

TÍNH CHẤT ĐẶC THÙ CỦA BIẾN ĐỔI FOURIER ĐỐI VỚI XUNG ĐIỆN ÁP SÉT TRONG VÙNG TẦN SỐ THẤP

Hồ Văn Nhật Chương
Trường Đại học Kỹ thuật
(Bài nhận ngày 21/06/1999)

TÓM TẮT: Bài báo ứng dụng phép biến đổi Fourier để khảo sát các đặc tính động của bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao đối với sóng xung điện áp sét chuẩn. Từ đó, tìm được biểu thức giải tích đơn giản với độ chính xác cao để xác định giới hạn dưới của phổ tần số của bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao đối với xung điện áp sét chuẩn.

1. MỞ ĐẦU

Các tính chất động của các bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao thường được xác định bởi các đáp ứng của xung bước nhảy của chúng [1]. Để ghi lại các đáp ứng này cần thiết phải sử dụng kỹ thuật đo tần số cao, siêu cao và các giao động ký xung. Ngoài ra, khi thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm và phân tích các kết quả ghi được trong trường hợp này thường gặp khó khăn và phức tạp do các ảnh hưởng và sự tương hợp của các thông số của mạch đo. Những điều vừa nói ở trên chính là các yêu cầu đặt ra đối với bộ biến đổi tỉ lệ xung điện áp cao với độ dự trữ lớn về đáp ứng thời gian và các thông số khác của chúng [2]. Điều này thường được quan tâm nhiều khi xác định các tính chất động của bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao bằng phương pháp đặc tính tần số [2].

Theo lý thuyết tích phân Fourier [3], một hàm xung điện áp thay đổi theo thời gian $u(t)$ có thể viết dưới dạng:

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

ở đây: t - là thời gian;

ω - là tần số góc;

$A(\omega), B(\omega)$ - là các hàm được xác định như sau:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \cos(\omega t) dt, \quad B(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \sin(\omega t) dt. \quad (2)$$

Gọi $u_1(t)$ là điện áp đặt ở đầu vào của bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao và đặc tính tần số của nó là $\bar{H}(j\omega) = H(\omega) \exp[j\varphi(\omega)]$ thì điện áp nhận được ở đầu ra của bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao sẽ là:

$$u_2(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} H(\omega) [A(\omega) \cos(\omega t + \varphi) + B(\omega) \sin(\omega t + \varphi)] d\omega. \quad (3)$$

Như vậy, nếu điện áp vào $u_1(t)$ là hàm xung điện áp sét có dạng:

$$u_1(t) = U \left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right), \quad (4)$$

ở đây: U - là hằng số, có thứ nguyên là điện áp; $\tau_1 > 0$, $\tau_2 > 0$ - là các thông số, có thứ nguyên là thời gian, xác định sự thay đổi của hàm $u_1(t)$ theo thời gian. $\tau_1 > \tau_2$, thì theo [4] các biểu thức (2) có thể viết lại:

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

Từ đó, biểu thức điện áp ra $u_2(t)$ của bộ biến đổi tỉ lệ điện áp cao sau khi biến đổi biến số, xem [5] và [6], sẽ là:

$$u_2(t) = \frac{U}{\pi} \int_0^\infty H(x) \cos \left(x \frac{t}{\tau_1} + \varphi \right) \left(\frac{1}{1+x^2} - \frac{\tau_2/\tau_1}{1+x^2(\tau_2/\tau_1)^2} \right) dx + \frac{U}{\pi} \int_0^\infty H(x) \sin \left(x \frac{t}{\tau_1} + \varphi \right) \left(\frac{x}{1+x^2} - \frac{x(\tau_2/\tau_1)^2}{1+x^2(\tau_2/\tau_1)^2} \right) dx. \quad (6)$$

Ở đây $x = \omega \tau_1$ - là biến không thứ nguyên; ω - tần số góc, thay đổi từ 0 đến ∞ .

