. Следует отметить, что для определения динамических характеристик импульсных МПВН в настоящее время преимущественно используется метод реакции на ступенчатый (прямоугольный) импульс. Для ее регистрации необходимо использовать измерительную СВЧ-технику, осциллографы, которые, как правило, характеризуются повышенной погрешностью. Кроме того, проведение экспериментальных исследований в данном случае и интерпретация их результатов обычно осложняются отсутствием возможности согласования параметров цепей. В связи с этим к импульсным МПВН предъявляются требования, связанные со значительными запасами по времени реакции и другим характеристикам. Эти обстоятельства обуславливают повышенный интерес к развитию метода определения динамических свойств МПВН, основанного на использовании их частотных характеристик.

Сдерживающим моментом для расширения применения такого метода являлось, в частности, отсутствие математического перехода от исходных параметров импульса T_p , T_i к параметрам его аналитического выражения, см. рис. 1, τ_1 , τ_2 . Для решения этой задачи в работе найдены функции соотношения параметров, которые преобразуют поиск двумерных массивов параметров к определению функции одной переменной.

Аргументом такой функции является параметр $M = T_i/T_p - 1$, который для рассматриваемого импульса изменяется в диапазоне $7/3 \leq M \leq 19$, а функцией - отношение параметров $\tau_2/\tau_1 = x$. Зависимость $x(M)$ для коммутационного импульса может быть задана в виде трансцендентного уравнения

$$x \frac{x}{1-x} [x \frac{Mx}{1-x} - 0,5] - x \frac{1}{1-x} [x \frac{M}{1-x} - 0,5] = 0. \quad (1)$$

Показано, что в исследуемом диапазоне параметров функция $x(M)$ является однозначной. Разработана программа расчета на языке Паскаль, позволяющая производить вычисления $x(M)$ с погрешностью не более 10^{-6} % от искомого значения. По найденному $x(M)$ производится вычисление $\tau_2 = -(1-x)T_p/\ln x$ и, затем, $\tau_1 = \tau_2/x$.

Для практических расчетов предложена аппроксимирующая формула $\ln x(\ln M)$ в виде полинома 6-ой степени (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} \ln x = & 0,0464727428 \ln^6 M - 0,5768547847 \ln^5 M + 2,9541546659 \ln^4 M \\ & - 8,0448593155 \ln^3 M + 12,4972926924 \ln^2 M - 12,1545481947 \ln M \\ & + 3,2459077438. \end{aligned} \quad (2)$$

Получаемые при использовании (2) значения погрешности не превышают: по $x - \pm 0,116\%$; по $\tau_2 - \pm 0,028\%$; по $\tau_1 - \pm 0,093\%$; по $u(t) - \pm 0,069\%$.

Первые введенное в рассмотрение определение параметров коммутационного импульса позволило, в дальнейшем, применить аналитические методы исследования для решения сформулированных задач.

Базисным в достижении поставленной цели работы является исследование амплитудно-частотного спектра Фурье-преобразования, в соответствии с которым действие непериодической функции, например напряжения, $f(t)$ может быть заменено суммой бесконечного множества гармонических колебаний напряжения вида:

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} F(\omega) d\omega; \quad F(\omega) = A(\omega) \cos \omega t + B(\omega) \sin \omega t,$$

$$\text{где} \quad A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(\omega t) dt, \quad B(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sin(\omega t) dt. \quad (3)$$

В отличие от известного в литературе исследования амплитудно - частотного $F_0(\omega) = |F(j\omega)| / |F(j\omega)|_{\omega=0}$ и Фазо - частотного $\varphi(\omega) = \arctg\{b(\omega)/a(\omega)\}$ спектров прямого преобразования Фурье

$$F(j\omega) = \int_0^{\infty} e^{-j\omega t} f(t) dt = a(\omega) + jb(\omega)$$

в работе предложено исследовать амплитудно - частотный спектр (один, вместо двух!) обратного Фурье- преобразования (3) $F^*(\omega) = F(\omega) / F(0)$, как непосредственно соответствующий конечному результату преобразования.

