

ДАТЧИК ПОТЕРИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

А.Г. Баранов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель В.В. Курганов

В настоящее время большое внимание уделяется разработке быстродействующего автоматического включения резервного питания (БАВР) высоковольтных электродвигателей как наиболее эффективного способа обеспечения устойчивости узла нагрузки. Одно из направлений в этих исследованиях – задача оперативного обнаружения потери питания (ПП).

Для эффективной работы датчика потери питания (ДПП) требуется выполнение ряда требований по быстродействию, селективности и точности устройства. Так, инерционность устройства в целом не должна превышать 40...60 мс. За это время необходимо отфильтровать исходный сигнал тока или напряжения, выделить его информационные параметры, произвести математическую обработку результата. Устройство должно эффективно работать в переходных режимах энергосистемы, при высоком уровне помех.

Для построения схемы датчика потери питания электродвигательной нагрузки можно использовать различные признаки аварийного режима: реле минимального напряжения, реле направления мощности, реле скорости снижения частоты и другие. Однако ни одно из этих устройств в отдельности не может оперативно и достоверно определить факт потери питания. Наиболее перспективной представляется схема ДПП, содержащая блок реле направления мощности (РНМ) и реле скорости снижения частоты (ССЧ), построенные на основе цифровых методов обработки сигналов. Необходимость применения цифровых методов обработки сигналов в ДПП вызвана невозможностью обеспечения селективности и быстродействия средствами аналоговой электроники. Прежде всего это связано с инерционностью аналоговых фильтров. Цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой имеют меньшую инерционность по сравнению с аналоговыми при схожих частотных свойствах. Особый интерес для ДПП представляет дискретное преобразование Фурье (ДПФ), вычисляемое по формуле (1).

$$X(s) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{\frac{i \cdot 2\pi \cdot n \cdot s}{N}}, \quad (1)$$

где $x(n)$ – значения текущего отсчета сигнала;

$X(s)$ – текущее значение s – той гармоники сигнала;

N – общее число отсчетов сигнала.

Главным преимуществом ДПФ для использования в датчике потери питания является возможность не только фильтрации исходного сигнала, но и выделение усредненных амплитуды и фазы всего за один период наблюдения. Был проведен анализ возможности применения дискретного преобразования Фурье для РНМ и реле ССЧ. Для РНМ на основе ДПФ с периодом 20 мс погрешность измерения не превысила 17° по фазе и 12 % по амплитуде при максимальном уровне помех в измерительных сигналах, что для реле направления мощности допустимо. Для реле ССЧ применение классического ДПФ, вычисляемого с периодом 20 мс, не представляется возможным из-за чрезмерно высокого уровня помех обусловленных гармоническими составляющими исходного сигнала. Улучшить избирательные свойства ДПФ можно, применив оконную функцию [1], [2]. Было проведено моделирование работы реле ССЧ на основе ДПФ со стандартными оконными функциями, вычисляемого по формуле (2).

$$X(s) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \omega(n) \cdot x(n) \cdot e^{\frac{i \cdot 2\pi \cdot n \cdot s}{N}}, \quad (2)$$

где $\omega(n)$ – отсчеты весовой (оконной) функции.

Оконная функция позволяет подавить паразитные пульсации частотной характеристики ДПФ вне полосы пропускания, но вместе с тем увеличивает ширину ее основного лепестка. В режиме моделирования работы реле ССЧ на основе ДПФ со стандартными оконными функциями были получены наилучшие результаты при использовании оконной функции Ханна и при периоде ДПФ 40 мс. Оконная функция Ханна изображена на рис. 1.

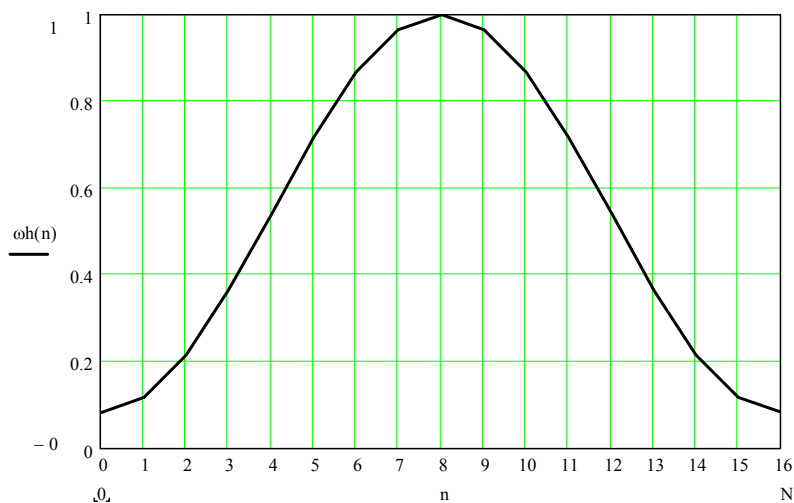


Рис. 1. Оконная функция Ханна для $N = 16$

В процессе моделирования вычислялось скользящее ДПФ с оконной функцией Ханна для случая потери питания. По рассчитанным текущим отсчетам фазового угла напряжения основной секции шин и вектора ЭДС синхронного двигателя вычислялись разность фаз, по формулам (3) и (4) вычислялись соответственно скорость изменения угла выбега δ и угловое ускорение вектора ЭДС синхронного двигателя соответственно.

$$\Delta\omega(k) = \delta(k + N/2) - \delta(k), \quad (3)$$

$$\varepsilon(k) = \Delta\omega(k + N/2) - \Delta\omega(k), \quad (4)$$

где $\delta(k)$ – k -й отсчет разности фаз основной и резервной секций шин;

$\Delta\omega(k)$ – k -й отсчет скорости изменения разности фаз;

$\varepsilon(k)$ – k -й отсчет углового ускорения изменения разности фаз.

