

Լ.Հ. ԿԱՐԱՆԱՆՅԱՆ, Ա.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ն.Մ. ՍԱՀԱԿՅԱՆ

ՀՈՍԱՆՔԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀՈՍԱՆԱՅԻՆ ԵՎ ԱՆԿՑՈՒՆԱՅԻՆ ՍԽԱԼԱՆՔՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ներկայացված են չափիչ հոսանքի տրանսֆորմատորների հոսանային և անկյունային սխալանքների հետազոտման արդյունքները, հաշվի առնելով ֆերոմագնիսական միջուկի մագնիսական թափանցելիության կախումը չափվող հոսանքից: Հաշվարկված են ТФ3М110 տիպի հոսանքի տրանսֆորմատորի սխալանքները՝ կախված վերջինիս երկրորդային շղթայի բեռնվածքից և հզորության գործակիցից:

Առանցքային բառեր. հոսանքի տրանսֆորմատոր, հոսանային սխալանք, անկյունային սխալանք, բացարձակ մագնիսական թափանցելիություն:

Էլեկտրական ցանցերում էլեկտրական էներգիայի կորուստների վերլուծության ընթացքում օբյեկտիվ անհրաժեշտություն է տեխնոլոգիական կորուստների նորմատիվի մեջ, բացի հաշվարկային տեխնոլոգիական կորուստներից, հաշվի առնել էլեկտրական էներգիայի հաշվառման չափիչ սարքերի մտցրած սխալանքները: Այդ սարքերից չափիչ հոսանքի տրանսֆորմատորները (ՀՏ) ամենամեծ չափով են ազդում գումարային սխալանքի վրա, մտցնելով երկու տեսակի՝ հոսանային և անկյունային սխալանքներ: Ընդ որում, ՀՏ ֆերոմագնիսական միջուկի մագնիսական թափանցելիության՝ մագնիսական ինդուկցիայից ոչ գծային կախվածության պատճառով անվանականից տարբերվող առաջնային հոսանքների դեպքում առաջանում են սխալանքներ՝ զգալիորեն մեծ անվանական հոսանքի դեպքում երաշխավորվող սխալանքից: Ներկայումս ՀՀ էներգահամակարգում գործում են տասնամյակներ առաջ տեղակայված ՀՏ-ներ, որոնց իրական բեռնվածքը մի քանի անգամ փոքր է իրենց անվանականից, բայց այդ չափիչ սարքերի սխալանքը անվանականից տարբերվող ռեժիմներում հաշվի է առնվում ճշտության դասին համապատասխանող արժեքով:

Դիտարկվում են ՀՏ հոսանային և անկյունային սխալանքների հաշվարկման անալիտիկ արտահայտությունները և դրանց հիման վրա սխալանքների թվային հաշվարկների արդյունքները՝ շահագործման մեջ գտնվող 110 կՎ լարման ՀՏ առաջնային հոսանքների լայն տիրույթում, երբ երկրորդային շղթայում միացված չափիչ սարքերի (ամպերաչափի, հաշվիչի) փաթույթների հզորության գործակիցը ($\cos\alpha$) փոփոխվում է 0,6...0,8 սահմաններում:

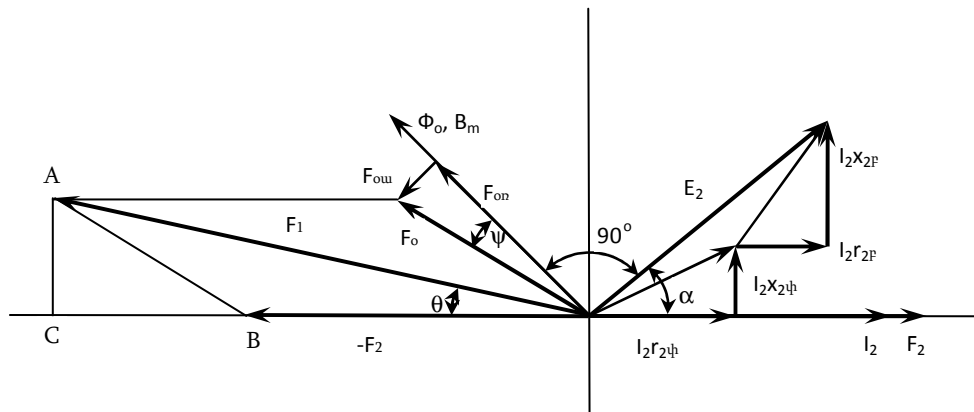
1. Հոսանային սխալանք: Հոսանային սխալանքը որոշվում է որպես իրական I_2 երկրորդային հոսանքի և առաջնային փաթույթին բերված $I_1' = I_1 / K_{iud}$ առաջնային հոսանքի հանրահաշվական տարբերություն:

