УДК 621.316.925

ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Докт. техн. наук, проф. РОМАНЮК Ф. А.,
инженеры ГУРЬЯНЧИК О. А., КОВАЛЕВСКИЙ А. В.

Белорусский национальный технический университет

В качестве полезной информации в микропроцессорных защитах электроустановок преимущественно используются сигналы основной частоты. Их выделение из сложных входных токов и напряжений производится с помощью цифровых фильтров (ЦФ).

В основу рассматриваемых ЦФ положен метод, базирующийся на модели входного сигнала, содержащего помимо основной гармоники апериодическую составляющую, затухающую по экспоненте, и высшие гармоники. Предварительно данный сигнал подвергается обработке посредством аналогового фильтра нижних частот (ФНЧ). При этом ослабляются высшие гармоники, а сигнал низких частот и апериодическая составляющая пропускаются. С учетом факта конечного времени наблюдения защитой за сигналами, которое составляет около одного периода промышленной частоты, можно считать, что даже при наличии апериодической составляющей входной сигнал является периодическим.

Зафиксированные на интервале наблюдения n мгновенных значений сигнала $u(t)$ через шаг Δt связаны между собой системой уравнений [1], решением которой является выражение

$$u_n = \sum_{i=1}^{n} (a_i \cup b_i) u_i , \qquad (1)$$

где a_i, b_i – постоянные коэффициенты; u_i – i-й отсчет основной гармоники сигнала.

Выражение (1) описывает ЦФ, выделяющие основную гармонику из сигнала $u(t)$ с граничной частотой спектра $f_{гр}$. Частота $f_{гр}$ спектра сигнала, который может быть однозначно обработан этими фильтрами, определяется количеством мгновенных отсчетов значений n на интервале наблюдения.

Постоянные a_i, b_i, называемые коэффициентами ЦФ, зависят от ω_0. Их числовые значения для $\omega_0 = 100\pi$ при различных n и Δt представлены в табл. 1.

ЦФ (1) с этими коэффициентами на конец интервала наблюдения приводят к алгоритму Фурье и подавляют постоянную составляющую и все гармоники с частотами, не превышающими $f_{гр}$. Гармоники с более высокими частотами подавляются аналоговым ФНЧ.

Такие показатели ЦФ, как фильтрующие и динамические свойства для микропроцессорных защит электроустановок, определяются частотой среза $f_{ср}$ ФНЧ, а также n и Δt, с которыми выполняются ЦФ. Выбор данных

параметров осуществляется на основе компромисса между частотными свойствами и быстродействием при помощи метода последовательных уступок.

Таблица 1

Кол-во отсчетов n	Шаг дискретизации Δt, с	Коэффициент	Номер отсчета i											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0,00222	a_i	0,111	0,170	0,039	–0,111	–0,209	–0,209	–0,111	0,038	0,170	0,111		
		b_i	0,305	–0,143	–0,217	–0,193	–0,076	0,076	0,193	0,219	0,143	–0,305		
	0,0025	a_i	0,125	0,177	0,0	–0,177	–0,025	–0,177	0,0	0,177	0,125	0,0		
		b_i	0,125	0,0	–0,250	–0,177	0,0	0,177	0,250	0,177	–0,125	–0,177		
12	0,00181	a_i	0,091	0,153	0,076	–0,026	–0,119	–0,175	–0,175	–0,119	–0,026	0,076	0,153	0,091
		b_i	0,310	–0,098	–0,165	–0,180	–0,137	–0,051	0,051	0,137	0,180	0,165	0,098	–0,310
	0,002	a_i	0,100	0,162	0,062	–0,062	–0,162	–0,200	–0,162	–0,062	0,062	0,162	0,100	0,0
		b_i	0,238	–0,048	–0,190	–0,190	–0,118	0,0	0,118	0,190	0,190	0,118	–0,238	–0,069

Для этого методом вычислительного эксперимента были получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) ЦФ с указанными в табл. 1 параметрами (рис. 1).

