

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ АМПЛИТУД

С. Ю. ПОТОМСКИЙ, А. В. КОСИНСКИЙ

Московский институт электроники и математики Национального
исследовательского университета «Высшая школа экономики», Москва, Россия,
e-mail: spotomskiy@hse.ru

Рассмотрена схема разработанного оптоэлектронного преобразователя перемещений во временной интервал с компенсацией погрешности преобразования, возникающей из-за нестабильности амплитуды генератора несущей частоты. Определена эффективность компенсации.

Ключевые слова: оптоэлектронный преобразователь, линейные перемещения, повышение точности преобразования, синхронизация амплитуд.

The circuit of developed optoelectronic transducer of displacement into the time interval with compensation of conversion error occuring due to carrier frequency genertator amplitude instability — is considered. The compensation efficieney is determined.

Key words: optoelectronic transducer, linear displacements, conversion accuracy improvement, amplitudes synchronisation.

В системах автоматики и управления, в состав которых входят цифровые управляющие ЭВМ, аналого-цифровые преобразователи (АЦП) играют, фактически, ключевую роль. От качества работы этих устройств зависит качество системы управления в целом. На сегодняшний день одними из наиболее перспективных устройств для измерения линейных перемещений и их преобразования в цифровой код являются одномодуляторные оптоэлектронные АЦП перемещений временного типа. Они обеспечивают высокую точность преобразования измеряемых величин. Их выходные сигналы могут применяться для получения цифровых эквивалентов измеряемых величин.

Первичным преобразовательным звеном такого устройства является оптоэлектронный преобразователь перемещений во временной интервал (ППВИ). Главное условие точной работы и линейного преобразования ППВИ любого типа имеет вид $k_M = k_{\Phi\Gamma}$, т. е. отношение коэффициента модулятора k_M к коэффициенту функционального генератора $k_{\Phi\Gamma}$ должно быть равным 1. В случае оптоэлектронного ППВИ коэффициентом модулятора является напряжение на выходе сумматора U_C , определяемое как произведение передаточных коэффициентов элементов, входящих в состав одноканального оптоэлектронного растрового датчика, а также светового потока Φ_0 и средней составляющей S_0 прозрачности растрового модулятора. Коэффициентом функционального генератора является амплитуда генератора синусоидального напряжения.

Условие записывается следующим образом:

$$U_C / U_{\max} = k_y k_{\Phi\Gamma} \Phi_0 S_0 m_X / U_{\max} = 1,$$

где k_y , $k_{\Phi\Gamma}$, – коэффициенты усиления усилителя и преобразования фотоприемника; m_X – глубина модуляции; X – перемещение; $U_{\max}$ – максимальная амплитуда генератора несущей частоты (ГНЧ).

Ввиду того, что по аппаратным причинам амплитуда ГНЧ или световой поток могут изменяться, это приводит к появлению погрешности преобразования. В идеальном случае погрешность отсутствует, если максимальное напряжение $U_{C\max}$ сумматора равно максимальному напряжению $U_{\max}$ генератора несущей частоты:

$$U_{C\max} = U_{\max}. \quad (1)$$

Для определения погрешности преобразования развернем уравнение (1), перепишем его левую часть с учетом, что световой поток $\Phi_0 = k_{\text{ис}} U_{\text{ипн}}$, (где $k_{\text{ис}}$ – передаточный коэффициент источника света; $U_{\text{ипн}}$ – напряжение питания источника света), и получим

$$k_{\text{ис}} U_{\text{ипн}} k_y k_{\Phi\Gamma} S_0 m_X X \sin(2\pi/g) = U_{\max} \sin \omega t, \quad (2)$$

где X – перемещение; ω – круговая частота; g – шаг раstra.