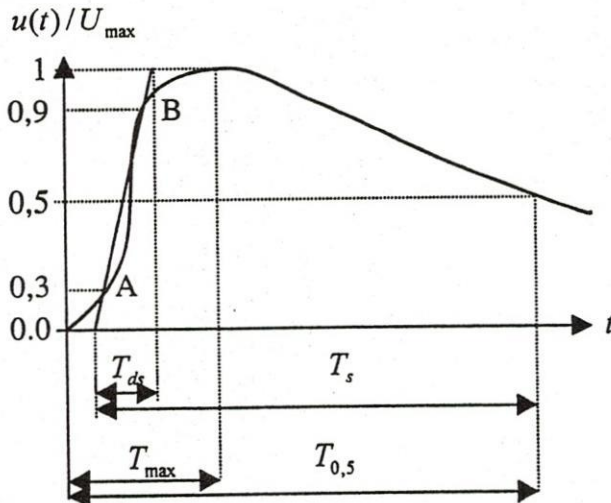
Tỷ số $K = \frac{u_1(t)}{u_2(t)}$ đặc trưng tính chất động thay đổi theo thời gian của hệ số tỉ lệ

của bộ biến đổi điện thế cao. Biểu thức (6) và K có tính chất chung và ứng dụng cho các dạng sóng xung điện áp khác nhau có dạng (4).

2. ĐẶC THÙ CỦA BIẾN ĐỔI FOURIER ĐỐI VỚI XUNG ĐIỆN ÁP SÉT CHUẨN

Bài báo sẽ ứng dụng các biểu thức trên để nghiên cứu đặc tính tần số của dạng sóng xung điện áp sét cao thế chuẩn trong vùng tần số thấp (đặc tính tần số của dạng sóng xung điện áp sét cao thế chuẩn trong vùng tần số cao sẽ được trình bày trong bài báo tiếp theo).

Dạng sóng xung điện áp sét chuẩn và các thông số thời gian của nó được trình bày trong hình vẽ H.1.



Hình H1. Dạng sóng xung điện áp sét.

Tích phân (6), theo lý thuyết, được lấy từ 0 đến ∞ . Tuy nhiên, điều này thực tế rất khó thực hiện. Bài báo sẽ nghiên cứu (6) với cận trên x_2 và cận dưới x_1 của nó đối với xung điện áp sét chuẩn $1,2/50\mu s$.

Đối với những hệ thống biến đổi tỉ lệ, thông thường được chế tạo với $H \approx cte$ và $\varphi \approx 0$. Với các điều kiện như thế, có thể xác định được các giá trị của $u_2(t)$ theo cận trên x_2 của (6) tại thời điểm t bất kỳ. Bài báo sẽ khảo sát trường hợp lúc $t = T_{max}$ (ứng với cặp T_{ds} -thời gian đầu sóng và T_s -thời gian sóng). Điều này tương ứng với nhiệm vụ xác định biên độ của xung.

Để thuận tiện trong việc khảo sát, giá trị của $u_2(t)$ thường được thực hiện trong đơn vị tương đối, có nghĩa là so với giá trị cực đại của điện áp ra:

$$U_2 = HU(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}}), \quad (7)$$

và như vậy, thay vì khảo sát $u_2(t)$, sẽ khảo sát $u_2^*(t) = \frac{u_2(t)}{U_2}$. Các thông số thời gian của sóng xung điện áp sét T_{ds} và T_s có quan hệ với các hằng số τ_1, τ_2, T_{max} theo [7] bởi các biểu thức:

$$M_0 = \frac{T_{ds}}{T_s} - 1; \quad (8)$$

$$\ln M = -0,0023390009 \ln^2 M_0 + 0,8962680238 \ln M_0 - 0,1605394854; \quad (9)$$

$$\ln y = 0,0276046749 \ln^2 M - 1,4144635954 \ln M - 0,9723378186; \quad (10)$$

$$T_{0,5} = T_s - 41y + 0,02; \quad (11)$$

$$T_{max} = \frac{T_{0,5}}{M + 1}; \quad (12)$$

$$\tau_2 = T_{max}(1 - y)/(-\ln y); \quad (13)$$

$$\tau_1 = \frac{\tau_2}{y}. \quad (14)$$

Vì các giá trị định mức của các thông số của xung điện áp sét, theo [8] và [9], thì không những chỉ các giá trị $T_{ds} = 1,2\mu s$ và $T_s = 50\mu s$ mà còn là một khoảng giá trị $T_{ds} = 1,2 \pm 0,36\mu s$ và $T_s = 50 \pm 10\mu s$. Do đó, cần thiết phải nghiên cứu $u_2^*(t)$ đối với tất cả sóng xung điện áp sét có trong khoảng cho phép của [8] và [9]. Bảng B1 dưới đây chỉ cho các thông số của 5 dạng sóng tiêu biểu:

Bảng B1. Các thông số của xung điện áp sét chuẩn.