$$\delta_i = \frac{I_1' - I_1}{I_1} \cdot 100 = \frac{K_{iud} - K_i}{K_i} \cdot 100, \quad (1)$$

որտեղ K_{iud} -ը ՀՏ-ի անվանական տրանսֆորմացման գործակիցն է և որոշվում է ՀՏ երկրորդային և առաջնային փաթույթների գալարների հարաբերությամբ՝

$$K_{iud} = \frac{w_2}{w_1}: \quad (2)$$

Հոսանային սխալանքի որոշման համար դիտարկենք ՀՏ վեկտորական դիագրամը [1], որը բերված է նկ. 1-ում:



Նկ. 1. ՀՏ վեկտորական դիագրամը

$F_1 = I_1 w_1$ -ը առաջնային փաթույթի մագնիսաշարժ ուժն է (մ.շ.ու.), $F_2 = I_2 w_2$ -ը՝ երկրորդային փաթույթի մ.շ.ու.-ն, $I_2 r_{2q}$, $I_2 x_{2q}$ -ն՝ երկրորդային փաթույթի գալարների ակտիվ և ինդուկտիվ դիմադրությունների վրա լարման անկումները, $I_2 r_{2p}$, $I_2 x_{2p}$ -ն՝ երկրորդային շղթայում բեռնվածքի ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրությունների վրա լարման անկումները, E_2 -ը՝ երկրորդային փաթույթի էլեմենտները.

$$E_2 = I_2 \sqrt{(r_{2q} + r_{2p})^2 + (x_{2q} + x_{2p})^2} = I_2 Z_2: \quad (3)$$

Երկրորդային փաթույթի հոսանքի և էլեմենտների փուլային շեղման անկյունն ըստ նկ. 1-ի՝

$$\alpha = \arctg \frac{x_{2q} + x_{2p}}{r_{2q} + r_{2p}}: \quad (4)$$

Հայտնի է, որ ՀՏ ֆերմագնիսական միջուկում Φ_0 հոսքը E_2 -ից փուլով առաջ է 90° -ով: Մագնիսական B_m ինդուկցիան ուղղությամբ համընկնում է Φ_0 -ի հետ և որոշվում է հետևյալ հայտնի բանաձևով [1]՝

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 f S_u w_2} = \frac{0,225 E_2}{f S_u w_2}, \quad (5)$$

որտեղ $f = 50 \text{ Հգ}$ - հոսանքի հաճախությունն է, S_u -ն՝ մագնիսալարի լայնական հատույթի մակերեսը:

Մագնիսական հոսքը որոշվում է՝

$$\Phi_0 = \frac{\sqrt{2} F_0}{Z_u}, \quad (6)$$

որտեղ $Z_u = \frac{\ell_u}{\mu_p S_u}$ - մագնիսալարի մագնիսական դիմադրությունն է, ℓ_u, S_u -ն՝ մագնիսական միջին զծի երկարությունը և լայնական հատույթի մակերեսը, μ_p -ն՝ պողպատի բացարձակ մագնիսական թափանցելիությունը:

ՀՏ հոսանային սխալանքն ըստ (1) սահմանման և վեկտորական դիագրամի ($BC = F_0 \sin(\psi + \alpha)$) ստացվում է հետևյալ տեսքով.

$$\delta_i = \frac{F_0}{F_1} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\%, \quad (7)$$

որտեղ ψ -ն ֆերմագնիսական միջուկում կորուստների անկյունն է:

Ըստ (6)-ի

$$F_0 = \frac{0,225 E_2 Z_u}{\sqrt{2} f w_2} = \frac{0,225 I_2 Z_2 \ell_u}{\sqrt{2} \mu_p f S_u w_2}, \quad (8)$$

հետևաբար՝

$$\delta_i = \frac{0,225 I_2 Z_2 \ell_u}{\sqrt{2} \mu_p f S_u w_2 F_1} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\% : \quad (9)$$

2. Անկյունային սխալանք: ՀՏ-ի անկյունային սխալանքը (θ) որոշվում է I_1 առաջնային հոսանքի և 180° -ով շրջված I_2 հոսանքի վեկտորների փուլային շեղմամբ (նկ. 1) և արտահայտվում է անկյունային բոպեններով [1]

$$\theta = 3440 \frac{F_0}{F_1} \cos(\psi + \alpha) = 3440 \frac{0,225 I_2 Z_2 \ell_u}{\sqrt{2} \mu_p f S_u w_2 I_1 w_1} : \quad (10)$$

Վերլուծելով (7) և (10) բանաձևերով որոշվող ՀՏ հոսանային և անկյունային սխալանքների արտահայտությունները՝ կարելի է եզրակացնել, որ տվյալ ՀՏ-ի առաջացրած սխալանքը I_1 առաջնային հոսանքի յուրաքանչյուր արժեքի դեպքում որոշվում է պողպատի բացարձակ $\mu_p = \frac{B_m}{H}$ մագնիսական թափանցելիությամբ: Հետևաբար, անալիտիկորեն δ_i և θ սխալանքները հաշվարկելու համար անհրաժեշտ է տվյալ երկրաչափական պարամետրերով (ℓ_u, S_u) ֆերոմագնիսական միջուկի պողպատի μ_p թափանցելիության հաշվարկ, ելնելով նրա մագնիսացման $B_m(H)$ բնութագրից:

Մասնավոր դեպքում՝ 1512 (Յ42) պողպատի համար նշված բնութագիրը ապրոքսիմացվում է [2]

$$H = 82 B_m^{0.6} : \quad (11)$$

Ֆունկցիայի միջոցով [2], որտեղ H և B_m մեծություններն արտահայտված են համապատասխանաբար $U/\text{մ}$ և S_z միավորներով:

Ինչ վերաբերում է ֆերոմագնիսական միջուկում մագնիսական կորուստների ψ անկյանը, նշենք, որ այն որոշվում է մագնիսահաղորդչում մագնիսական դաշտի H լարվածությունից կամ ինդուկցիայի B_m ամպլիտուդից ունեցած կախվածությամբ, որը յուրաքանչյուր պողպատի համար տրվում է չափումների հիման վրա ստացված տվյալների աղյուսակի տեսքով [1, էջ 286]: Ընդ որում, Յ41, Յ42, Յ46 և Յ48 պողպատների համար $\psi(H)$ կախվածությունը նպատակահարմար է ապրոքսիմացնել հետևյալ բազմանդամի տեսքով՝

$$\psi = -0,000001H^4 + 0,0000429H^3 - 0,0003877H^2 + 0,015476H + 0,2057971, \quad (12)$$

որտեղ H -ը ֆերոմագնիսական միջուկում մագնիսական դաշտի լարվածությունն է, $U/\text{մ}$:

Այն պետք է որոշել առաջնային հոսանքի յուրաքանչյուր արժեքի դեպքում, ելնելով $B_m = \frac{I_1 Z_2}{4,44 \cdot K_{iuu} \cdot S_u \cdot f \cdot w_2}$ հավասարումից և (11) բանաձևի աջ մասի հաշվարկից:

Հոսանային և անկյունային սխալանքների անալիտիկ արտահայտությունների հիման վրա հաշվարկվել են ТФ3М110 տիպի ՀՏ-ի հոսանային և անկյունային սխալանքները առաջնային հոսանքի I_1/I_{iuu} հարաբերական արժեքի փոփոխման լայն տիրույթում:

Հաշվարկման արդյունքները նշված ՀՏ-ի համար բերված են աղյուսակում՝ երկրորդային շղթայի հզորության գործակցի ($\cos \alpha$) տարբեր արժեքների համար:

ТФ3М110 ՀՏ սխալանքների կախումը I_1 -ի հարաբերական արժեքից

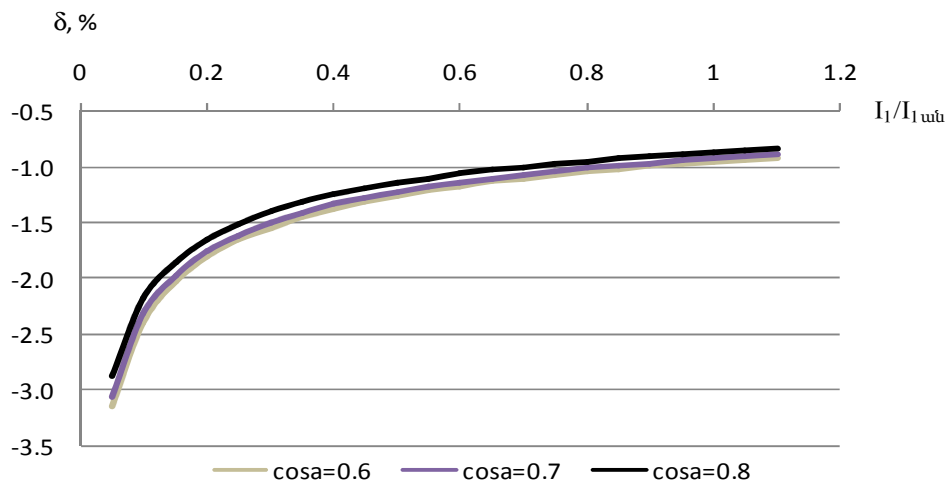
cos α =0.8					cos α =0.7					cos α =0.6				
$I_1/I_{1\text{տն}}$	B_m, S_L	$H, U/f$	$\delta, \%$	$\theta, \rho n u y$	$I_1/I_{1\text{տն}}$	B_m, S_L	$H, U/f$	$\delta, \%$	$\theta, \rho n u y$	$I_1/I_{1\text{տն}}$	B_m, S_L	$H, U/f$	$\delta, \%$	$\theta, \rho n u y$
0,05	0,00	2,95	-0,94	67,53	0,05	0,00	2,95	-1,22	59,02	0,05	0,00	2,95	-1,43	50,52
0,1	0,01	4,46	-0,58	51,17	0,10	0,01	4,46	-0,80	44,71	0,10	0,01	4,46	-0,96	38,27
0,15	0,01	5,69	-0,42	43,50	0,15	0,01	5,69	-0,60	38,01	0,15	0,01	5,69	-0,73	32,53
0,2	0,02	6,77	-0,31	38,76	0,20	0,02	6,77	-0,47	33,87	0,20	0,02	6,77	-0,59	28,98
0,25	0,02	7,74	-0,24	35,44	0,25	0,02	7,74	-0,39	30,97	0,25	0,02	7,74	-0,50	26,50
0,3	0,02	8,63	-0,19	32,94	0,30	0,02	8,63	-0,32	28,78	0,30	0,02	8,63	-0,42	24,62
0,35	0,03	9,47	-0,14	30,97	0,35	0,03	9,47	-0,27	27,05	0,35	0,03	9,47	-0,37	23,14
0,4	0,03	10,26	-0,11	29,35	0,40	0,03	10,26	-0,23	25,64	0,40	0,03	10,26	-0,32	21,93
0,45	0,04	11,01	-0,08	28,00	0,45	0,04	11,01	-0,19	24,45	0,45	0,04	11,01	-0,28	20,92
0,5	0,04	11,73	-0,05	26,84	0,50	0,04	11,73	-0,16	23,44	0,50	0,04	11,73	-0,25	20,05
0,55	0,04	12,42	-0,03	25,83	0,55	0,04	12,42	-0,14	22,56	0,55	0,04	12,42	-0,22	19,29
0,6	0,05	13,08	-0,01	24,94	0,60	0,05	13,08	-0,11	21,78	0,60	0,05	13,08	-0,19	18,63
0,65	0,05	13,73	0,01	24,15	0,65	0,05	13,73	-0,09	21,09	0,65	0,05	13,73	-0,17	18,04
0,7	0,06	14,35	0,02	23,44	0,70	0,06	14,35	-0,07	20,47	0,70	0,06	14,35	-0,15	17,50
0,75	0,06	14,96	0,04	22,80	0,75	0,06	14,96	-0,06	19,91	0,75	0,06	14,96	-0,13	17,02
0,8	0,06	15,55	0,05	22,22	0,80	0,06	15,55	-0,04	19,40	0,80	0,06	15,55	-0,11	16,58
0,85	0,07	16,12	0,06	21,68	0,85	0,07	16,12	-0,03	18,93	0,85	0,07	16,12	-0,10	16,18
0,9	0,07	16,68	0,07	21,19	0,90	0,07	16,68	-0,02	18,50	0,90	0,07	16,68	-0,08	15,81