Для упрощения дальнейших преобразований обозначим

$$A = k_{\text{ис}} k_y k_{\Phi\Gamma} S_0 m_X.$$

Проанализируем погрешность преобразования при нестабильности амплитуды $U_{\max}$ ГНЧ. Из (2) следует

$$U_{\text{ипн}} A X_{\text{НО}} \sin(2\pi/g) = U_{\max} \sin \omega t_{\text{НО}},$$

где $t_{\text{НО}}$ – момент срабатывания нуля-органа НО при $X = X_{\text{НО}}$, отсюда

$$t_{HO} = \omega^{-1} \arcsin U_{ИПН} A X_{HO} U_{\max}^{-1} \sin(2\pi/g). \quad (3)$$

Если $U_{\max} = A U_{ИПН}$, то $t_{HO} = 2\pi X_{HO}/(\omega g)$. Если $U_{\max}$ нестабильно (изменяется на $\Delta U_{\max}$), то t_{HO} изменится на Δt_{HO} . Таким образом,

$$\Delta t_{HO} = \omega^{-1} \arcsin \frac{U_{ИПН} A X_{HO} \sin(2\pi/g)}{U_{\max} + \Delta U_{\max}} - t_{HO}. \quad (4)$$

Представим полученное выражение в относительной форме, разделив левую и правую части на значение периода T несущего напряжения, а в знаменателе правой части вынесем за скобки $U_{\max}$. Тогда

$$\frac{\Delta t_{HO}}{T} = \frac{1}{\omega} T \arcsin \frac{U_{ИПН} A X_{HO} \sin(2\pi/g)}{U_{\max} (1 + \Delta U_{\max}/U_{\max})} - \frac{t_{HO}}{T}$$

или

$$\delta t_{HO} = \frac{1}{2\pi} \arcsin \frac{U_{ИПН} A X_{HO} \sin(2\pi/g)}{U_{\max} (1 + \delta U_{\max})} - \bar{t}_{HO}, \quad (5)$$

где δt_{HO} , $\delta U_{\max}$ – относительные приращения времени срабатывания НО из-за возникновения приращения $\Delta U_{\max}$ несущей частоты и амплитуды несущей частоты; $\bar{t}_{HO} = t_{HO}/T$.

Таким образом, δt_{HO} является относительной погрешностью преобразования, возникающей из-за относительного приращения $\delta U_{\max}$ амплитуды напряжения несущей частоты. Для правильной работы ППВИ необходимо выполнение условия $U_{ИПН} A/U_{\max} = 1$, тогда (5) примет вид

$$\delta t_{HO} = \frac{1}{2\pi} \arcsin \left[\frac{X_{HO}}{1 + \delta U_{\max}} \sin(2\pi/g) \right] - \bar{t}_{HO}.$$

Из (2) следует, что ППВИ будет работать без погрешности, если $2\pi X_{HO}/g = \omega t_{\max} = \pi/2$, при максимально возможном временном интервале $t_{\max}$. В этом случае

$$U_{ИПН} A = U_{\max}. \quad (6)$$

Как было сказано выше, нестабильность $U_{\max}$ приводит к погрешности преобразования. Эту погрешность согласно (6) можно устранить либо стабилизацией $U_{\max}$, либо отрегулировав источник света так, чтобы это выражение оставалось справедливым при любых значениях $U_{\max}$. Очевидно, что второй вариант более перспективен по сравнению с первым.

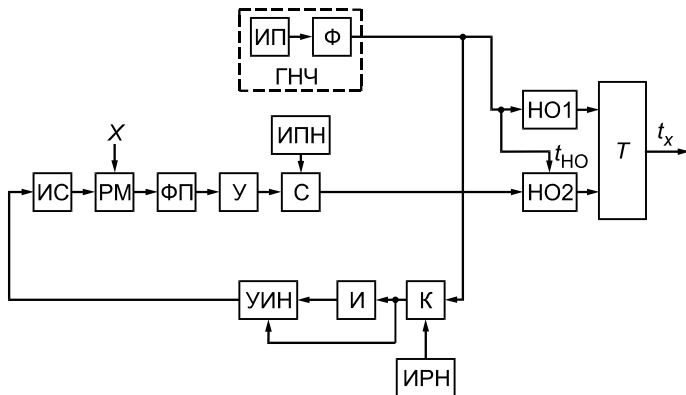


Рис. 1. Функциональная схема оптоэлектронного ППВИ с компенсацией погрешности из-за нестабильности амплитуды сигнала несущей частоты:

ИП – источник питания; *Ф* – фильтр; *ГНЧ* – генератор несущей частоты;

ИПН – источник постоянного напряжения; *ИС* – источник света;

РМ – растровый модулятор; *ФП* – фотоприемник *У* – усилитель; *С* – сумматор;