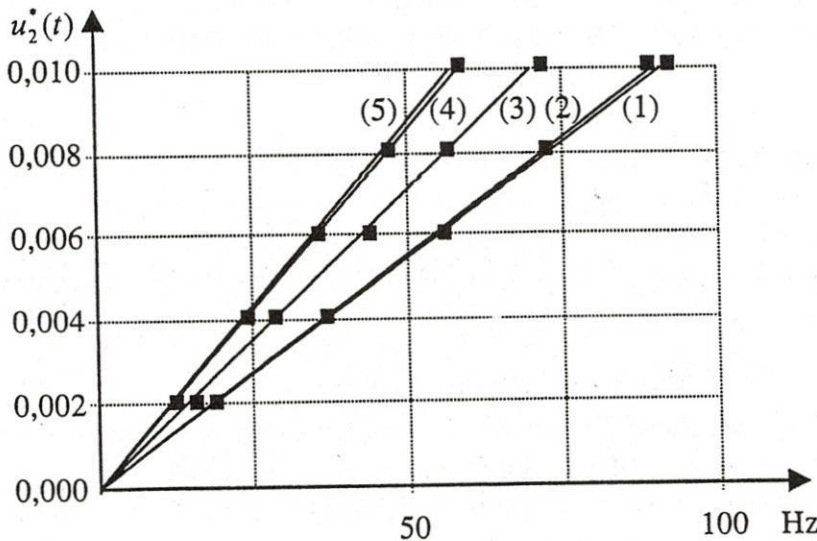
Số sóng	$T_{ds} (\mu s)$	$T_s (\mu s)$	M_0	$\tau_1 (\mu s)$	$\tau_2 (\mu s)$	T_{max}
1	1,56	40,00	24,6410	52,927402	0,545882	2,523036
2	0,84	40,00	46,6190	54,880786	0,280653	1,488280
3	1,20	50,00	40,6667	68,235538	0,404866	2,088206
4	1,56	60,00	37,4615	81,616214	0,529737	2,685934
5	0,84	60,00	70,4286	83,722619	0,274786	1,576755

Sử dụng phương pháp Simpson [3] và lập chương trình tính toán trên máy tính để xác định các giá trị của $u_2^*(t)$ đối với các dạng sóng xung sét chuẩn nằm trong khoảng cho phép của [8] và [9] (bảng B1 cho các dạng sóng tiêu biểu). Các giá trị tính toán được ở vùng tần số thấp của $u_2^*(t)$ cho trong bảng B2:

Bảng B2. Giá trị $u_2^*(t)$ theo tần số $f_2 = x_2 / 2\pi\tau_1$.

Dạng xung	Quan hệ của $u_2^*(t)$ theo tần số $f_2 = x_2 / 2\pi\tau_1$ khi $t = T_{max}$					
1,56/40 μs	f_2 (Hz)	0,001	1	9,008	10	90,09
	u_2^*	0,0000001110	0,0001110231	0,001000	0,0011102269	0,01000
0,84/40 μs	f_2 (Hz)	0,001	1	8,867	10	88,68
	u_2^*	0,0000001128	0,0001127789	0,001000	0,0011277842	0,01000
1,2/50 μs	f_2 (Hz)	0,001	1	7,107	10	71,08
	u_2^*	0,0000001407	0,0001407120	0,001000	0,0014701121	0,01000
1,56/60 μs	f_2 (Hz)	0,001	1	5,928	10	59,29
	u_2^*	0,0000001687	0,0001686936	0,001000	0,0016869222	0,01000
0,84/60 μs	f_2 (Hz)	0,001	1	5,861	10	58,62
	u_2^*	0,0000001706	0,0001706286	0,001000	0,0017062707	0,01000

Quan hệ của $u_2^*(t)$ theo giới hạn trên của tích phân Fourier đối với xung điện áp sét chuẩn x_2 (để tiện việc khảo sát $u_2^*(t)$ theo tần số thì thay vì lấy tích phân theo x_2 , sẽ lấy tích phân theo $f_2 = x_2 / 2\pi\tau_1$) được vẽ ở hình vẽ H2 (đường chấm chấm).



Hình H2. Quan hệ của $u_2^*(t)$ theo tần số $f_2 = x_2 / 2\pi\tau_1$:

- a). ————— : vẽ theo biểu thức (15);
- b). : vẽ theo biểu thức (6).