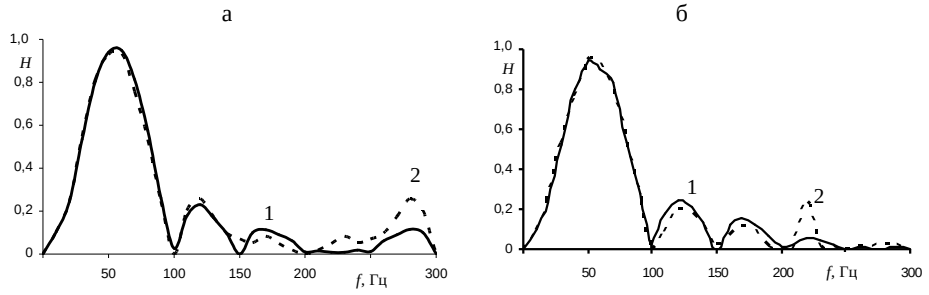

Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики цифровых фильтров: а – n = 10; 1, 2 – Δt = 0,00222; 0,0025; б – n = 12; 1, 2 – Δt = 0,00181; 0,002

Необходимо также отметить, что ЦФ с отличными от представленных в табл. 1 параметрами имеют худшие АЧХ и дальше рассматриваться не будут.

Для выбора оптимальных параметров фильтров были рассчитаны зависимости коэффициента передачи H и времени установления выходного сигнала $t_у$ от частоты среза $f_{ср}$ ФНЧ. Первая зависимость, позволяющая оценить степень подавления определенной помехи, получена при неизменной частоте входного сигнала, равной расчетной $f_р$. Вторая зависимость представляет реакцию на воздействие единичной функции и характеризует быстродействие фильтра. Расчетная частота определяется по АЧХ ЦФ как значение вблизи первого максимума H при $f > f_{гр}$. Для ЦФ с n = 10 значения $f_р$ выбраны: 275 Гц – для фильтра 1 и 225 Гц – для фильтра 2; для ЦФ с n = 12 выбрано значение $f_р$, равное 225 Гц.

На рис. 2 представлены указанные выше зависимости $H(f_{ср})$ и $t_у(f_{ср})$, позволяющие определить оптимальную частоту среза $f_{ср}$ ФНЧ при заданных n и Δt.

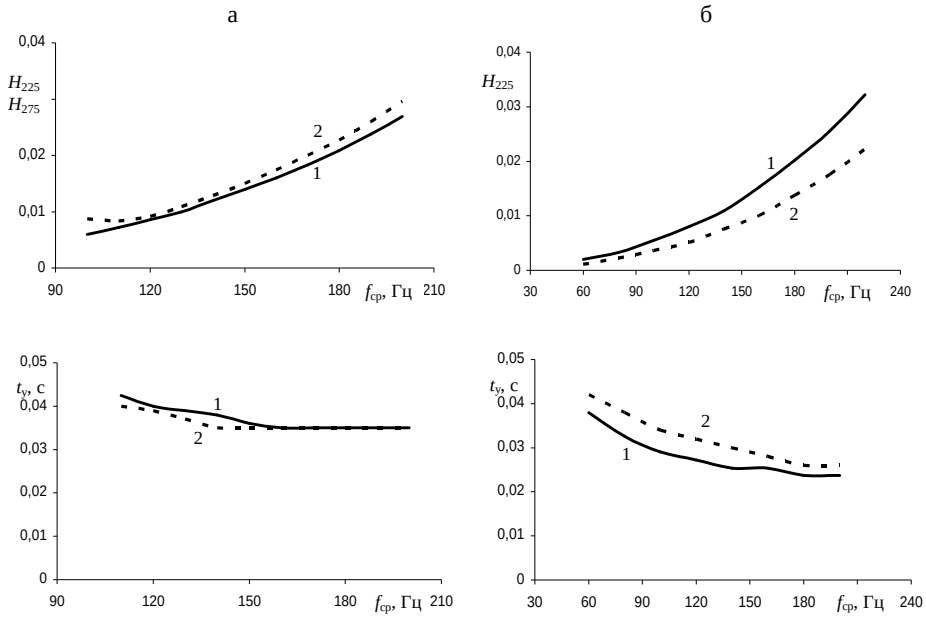

Рис. 2. Зависимости коэффициента передачи и времени установления входного сигнала от частоты среза ФНЧ: а – n = 10; 1, 2 – Δt = 0,00222; 0,0025; б – n = 12; 1, 2 – Δt = = 0,00181; 0,002

На основе анализа данных зависимостей ($H(f_{ср})$ и $t_y(f_{ср})$) и с учетом АЧХ ЦФ для рассматриваемых фильтров приняты следующие параметры: n = 10; 1, 2 – Δt = 0,00222; 0,0025; $f_{ср}$ = 120 Гц; n = 12; 1, 2 – Δt = = 0,00181; 0,002; $f_{ср}$ = 125 Гц. Полученные методом вычислительного эксперимента результирующие АЧХ с учетом аналоговой и цифровой фильтраций представлены на рис. 3.