НО – нуль-орган; *УИН* – управляемый источник напряжения; *И* – интегратор;

К – компаратор; *ИРН* – источник реперного напряжения

На рис.1 представлена схема ППВИ с компенсацией погрешности, предназначенная для повышения точности преобразования перемещения во временной интервал. На первый вход компаратора *К* подается выходное напряжение генератора несущей частоты *ГНЧ*, на второй – реперное напряжение $U_{\text{ИРН}}$ источника реперного напряжения *ИРН*. Длительность временного интервала на выходе компаратора при определенном реперном напряжении пропорциональна приращению амплитуды напряжения несущей частоты. Интегратор преобразует временной интервал с выхода компаратора в пропорциональное напряжение. Управляемый источник напряжения *УИН* работает следующим образом: на его первый вход подается сигнал с выхода компаратора *К*, на второй – с выхода интегратора *И*. Источник фиксирует задний фронт импульса с выхода компаратора и генерирует напряжение, соответствующее сигналу с выхода интегратора в момент времени, определяемый задним фронтом импульса с выхода компаратора. Это напряжение используется для питания источника света *ИС*. Таким образом, при случайном увеличении амплитуды напряжения генератора несущей частоты возрастают длительность временного интервала на

выходе компаратора, напряжение на выходе интегратора и, следовательно, увеличивается световой поток Φ_0 на выходе источника света. При этом процесс происходит так, что максимальное выходное напряжение сумматора U_{Cmax} становится равным амплитуде U_{max} напряжения несущей частоты, что исключает погрешность преобразования из-за нестабильности амплитуды ГНЧ.

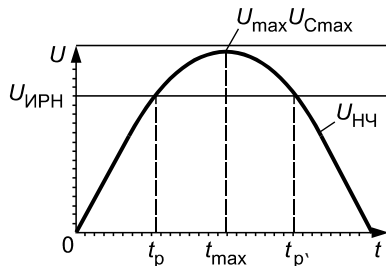


Рис. 2. Временная диаграмма работы компаратора

Проанализируем работу ППВИ с компенсацией погрешностей преобразования. Работа компаратора проиллюстрирована временной диаграммой рис. 2, где напряжение несущей частоты $U_{НЧ} = U_{max} \sin \omega t$, t_p , t_p' – моменты мгновенного равенства напряжений $U_{НЧ}$ и $U_{ИРН}$. Компаратор настроен так, что на его выходе формируется импульс $t_k = t_p' - t_p$ с амплитудой U_k , определяемой его параметрами.

Интегратор преобразует выходные импульсы компаратора в напряжение, которое подается в качестве питающего на вход источника света:

$$U_{ИПН} = k_{И} U_{К} \int_{t_p}^{t_p'} dt = U_{ИПН} = k_{И} U_{К} t \Big|_{t_p}^{t_p'}, \quad (7)$$

где $k_{И}$ – коэффициент интегрирования интегратора.

При помощи рис. 2 определим t_p и t_p' . Выражение (7) можно записать как

$$U_{ИПН} = 2k_{И} U_{К} (t_{max} - t_p). \quad (8)$$

Величины t_{max} и t_p определяются из равенств мгновенных величин

$$U_{ИПН} = U_{max} \sin(\omega t_p); \quad U_{max} = U_{max} \sin \omega t_{max}.$$

Откуда

$$t_p = \omega^{-1} \arcsin(U_{ИПН}/U_{max}); \quad (9)$$

$$t_{max} = \omega^{-1} \arcsin(U_{max}/U_{max}) = \omega^{-1} \arcsin 1 = (\omega^{-1} \pi)/2 = T/4. \quad (10)$$

Подставим (9), (10) в выражение (8) и получим

$$U_{ИПН} = k_{И} U_{К} T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{ИПН}/U_{max}).$$

Для рассматриваемой схемы

$$U_c = 2k_{\text{и}} U_{\text{к}} \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) AX \sin(2\pi/g). \quad (11)$$

С учетом (11) выражение (3) примет вид

$$t_{\text{НО}} = \omega^{-1} \arcsin \frac{2k_{\text{и}} U_{\text{к}} \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) AX_{\text{НО}} (\sin 2\pi/g)}{U_{\text{max}}}.$$