Исследованный амплитудно - частотный спектр Фурье - преобразования имеет колебательный характер, в качестве огибающей которого в положительной полуплоскости может быть принят известный амплитудно - частотный спектр прямого преобразования Фурье $F_0(f)$, см. рис. 3. Вследствие значительного допуска на отклонения параметров коммутационного импульса его различные варианты имеют существенно отличающиеся друг от друга спектральные характеристики. Определены предельные соотношения амплитуд спектров обратного и прямого преобразования Фурье, а также их характерные частотные зависимости.

Если входное (первичное) напряжение МПВН представить $f(t) = u(t) = U(e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$ и его амплитудно-фазовую частотную характеристику $\dot{H}(j\omega) = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$, с помощью (3) получим выражение для выходного (вторичного) напряжения преобразователя:

$$u_2(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} H(\omega) F'(\omega) d\omega, \quad F'(\omega) = A(\omega) \cos(\omega t + \varphi) + B(\omega) \sin(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

при
$$A(\omega) = U \left(\frac{\tau_1}{1 + \omega^2 \tau_1^2} - \frac{\tau_2}{1 + \omega^2 \tau_2^2} \right),$$

$$B(\omega) = U \left(\frac{\omega \tau_1^2}{1 + \omega^2 \tau_1^2} - \frac{\omega \tau_2^2}{1 + \omega^2 \tau_2^2} \right). \quad (5)$$

Данное выражение $u_2(t)$ имеет общий характер и применимо не только для коммутационных, но и других импульсов (например, грозовых), представляемых той же зависимостью входного напряжения МПВН от времени $u(t)$. Величина

$$K_D(t) = u(t)/u_2(t) \quad (6)$$

представляет динамический, изменяющийся (в общем случае) во времени масштабный коэффициент МПВН.

Интегрирование в (4) происходит от нуля до бесконечности. Однако, практически, необходимо иметь представление о возможности выбора реальных границ интеграла (4) "в нуле", а также в области высоких частот. Для преобразовательных систем обычно стремятся достичь $H(\omega) \approx \text{const}$, $\varphi(\omega) \approx 0$. Тогда в качестве первого приближения в (4) можно принять $H = \text{const}$, $\varphi = 0$. Расчетные значения u_2 удобно представить в единицах максимального значения вторичного напряжения $U_2 = HU(e^{-T\pi/\tau_1} - e^{-T\pi/\tau_2})$, т. е. введем $u_2^* = u_2/U_2$.

Расчет u_2^* производился методом Симпсона приближенного вычисления интегралов по разработанной программе. На рис. 4 приведены полученные значения u_2^* в зависимости от верхнего предела интегрирования $f(\dots)$. Так же представлены линейные зависимости u_2^* (—), следующие из приближенного выражения

$$u_2^* \approx 2UH(\tau_1 - \tau_2)f, \quad (7)$$

характеризующего функцию u_2 (4) при $f \rightarrow 0$.

В качестве условия выбора нижней границы f обосновано допущение $u_2^* = 0,001$, что задает соответствующее минимальное значение частотного диапазона $f_{\min} = 0,089$ Гц.

Характерный вид зависимости u_2^* (для $t = T_n$) от f представлен на рис. 5. Из него следует колебательный характер приближения u_2^* к своему предельному значению при $f \rightarrow \infty$. Показано, что данный характер зависимости $u_2^*(f)$ обусловлен амплитудно - частотным спектром обратного Фурье-преобразования.

Для выбора верхней границы по f обосновано условие $f_{\max} = f_{2,6}$, где характерное значение $f_{2,6}$ определяет первый (по возрастанию f) экстремум u_2^* , значение которого находится в диапазоне $1 \pm 0,001$.

