

## Цифровая фильтрация входных сигналов в микропроцессорных защитах электроустановок

Гурьянчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

В микропроцессорных защитах источником полезной информации, как правило, являются сигналы основной частоты. Эти сигналы с целью выделения основных гармоник проходят цифровую фильтрацию [1]. В основу цифровых фильтров положен метод, базирующийся на модели входного сигнала, содержащего помимо основной гармоники апериодическую составляющую, затухающую по экспоненте, и высшие гармоники:

$$u_{\text{вх}}(t) = U_a e^{-\frac{t}{\tau}} + \sum_{m=1}^M U_m \sin(m\omega_0 t + \varphi_m), \quad (1)$$

где  $U_a$  – амплитуда апериодической составляющей;  $\tau$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей;  $M$  – порядок наивысшей гармоники, содержащейся во входном сигнале;  $U_m$  – амплитуда  $m$ -й гармоники;  $\omega_0$  – основная угловая частота;  $\varphi_m$  – начальная фаза  $m$ -й гармоники.

Предварительно данный сигнал подвергается обработке посредством аналогового фильтра нижних частот (ФНЧ). При этом ослабляются высшие гармоники, а сигнал основной частоты 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.

Фиксированные на интервале наблюдения  $n$  мгновенных значений сигнала  $u(t)$  через шаг  $\Delta t$  связаны между собой системой уравнений [2], решением которой является выражение:

$$u_n = \sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i) u_i, \quad (2)$$

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

Выражение (2) представляет собой цифровые фильтры, 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 цифровых фильтров, зависят от  $\omega_0$ . Их числовые значения для  $\omega_0 = 100\pi$  при различных  $n$  и  $\Delta t$  представлены в табл. 1.

Таблица 1

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

Цифровые фильтры (2) 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.

Говоря о цифровой фильтрации и цифровых фильтрах нельзя не сказать об основных показателях цифровых фильтров для микропроцессорных защит электроустановок. Таковыми являются частотные и динамические свойства фильтров. Они определяются частотой среза  $f_{ср}$  ФНЧ, а также  $n$  и  $\Delta t, c$  которыми выполняются цифровые фильтры. Выбор данных параметров осуществляется на основе компромисса между

частотными свойствами и быстродействием при помощи метода последовательных уступок.

Для этого методом вычислительного эксперимента получают амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) цифровых фильтров. Для выбора оптимальных параметров фильтров рассчитываются зависимости коэффициента передачи  $H$  и времени установления выходного сигнала  $t_y$  от частоты среза  $f_{cp}$  ФНЧ. Первая зависимость позволяет оценить степень подавления определенной помехи. Вторая зависимость характеризует быстродействие.

Динамические свойства фильтров оцениваются по переходным характеристикам. Следует отметить, что переходный процесс состоит из двух стадий. Вначале устанавливаются процессы в ФНЧ. Длительность этого процесса зависит от  $f_{cp}$  ФНЧ. При уменьшении  $f_{cp}$  инерционность ФНЧ возрастает. На второй стадии устанавливаются процессы в цифровом фильтре. При увеличении  $n$  время установления этого процесса увеличивается, также увеличивается избирательность фильтра, но снижается длительность первой стадии за счет увеличения  $f_{cp}$  ФНЧ. В конечном итоге с увеличением  $n$  быстродействие возрастает. Также необходимо добавить, что приемлемый характер переходного процесса обеспечивается в том случае, если все коэффициенты цифрового фильтра по модулю меньше единицы.

Из всего выше сказанного следует, что выбор параметров  $f_{cp}$  ФНЧ, а также  $n$  и  $\Delta t$ , с которыми выполняется цифровой фильтр, оказывают существенное влияние на такие основные показатели цифровых фильтров микропроцессорных защит электроустановок, как частотные и динамические свойства.

### Литература

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