При стабильной амплитуде напряжения несущей частоты

$$U_{\text{max}} = 2k_{\text{и}} U_{\text{к}} A \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) = \omega^{-1} 2k_{\text{и}} U_{\text{к}} A (\pi/2 - \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}})),$$

а также

$$t_{\text{НО}} = \omega^{-1} \arcsin \frac{\omega^{-1} 2k_{\text{и}} U_{\text{к}} A (\pi/2 - \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}))}{U_{\text{max}}}.$$

По аналогии с (4)

$$\Delta t_{\text{НО}} = \omega^{-1} \arcsin \left(\frac{\omega^{-1} 2k_{\text{и}} U_{\text{к}} A (\pi/2 - \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}} + \Delta U_{\text{max}}))}{U_{\text{max}} + \Delta U_{\text{max}}} X_{\text{НО}} \sin(2\pi/g) \right) - t_{\text{НО}}$$

или в относительной форме

$$\delta t_{\text{НО}} = \omega^{-1} \arcsin \left(\frac{(\omega U_{\text{max}})^{-1} 2k_{\text{и}} U_{\text{к}} A (\pi/2 - \arcsin(\bar{U}_{\text{ИРН}}/1 + \delta U_{\text{max}}))}{1 + \delta U_{\text{max}}} X_{\text{НО}} \sin(2\pi/g) \right) - \bar{t}_{\text{НО}}, \quad (12)$$

где

$$\delta t_{\text{НО}} = \Delta t_{\text{НО}}/T, \quad \delta U_{\text{max}} = \Delta U_{\text{max}}/U_{\text{max}}, \quad \bar{U}_{\text{ИРН}} = U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}.$$

Рассмотрим механизм образования корректирующего сигнала, необходимого для компенсации погрешности преобразования вследствие нестабильности амплитуды сигнала несущей частоты. На рис. 3 изображена временная диаграмма с учетом прироста амплитуды $U_{\text{max}} + \Delta U_{\text{max}}$, где U_{max}^* – амплитуда изменяющегося сигнала несущей частоты; t_p'' момент мгновенного равенства изменившегося напряжения несущей частоты и реперного напряжения. Из рис. 3 следует, что для коррекции погрешности преобразования необходимо соблюдение равенства

$$2k_{\text{и}} U_{\text{к}} \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) A(t_p - t_p'') = \Delta U_{\text{max}}. \quad (13)$$

Из рис. 3 также следует, что $U_{\text{ИРН}} = U_{\text{max}} \sin(\omega t_p) = U_{\text{max}}^* \sin(\omega t_p'')$, откуда

$$t_p = \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}); \quad t_p'' = \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}^*). \quad (14)$$

С учетом (14) выражение (13) примет вид

$$\omega^{-1} 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) A \left(\arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) - \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U''_{\text{max}}) \right) = \\ = \omega^{-1} 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) A \left(\arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) - \arcsin(U_{\text{ИРН}}/[U_{\text{max}} + \Delta U_{\text{max}}]) \right) = \Delta U_{\text{max}} \quad (15)$$

или в относительной форме

$$(\omega U_{\text{max}})^{-1} 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin \bar{U}_{\text{ИРН}} \right) A \left(\arcsin \bar{U}_{\text{ИРН}} - \arcsin \left(\bar{U}_{\text{ИРН}} / (1 + \delta U_{\text{max}}) \right) \right) = \delta U_{\text{max}}.$$

Максимальное напряжение сумматора

$$U_{\text{Cmax}} = 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} A \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right) \quad (16)$$

при условиях $X = g/4$, $X \sin(2\pi/g) = 1$.

Решим (15) и (16) с учетом того, что погрешность будет скомпенсирована при соблюдении равенства $U_{\text{C}}/U_{\text{max}} = 1$: (17)

$$\frac{\arcsin \bar{U}_{\text{ИРН}} - \arcsin \left(\bar{U}_{\text{ИРН}} / (1 + \delta U_{\text{max}}) \right)}{\pi/2 - \arcsin \bar{U}_{\text{ИРН}}} - \delta U_{\text{max}} = 0,$$

откуда определяется $\bar{U}_{\text{ИРН}}$ для заданного значения δU_{max} .