Значение $f_{2,6}$ существенно зависит от сочетания T_n , T_i и изменяется от 17460 Гц (для $T_n = 300$ мкс, $T_i = 1000$ мкс) до 33657 Гц (округляя, 33700 Гц для $T_n = 200$ мкс, $T_i = 4000$ мкс). Для номинальных значений $T_n = 250$ мкс, $T_i = 2500$ мкс $f_{2,6} = 24930$ Гц.

В дальнейшем, в работе исследовано влияние возможных отклонений от принятых условий $N = \text{const}$, $\varphi = 0$ на значение $f_{2,6}$. Показано, что даже при наличии значительных отклонений N , φ от упомянутых выше условий частота $f_{2,6}$ остается, практически, неизменной. Для режима работы измерительной системы при регистрации спада импульса на уровне 0,5 от амплитуды (для $t = T_i$) нижняя граница частотного диапазона уменьшается в 2 раза по сравнению с рассмотренным выше (что следует также из (7)), а $f_{2,6}$ снижается, соответственно, до 7800 ... 17230 Гц. Таким образом, обобщая, эффективный частотный диапазон коммутационного импульса составляет в итоге:

$$0,045 \text{ Гц} \leq f_{\text{ком.эфф.}} \leq 33700 \text{ Гц.} \quad (8)$$

Сопоставление полученной частотной области коммутационного импульса (по верхней границе $f_{2,6}$) с известной в литературе формулой полосы пропускания для измерительного устройства импульсного напряжения $\Delta f = 350/t_H$ (МГц), где t_H - время нарастания импульса (в наносекундах), показало, что для различных T_p, T_i отношение $f_{2,6}/\Delta f = 7,7 \dots 8,4$. Т.е. $f_{2,6}$ превышает известную полосу пропускания Δf , практически, в 8 раз, что свидетельствует о необходимости расширения учитываемого частотного диапазона при повышении требований к точности измерений (переходе от рабочих к прецизионным средствам измерений).

В экспериментальной части работы была поставлена задача разработки основных положений измерительной системы высоких напряжений (ИСВН) коммутационных импульсов, а также методики определения ее метрологических характеристик.

ИСВН коммутационных импульсов была реализована на основе высоковольтного газонаполненного конденсатора МСФ 60/600 с согласованием элементов низковольтного плеча по типу Вурч, см. функциональную схему рис. 6:

$$R_1 = R_2 = Z_K, \quad C_1 + C_2 = C_K + C_3. \quad (9)$$

Введение демпфирующих сопротивлений в схему ИСВН не понадобилось. В качестве элементов низковольтного плеча ИСВН использовались конденсаторы типа ССГ-1. В составе измерительной системы применялся осциллограф ЭО типа ОВ-2. Контролировалось возникновение нелинейных процессов в высоковольтной изоляции конденсатора МСФ 60/600, которые в случае их появления исключили бы возможность применения метода частотных характеристик на основе преобразования Фурье.

Определение амплитудно - фазовой частотной характеристики ИСВН в диапазоне $20 \text{ Гц} \leq f \leq f_{2,6}$ производилось по схеме рис. 7, где в качестве широкополосного источника напряжения с регулируемой частотой f использовался комплект В1-9 с усилителем Я1В-22, ОДН - спорный аттестованный низкочастотный делитель напряжения, R_1 - магазин сопротивлений Р4834, C_1 - магазин емкости Р5025 (может переключаться параллельно плечу R_1 ОДН). На рис. 8 представлен полученный вид зависимости $N(f)$, $\varphi(f)$ для ИСВН. В области $f < 20 \text{ Гц}$ определение N , φ производилось расчетным путем по данным измерения R , C - параметров плеч ИСВН. С учетом полученных частотных характеристик интегрированием (4) с использованием (5), (6) определен масштабный коэффициент ИСВН при измерении амплитуды импульса

$$K_{\text{д и с в н}} = 1865,6, \quad (10)$$

масштабный коэффициент при измерении напряжения импульса на уровне 0,5 амплитуды и другие параметры.