0,95	0,07	17,23	0,08	20,73	0,95	0,07	17,23	0,00	18,10	0,95	0,07	17,23	-0,07	15,47
1	0,08	17,77	0,09	20,31	1,00	0,08	17,77	0,01	17,73	1,00	0,08	17,77	-0,06	15,15
1,05	0,08	18,30	0,10	19,91	1,05	0,08	18,30	0,02	17,38	1,05	0,08	18,30	-0,04	14,86
1,1	0,09	18,82	0,11	19,54	1,10	0,09	18,82	0,03	17,06	1,10	0,09	18,82	-0,03	14,58
1,1	0,09	18,82	0,11	19,54	1,10	0,09	18,82	0,03	17,06	1,10	0,09	18,82	-0,03	14,58
1,15	0,09	19,33	0,12	19,20	1,15	0,09	19,33	0,04	16,75	1,15	0,09	19,33	-0,02	14,32
1,2	0,09	19,83	0,12	18,87	1,20	0,09	19,83	0,04	16,47	1,20	0,09	19,83	-0,01	14,07
1,25	0,10	20,32	0,13	18,56	1,25	0,10	20,32	0,05	16,20	1,25	0,10	20,32	-0,01	13,84
1,3	0,10	20,80	0,14	18,27	1,30	0,10	20,80	0,06	15,94	1,30	0,10	20,80	0,00	13,62
1,35	0,11	21,28	0,14	17,99	1,35	0,11	21,28	0,07	15,70	1,35	0,11	21,28	0,01	13,42
1,4	0,11	21,75	0,15	17,73	1,40	0,11	21,75	0,07	15,47	1,40	0,11	21,75	0,02	13,22
1,45	0,11	22,21	0,15	17,48	1,45	0,11	22,21	0,08	15,26	1,45	0,11	22,21	0,03	13,03
1,5	0,12	22,67	0,16	17,25	1,50	0,12	22,67	0,09	15,05	1,50	0,12	22,67	0,03	12,86
1,55	0,12	23,12	0,16	17,02	1,55	0,12	23,12	0,09	14,85	1,55	0,12	23,12	0,04	12,69
1,6	0,13	23,56	0,17	16,80	1,60	0,13	23,56	0,10	14,66	1,60	0,13	23,56	0,05	12,52
1,65	0,13	24,00	0,17	16,60	1,65	0,13	24,00	0,10	14,48	1,65	0,13	24,00	0,05	12,37
1,7	0,13	24,44	0,18	16,40	1,70	0,13	24,44	0,11	14,31	1,70	0,13	24,44	0,06	12,22
1,75	0,14	24,86	0,18	16,21	1,75	0,14	24,86	0,11	14,14	1,75	0,14	24,86	0,06	12,08
1,8	0,14	25,29	0,18	16,02	1,80	0,14	25,29	0,12	13,98	1,80	0,14	25,29	0,07	11,94
1,85	0,15	25,71	0,19	15,85	1,85	0,15	25,71	0,12	13,82	1,85	0,15	25,71	0,07	11,81
1,9	0,15	26,12	0,19	15,68	1,90	0,15	26,12	0,13	13,68	1,90	0,15	26,12	0,08	11,68
1,95	0,15	26,53	0,20	15,52	1,95	0,15	26,53	0,13	13,53	1,95	0,15	26,53	0,08	11,56
2	0,16	26,94	0,20	15,36	2,00	0,16	26,94	0,14	13,40	2,00	0,16	26,94	0,09	11,44