Из (12) следует оптимальность δU_{max} во всем ее диапазоне. При совместном решении (12) и (16) найдем

$$\delta t_{\text{НО}} = \frac{1}{2\pi} \arcsin \left[\frac{(\omega U_{\text{max}})^{-1} 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} A \left(\pi/2 - \arcsin \left[\bar{U}_{\text{ИРН}} / (1 + \delta U_{\text{max}}) \right] \right) X_{\text{НО}} \sin(2\pi/g)}{1 + \delta U_{\text{max}}} \right] - t_{\text{НО}}; \quad (18)$$

$$U_{\text{Cmax}} = 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} A \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin(U_{\text{ИРН}}/U_{\text{max}}) \right). \quad (19)$$

Разделим (19) на U_{max}

$$\frac{U_{\text{Cmax}}}{U_{\text{max}}} = \frac{2k_{\text{И}} U_{\text{К}} A \left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin \bar{U}_{\text{ИРН}} \right)}{U_{\text{max}}}$$

и с учетом (17) запишем

$$\left(T/4 - \omega^{-1} \arcsin \bar{U}_{\text{ИРН}} \right)^{-1} = 2k_{\text{И}} U_{\text{К}} A / U_{\text{max}}.$$

Подставим это выражение в (18):

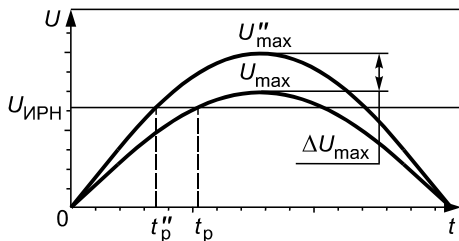


Рис. 3. Диаграмма работы компаратора с учетом прироста амплитуды

Погрешности отклонений амплитуды при различных реперных напряжениях

$\bar{U}_{\text{ирн}}$	δU_{max}									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
0,655424	$2,57282 \cdot 10^{-9}$	-0,000261	-0,000764	0,001491	-0,002425	-0,003551	-0,004854	-0,006320	-0,007937	-0,009693
0,658623	0,000134	$4,8223 \cdot 10^{-9}$	-0,000383	-0,000996	-0,001824	-0,002848	-0,004056	-0,005432	-0,006964	-0,008640
0,661782	0,000269	0,000262	$6,60396 \cdot 10^{-9}$	-0,000499	-0,001219	-0,002142	-0,003253	-0,004539	-0,005985	-0,007580
0,664901	0,000405	0,000526	0,000385	$7,83681 \cdot 10^{-9}$	-0,000611	-0,001432	-0,002447	-0,003642	-0,005001	-0,006515
0,667980	0,000541	0,000792	0,000772	0,000502	$8,50362 \cdot 10^{-9}$	-0,000718	-0,001635	-0,002738	-0,004012	-0,005444
0,671020	0,000679	0,001059	0,001162	0,001008	0,000614	$8,64282 \cdot 10^{-9}$	-0,000820	-0,001830	-0,003017	-0,004367
0,674023	0,000817	0,001327	0,001554	0,001516	0,001232	0,000722	$8,3346 \cdot 10^{-9}$	-0,000917	-0,002016	-0,003284
0,676988	0,000955	0,001597	0,001947	0,002027	0,001854	0,001447	0,000824	$7,68446 \cdot 10^{-9}$	-0,001011	-0,002195
0,679916	0,001095	0,001869	0,002343	0,002540	0,002479	0,002177	0,001653	0,000922	$6,80686 \cdot 10^{-9}$	-0,001100
0,682807	0,001235	0,002142	0,002742	0,003057	0,003107	0,002911	0,002487	0,001850	0,001016	$5,81128 \cdot 10^{-9}$

Эффективность компенсации погрешности для отклонений амплитуды при различных значениях реперных напряжений