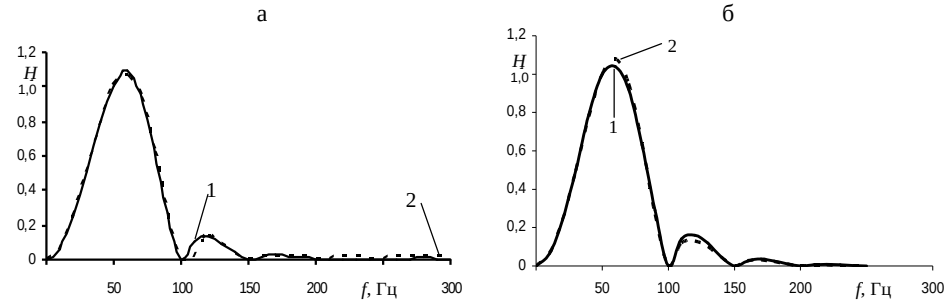

Рис. 3. Результирующие амплитудно-частотные характеристики: а – n = 10; 1, 2 – Δt = 0,00222; 0,0025; $f_{ср}$ = 120 Гц; б – n = 12; 1, 2 – Δt = 0,00181; 0,002; $f_{ср}$ = 125 Гц

Приведенные на рис. 4 переходные характеристики представляют собой реакцию на воздействие единичной функции и характеризуют динамические свойства фильтров. Их анализ показывает, что быстродействие фильтров составляет: 0,033 с для n = 10; Δt = 0,00222; $f_{ср}$ = 120 Гц; 0,035 с для n = 10; Δt = 0,0025; $f_{ср}$ = 120 Гц; 0,027 с для n = 12; Δt = 0,00181; $f_{ср}$ = = 125 Гц; 0,03 с для n = 12; Δt = 0,002; $f_{ср}$ = 125 Гц.

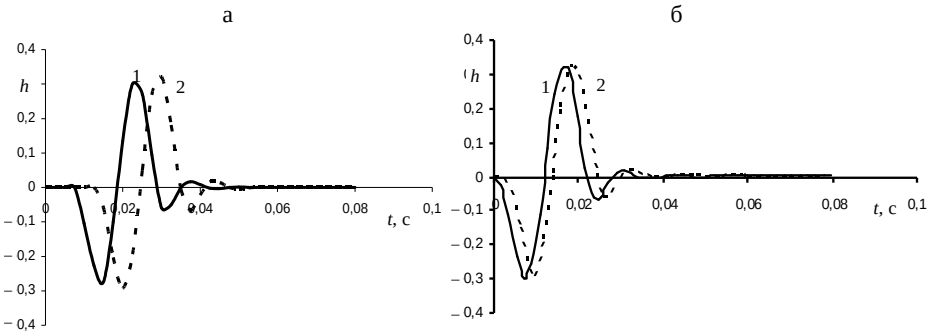

Рис. 4. Переходные характеристики фильтров: а – n = 10; 1, 2 – Δt = 0,00222; 0,0025; $f_{ср}$ = 120 Гц; б – n = 12; 1, 2 – Δt = 0,00181; 0,002; $f_{ср}$ = 125 Гц

Необходимо отметить, что в рассматриваемых фильтрах обеспечивается приемлемый характер переходного процесса, что создает благоприятные условия для устойчивого функционирования защиты.

ВЫВОД

В ходе проведения вычислительного эксперимента было установлено, что выбор параметров $f_{ср}$ фильтра нижних частот, а также n и Δt, с которыми выполняется цифровой фильтр, оказывает существенное влияние на частотные и динамические свойства цифровых фильтров микропроцессорных защит электроустановок. При этом выбраны оптимальные параметры ФНЧ и ЦФ с числом отсчетов мгновенных значений n = 10 и 12.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романюк Ф. А., Рождественский А. В. Адаптивные формирователи ортогональных составляющих сигналов для микропроцессорных защит // Энергетика… (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 5. – С. 5–15.

2. Романюк Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок: Учеб. пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 133 с.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 21.06.2005