Анализ особенностей определения (10) позволил оценить составляющие погрешности, обусловленные:

- погрешностью применяемого метода;
- погрешностью используемых в схеме рис. 7 средств измерений;
- погрешностью измерения параметров $T_{\text{п}}$, $T_{\text{и}}$ импульса с помощью осциллографа ОВ-2 и др.

Суммарная погрешность определения (10) θ_{Σ} при числе учитываемых составляющих погрешности θ_1 от 1 = 1 до 1 = 16 принималась равной $\theta_{\Sigma} = 1,1 \sqrt{\sum \theta_1^2}$, при этом ее расчетное значение не превышает $\theta_{\Sigma} = \pm 0,2\%$. Погрешность осциллографа ОВ-2 при измерении амплитуды импульса, определяемая аналогично в диапазоне частот

с помощью комплекта В1-9, Я1В-22, составила $\theta_{\text{ОВ-2}} = \pm 0,5\%$. Таким образом, суммарная погрешность измерения амплитуды коммутационного импульса разработанной ИСВН составила не более $\pm 0,7\%$.

Основные положения диссертационной работы были использованы при разработке НТУУ "КПИ" измерительной системы коммутационных импульсов напряжения для НИИ ВН (г. Славянск), а также при подготовке программы и методики метрологической аттестации ИСВН в УкрЦСМ.

З а к л ю ч е н и е

1. В теоретических разработках, практике измерений импульсных высоких напряжений недостаточное внимание уделяется использованию частотных характеристик, преобразованию Фурье как универсальному методу достижения высшей точности.

2. Впервые введено в рассмотрение понятие амплитудно-частотного спектра обратного Фурье - преобразования для аperiodического коммутационного импульса является более продуктивным по сравнению с известными амплитудно- и фазо-частотным спектрами прямого преобразования Фурье, и соответствует конечному результату преобразования.

3. Вследствие значительного допуска на отклонения параметров коммутационного импульса по ГОСТ 1516.2-76 его различные варианты представляют семейство функций с существенно отличающимися спектральными характеристиками.

4. Обычно используемое в технике высоких напряжений выражение для коммутационного импульса $u(t) = U(e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$, применимо при отношении длительности импульса $T_{\text{и}}$ и времени подъема $T_{\text{п}}$: $\frac{T_{\text{и}}}{T_{\text{п}}} > 2,67834699$.

5. Впервые разработана методика аналитического расчета параметров τ_1 , τ_2 коммутационного импульса заданной формы, определяемой параметрами времени подъема и длительности импульса.

6. В области малых частот интеграл обратного Фурье-преобразования линейно возрастает по частоте спектра и разности постоянных времени $\tau_1 - \tau_2$ импульса.

7. Введенный эффективный частотный диапазон для прецизионных измерений аperiodического коммутационного импульса составляет 0,045 ... 33700 Гц.

8. Впервые показано, что верхняя граница эффективного частотного диапазона для прецизионных средств измерений коммутационного импульса превышает значения, учитываемые известной в литературе формулой, практически, в 8 раз.

9. На основе конденсатора МСФ 60/600 реализована прецизионная измерительная система коммутационного импульса высокого напряжения, аттестуемая методом частотных характеристик, с параметрами:

- погрешность определения коэффициента масштабного преобразования напряжения импульса $\pm 0,2\%$;

- погрешность измерения амплитуды импульса $\pm 0,7\%$.

По теме диссертации опубликовано 3 работы:

1. Бржезицкий В. А., Хо Ван Ньат Чьонг. К исследованию метода частотных характеристик определения параметров измерительных систем высокого напряжения. // Тезисы докладов школы - семинара "Проблемы энергосбережения в законодательстве и стандартах", Севастополь, 28-30 сентября 1993 г. - с.29-30.
2. Бржезицкий В. А., Хо Ван Ньат Чьонг. К расчету параметров коммутационного импульса напряжения. // Техническая электродинамика. - 1996. - № 1. - с. 28-30.