$\bar{U}_{\text{ирп}}$	δU_{max}									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
0,655424	3,8295·10 ⁶	74,408	37,5887	25,3238	19,1969	14,3996	13,0719	11,3251	10,0157	8,99809
0,658623	73,5269	4,02723·10 ⁶	74,9812	37,9094	25,5222	17,954	15,6437	13,1765	11,4151	10,0947
0,661782	36,6268	74,124	4,34857·10 ⁶	75,6669	38,1891	23,8716	19,5053	15,7688	13,2823	11,5064
0,664901	24,3274	36,9211	74,5917	4,81801·10 ⁶	76,1907	35,7074	25,93	19,658	15,8957	13,3873
0,667980	18,2118	24,5208	37,1992	75,2147	5,47443·10 ⁶	71,2159	38,8078	26,1413	19,8142	16,021
0,671020	14,5105	18,3385	24,7141	37,4581	75,8184	5,91624·10 ⁶	77,379	39,1119	26,3489	19,9722
0,674023	12,0595	14,6349	18,4799	24,9062	37,7861	70,8213	7,61294·10 ⁶	78,0532	39,4318	26,5586
0,676988	10,3169	12,1606	14,7498	18,6274	25,1092	35,3372	77,0034	9,31423·10 ⁶	78,6296	39,7351
0,679916	8,99782	10,3909	12,2569	14,8653	18,7787	23,4878	38,3852	77,6299	1,16786·10 ⁷	79,2895
0,682807	7,97782	9,06653	10,4733	12,3513	14,9831	17,5654	25,513	38,6891	78,2426	1,50085·10 ⁷

$$\delta t_{\text{но}} = \frac{1}{2\pi} \arcsin \left[\frac{1}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\bar{U}_{\text{ирп}}}{1 + \delta U_{\text{max}}} \right) \sin \frac{2\pi}{g} X_{\text{но}} \right] / \left(\frac{T}{4} - \frac{1}{\omega} \arcsin \bar{U}_{\text{ирп}} \right) (1 + \delta U_{\text{max}}) \Big] - \bar{t}_{\text{но}},$$

учтем равенство $T = 2\pi/\omega$:

$$\delta t_{\text{но}} = \frac{1}{2\pi} \arcsin \left[\frac{1}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\bar{U}_{\text{ирп}}}{1 + \delta U_{\text{max}}} \right) \sin \frac{2\pi}{g} X_{\text{но}} \right] / \frac{T}{4} - \frac{1}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \bar{U}_{\text{ирп}} \right) (1 + \delta U_{\text{max}}) \Big] - \bar{t}_{\text{но}},$$

тогда окончательно получим

$$\delta t_{\text{но}} = \frac{1}{2\pi} \arcsin \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\bar{U}_{\text{ирп}}}{1 + \delta U_{\text{max}}} \sin \frac{2\pi}{g} X_{\text{но}} \right] / \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \bar{U}_{\text{ирп}} \right) (1 + \delta U_{\text{max}}) \Big] - \bar{t}_{\text{но}}. \quad (20)$$

Т а б л и ц а 3

Значения реперных напряжений для различных отклонений максимальной амплитуды несущей частоты

δU_{max}	$\bar{U}_{\text{ирп}}$
0,01	0,655424842163081
0,02	0,658623874622486
0,03	0,6617823974870134
0,04	0,664901014284532
0,05	0,6679803195113017
0,06	0,671020898680235
0,07	0,6740233283802639
0,08	0,6769881763482491
0,09	0,6799160015533979
0,10	0,6828073542927836

Сравнив выражения (20) и (5), можно оценить эффективность компенсации погрешности преобразования предлагаемого ППВИ. Данные для сравнения приведены в таблицах 1 – 3.

Считаем, что δU_{max} реально не отклоняется от номинала более чем на 10 %, в этом случае реперное напряжение составит 0,68 U_{max} : $\bar{U}_{\text{ирп}} = 0,682$. При этом погрешность преобразования будет уменьшена не менее чем в 8 раз.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Косинский А. В., Потомский С. Ю.** Аналого-цифровые преобразователи перемещений временного типа // Измерительная техника. 2011. № 5. С. 20 – 21; **Kosinskii A. V., Potomskii S. Yu.** Time-type analog-to-digital displacement transducer // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 5. P. 502 – 504.
2. **Косинский А. В., Потомский С. Ю.** Аналого-цифровой преобразователь перемещений временного типа на базе одноканального растрового модулятора // Метрология. 2012. № 5. С. 27 – 33.
3. **Косинский А. В. и др.** Аналого-цифровые преобразователи перемещений. М.: Машиностроение, 1991.
4. **Пат. 2259603 РФ.** Растровый интерполятор / А. В. Косинский, С. Ю. Потомский, А. А. Холомонов // Изобретения. Полезные модели. 2005. № 24.

Дата принятия: 27.06.2013 г.