Cận dưới x_1 của tích phân có thể chọn bất kỳ (tùy thuộc vào độ chính xác khảo sát). Ở đây chọn x_1 tương ứng với tần số $f_1 = 0,001 Hz$ và bước tính $\Delta f = 0,001 Hz$. Từ

hình vẽ H2 và bảng số B2 cho thấy rằng trong vùng tần số ban đầu (vùng tần số thấp) điện áp ra $u_2^*(t)$ hoàn toàn tỉ lệ tuyến tính với tần số f_2 .

Biến đổi (6) dưới dạng đơn giản hơn bằng cách sử dụng khai triển Taylor cho các biểu thức $\sin(xt/\tau_1)$; $\cos(xt/\tau_1)$; $1/(1+x^2)$ và thay thế vào (6). Sau khi lấy tích phân từ 0 đến x_2 và viết dưới dạng tương đối, nghĩa là so với giá trị cực đại của nó, nhận được biểu thức:

$$u_2^*(t) = 2(\tau_1 - \tau_2)f_2. \quad (15)$$

Quan hệ gần đúng (15) của $u_2^*(t)$ theo $f_2 = x_2/2\pi\tau_1$ được vẽ trên hình vẽ H1 (đường liền nét). Biểu thức (15) cho sai số tính toán của hàm $u_2^*(t)$ trong vùng tần số f_2 , ứng với giá trị $u_2^*(t) \leq 0,01$ không vượt quá 0,04% so với các giá trị của $u_2^*(t)$ được tính theo biểu thức (6).

3. KẾT LUẬN

a). Trong vùng tần số thấp, điện áp ra (hay hệ số tỉ lệ) của bộ biến đổi tỉ lệ cao thế đối với xung điện áp sét chuẩn tỉ lệ tuyến tính với tần số.

b). Có thể chọn giới hạn dưới của tích phân Fourier đối với xung điện áp sét chuẩn tương ứng với một giá trị sai số tính toán cho trước, từ đó nhận được giới hạn dưới của phổ tần số của bộ biến đổi tỉ lệ khi đo xung điện áp sét chuẩn.

c). Nhận được một biểu thức giải tích đơn giản để xác định giới hạn dưới của phổ tần số của bộ biến đổi tỉ lệ khi đo xung điện áp sét chuẩn với độ chính xác cao.

THE PECULIAR CHARACTERISTICS OF FOURIER TRANSFORMATION IN LOW FREQUENCY RANGE FOR LIGHTNING VOLTAGE IMPULSES

Ho Van Nhat Chuong

ABSTRACT: In this article, the Fourier transformation was applied to examine the dynamic characteristics of high voltage impulse scale transformer for standard lightning voltage impulse. From this, a single analytical expression with high accuracy was obtained to determine the low-limit of frequency spectrum of high voltage scale transformer for standard lightning voltage impulse.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. *Manfred Beyer, Wonfram Boeck, Klaus Moller, Waltz Zaengl.* Hochspannungs-technik Theoretische und Praktische Grundlagen. Springer-Verlag, 555p., (1985).
- [2]. *Brzhezitsky V.A.* Frequency Characteristics Method Research. Proc. 8-th Intern Symp. On High Voltage Eng., Rep. 53 g., Yokohama. (1993).
- [3]. *Korn G.A., Korn T.M.* Mathematical handbook for scientists and engineers./ Sec. Enlarg. and revised edit.. McGraw - Hill Book Company, N.Y.- S. Francisco - Toronto - London - Sydney.- 1968.- 264 p.
- [4]. *Riabov B. M.* Measurements in high impulse voltage.- Leningrad Energy Publishers., 124p., (1983).
- [5]. *Brzhezitsky V. A., Ho Van Nhat Chuong.* Study frequency characteristics method for determinating the parameters of high voltage measuring

- systems. International Science Conference; 28 – 30 September; 1993; Cevastopol, Ukraine.
- [6]. Ho Van Nhat Chuong. Some problems for increasing the measuring accuracy in high voltage impulse measurement. The 7-th Conference on Science and Technology; 22 – 23 April; 1999; Technique University of HCM City, Vietnam.
- [7]. Ho Van Nhat Chuong. An analytical calculating method for the parameters of lightning voltage impulse. Science and Technology Development. Vol. 1.- No 9 and 10, pp. 19-24, (1998).
- [8]. Standard GOST 1516.2-76.
- [9]. IEC Publication 60-2: High Voltage Test Techniques.- Part 2.-Measuring Systems (1994 – 11).