3. Бржезицкий В. А., Хо Ван Ньат Чыонг. Особенности частотных характеристик коммутационного импульса напряжения. // Техническая электродинамика. - 1996. - № 3. - с. 72-75.

Личный вклад автора в работах опубликованных в соавторстве, состоит в следующем: [1] - автором проведено исследование интегрального преобразования Фурье в области высоких частот; [2] - определена формула аппроксимации зависимости $x(M)$; [3] - исследована низкочастотная граница интегрального преобразования Фурье.

А н н о т а ц и я

Хо Ван Ньат Чыонг. Измерение параметров коммутационного импульса высокого напряжения методом частотных характеристик. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 - Техника высоких напряжений, Национальный технический университет Украины " Киевский политехнический институт ", Киев, 1996.

Защищается обобщающая научная работа, содержащая результаты теоретического исследования применения интегрального преобразования Фурье для определения параметров измерительных систем импульсного высокого напряжения. Введен в рассмотрение амплитудно - частотный спектр обратного Фурье - преобразования, исследованы низкочастотная и высокочастотная границы интегрального преобразования. Разработана методика расчета параметров стандартного аperiodического коммутационного импульса напряжения. Сформулированы основные положения разработки измерительной системы коммутационных импульсов высокого напряжения, а также методики ее аттестации.

Результаты работы использованы в научно - исследовательских разработках и учебном процессе НТУУ "КПИ" и переданы в УкрІСМ.

Annotation

Ho Van Nhat Chuong. Measurement of high voltage switching impulse parameters by frequency characteristics method.

A dissertation submitted in candidacy for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 05.14.12 - High voltage engineering, National technical university of Ukraine "Kiev polytechnical institute", Kiev, 1996.

Will be protected joint scientific works, which contain the results of theoretical research of the Fourier integral transformation to determine parameters of high voltage impulse measuring systems. Considered amplitude - frequency spectrum of reverse Fourier transformation. Researched low frequency and high frequency limits of integral transformation and made calculating method that determined parameters of high voltage standart non-periodic switching impulse. It were made high voltage switching impulses measuring system and its basic positions, as well as its attestation method.

Results of this dissertation were used in the scientific research and the teaching process at NTUU "KPI" and were passed over standart metrology and certification center of Ukraine.

Ключові слова: висока напруга, комутаційний імпульс, параметри, експериментальне визначення, частотні характеристики, метод Фур'є.

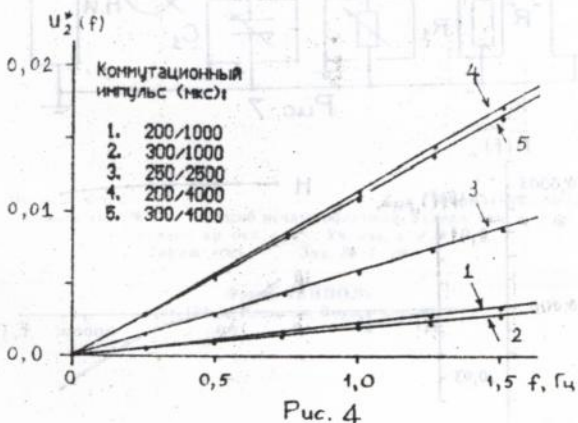
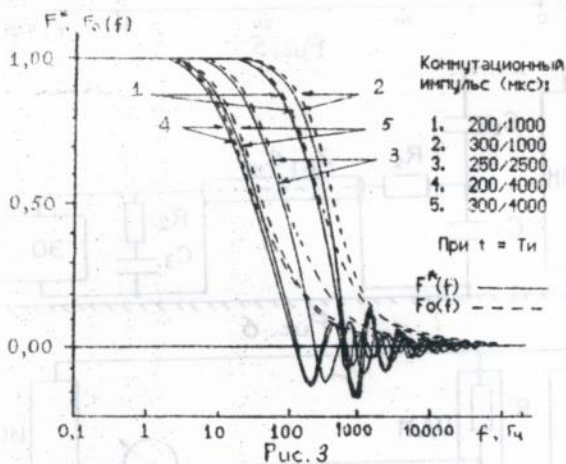
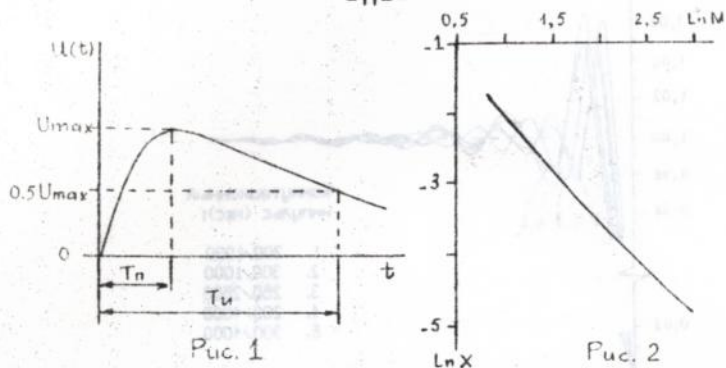