Նկ. 2 – 3-ում վրա բերված են δ_i և θ անկյունային սխալանքների կախումը $I_1/I_{1\text{ան}}$ հարաբերությունից արտահայտող գրաֆիկները:

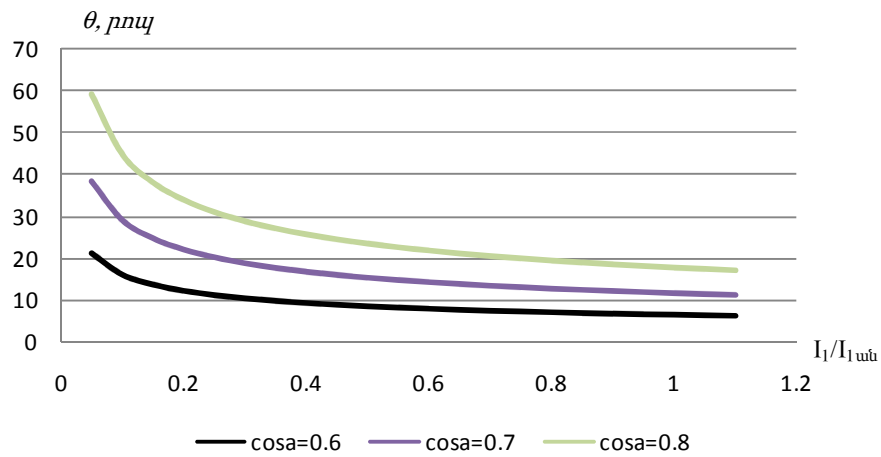
Ընդ որում, I_1 հոսանքի՝ անվանականից փոքր արժեքների դեպքում δ_i ունի բացասական նշան (թերաչափում) և բացարձակ արժեքով փոքրանում է հոսանքի մեծանալիս, իսկ $\theta = f(I_1)$ գրաֆիկներից հետևում է, որ I_1 -ի մեծանալիս անկյունային սխալանքը փոքրանում է և $I_{1\text{ան}}$ դեպքում ունի նվազագույն արժեք:

ՀՏ հոսանային սխալանքը փոքրացնելու նպատակով կիրառվում է երկրորդային փաթույթի գալարների «ետփաթաթում», այսինքն՝ երկրորդային փաթույթի իրական w_2 գալարների թիվը անվանականից 1-2 գալարով պակասեցվում է: Երկրորդային հոսանքը մեծանում է, և հաշվարկային բացասական սխալանքին ավելանում է $\frac{\Delta w_2}{w_{2\text{ան}}} 100\%$ դրական նշանով սխալանք:

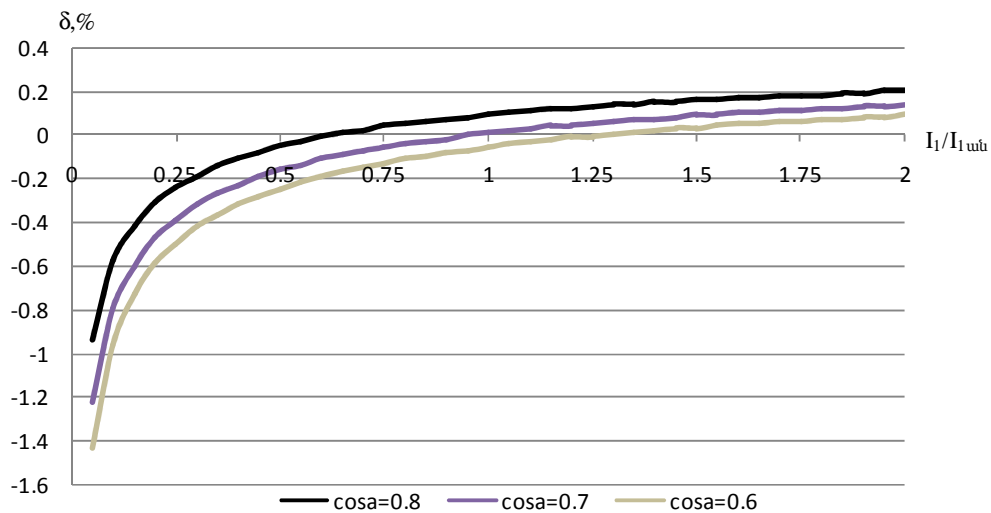
Նկ. 4-ում բերված են ТФ3М110 տիպի ՀՏ հոսանային սխալանքի կախումը $I_1/I_{1\text{ան}}$ -ից արտահայտող գրաֆիկները, երբ երկրորդային փաթույթի գալարների թիվը $w_{2\text{ան}}$ -ից 1,7-ով պակաս է՝ $\cos \alpha$ -ի 0,8, 0,7 և 0,6 արժեքների դեպքում:



Նկ. 2. ТФ3М110 տիպի ՀՏ հոսանային սխալանքի կախումը հոսանքի հարաբերական արժեքից



Նկ. 3. $T\Phi 3M110$ տիպի ՀՏ անկյունային սխալանքի կախումը հոսանքի հարաբերական արժեքից



Նկ. 4. $T\Phi 3M110$ տիպի ՀՏ հոսանային սխալանքի կախումը հոսանքի հարաբերական արժեքից՝ գալարների թիվը պակասեցնելուց հետո

Եզրակացություններ

1. Հոսանքի չափիչ տրանսֆորմատորների հոսանային սխալանքը, անվանականից փոքր հոսանքների դեպքում, մի քանի անգամ մեծ է անվանական հոսանքի դեպքում երաշխավորված սխալանքից:
2. Հոսանքի տրանսֆորմատորի հոսանային և անկյունային սխալանքները էապես կախված են առաջնային հոսանքից և առավելագույն արժեք ունեն $I_1 \leq 0,01 I_{1un}$ հոսանքներ չափելիս:

3. Հոսանքի տրանսֆորմատորի հոսանային սխալանքը մեծանում է նրա երկրորդային շղթայի հզորության գործակցի նվազմանը զուգընթաց և $\cos \alpha = 1$ սահմանային արժեքի դեպքում ստանում է ամենափոքր արժեքը:

4. Հոսանքի տրանսֆորմատորի անկյունային սխալանքը մեծանում է նրա երկրորդային շղթայի հզորության գործակցի մեծանալիս և սահմանային արժեքի դեպքում ստանում է ամենամեծ արժեքը:

ՔՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, В.М. Кибель и др. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
 2. Бачурин Н.И. Трансформаторы тока. – Л. : Энергия, 1963. – 350 с.
- «Էներգետիկայի ԳՀԻ» ՓԲԸ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 26.05.2011:

Լ.Օ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Ա.Տ. ԱՐՄԵՆՅԱՆ, Ն.Մ. ՏԱԿՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Представлены результаты исследования токовой и угловой погрешностей измерительных трансформаторов с учётом нелинейной зависимости магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника от измеряемого тока. Рассчитаны погрешности реального трансформатора тока типа ТФЗМ110 с известными геометрическими и электромагнитными параметрами, выявлены их зависимости от величины измеряемого тока, а также коэффициента мощности вторичной цепи.

Ключевые слова: трансформатор тока, токовая погрешность, угловая погрешность, абсолютная магнитная проницаемость.

L.H. KARAKHANYAN, A.S. HARUTYUNYAN, N.M. SAHAKYAN

INVESTIGATION OF CURRENT ANGLE INACCURACY IN MEASURING CURRENT TRANSFORMERS

Investigation results for current and angular inaccuracies in measuring current transformers subject to non-linear dependence of ferromagnetic core magnetic conductivity on measured current are presented. Inaccuracies for a real transformer of TFZM110 type with given geometrical and electrical magnetic parameters and their dependences on measured current value as well as power factor of the secondary circuit are calculated.

Keywords: current transformer, current inaccuracy, angular inaccuracy, absolute magnetic conductivity.