Рис. 4

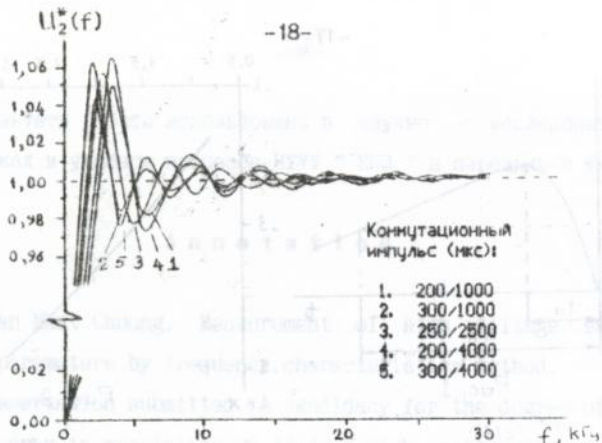


Рис. 5

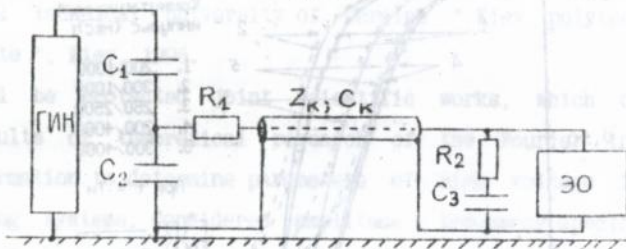


Рис. 6

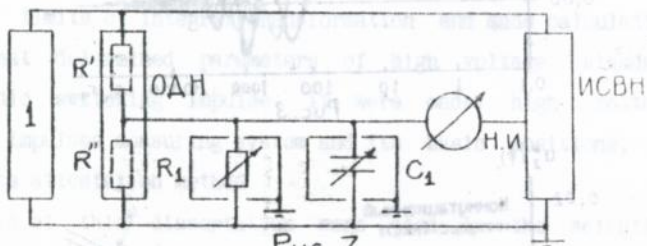


Рис. 7

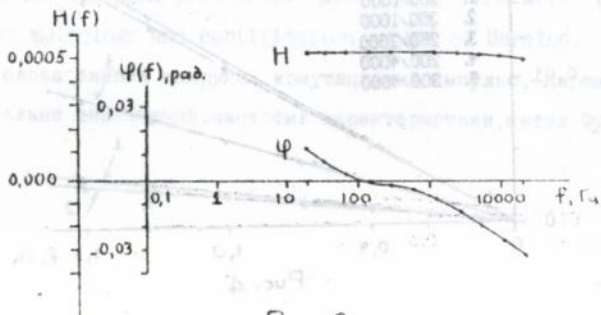


Рис. 8

ABSE

441345

AB 36.768