Вычисление $\Delta\omega(k)$ и $\varepsilon(k)$ по смежным отсчетам исходных сигналов приводит к увеличению составляющей 100 Гц в выходном сигнале реле. Это связано с тем, что дифференцирование в форме разности по уравнениям (3), (4) усиливает высокочастотные составляющие фазоразностного сигнала. Уменьшить влияние эффекта увеличения уровня помех можно, увеличив временной интервал между вычитаемыми отсчетами и сделав его кратным периоду помехи. Сигнал углового ускорения $\varepsilon(k)$, полученный согласно алгоритму работы реле ССЧ, представлен на рис. 2. При моделировании были заданы уровни высокочастотных помех в сигналах напряжения основной и резервной секции шин, в 2 раза превышающие значения, определяемые по ГОСТ13109-97. Это соответствует реальным уровням высших гармоник при выбеге узла промышленной нагрузки с электродвигателями.

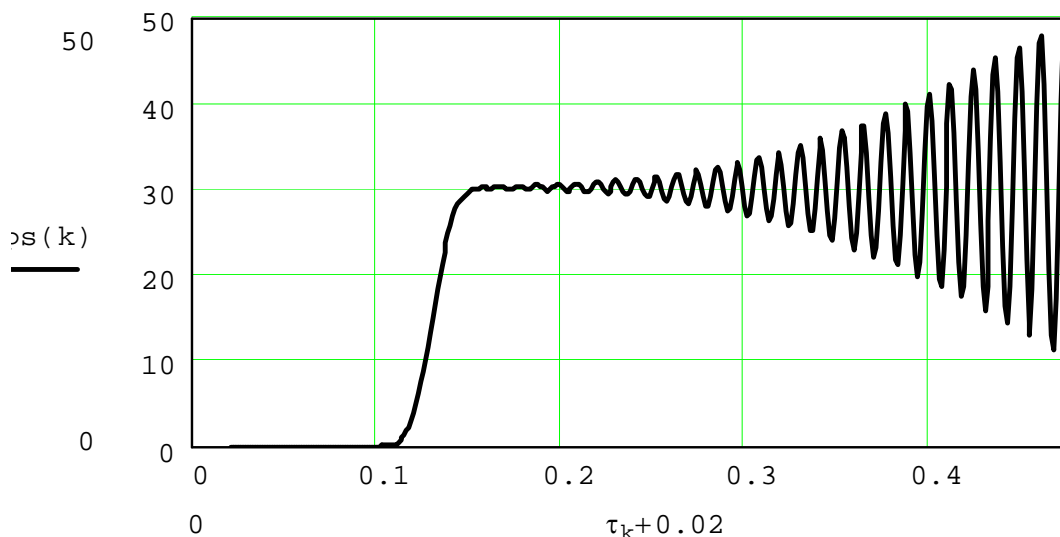


Рис. 2. Выходной сигнал реле ССЧ для $\varepsilon = 30$ Гц/с²

Моделирование показало, что при разнице частот на секциях шин 1–2 Гц наблюдается четкое выделение величины углового ускорения, при дальнейшем увели-

чении разности частот наблюдается появление и резкое увеличение амплитуды помехи частотой 100 Гц, что связано с несовпадением кратности периода ДПФ и частоты основной гармоники сигнала. Повысить точность измерения ССЧ при больших несовпадениях периодов ДПФ и измеряемого сигнала можно либо смещением частотной характеристики ДПФ в область нижних частот, либо с помощью дополнительного цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой. Последнее может оказаться более эффективным за счет сокращения периода осреднения по формулам (3) и (4). Общая инерционность реле ССЧ на основе ДПФ с оконными функциями составит порядка 60 мс. Благодаря наличию быстродействующего канала РНМ, имеющего точность порядка 17° и инерционного реле ССЧ, имеющего высокую точность, обеспечивается выполнение требований как по быстродействию, так и по селективности устройства.

Аппаратно ДПП может быть реализован на цифровом сигнальном процессоре. Это позволит в одном устройстве реализовать программными методами все описанные выше функции без пропорционального наращивания аппаратных средств.

Литература

1. Рабинер, Л.Р. Теория и применение цифровой обработки сигналов /Л.Р. Рабинер, Б. Голд; пер. с англ.; под ред. Ю.Н. Александрова. – М.: Мир, 1978.– 637 с.
2. Цифровая обработка сигналов: справ. /Л.М. Гольденберг [и др.]. – М.: Радио и связь, 1985.
3. Слодарж, М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей /М.И. Слодарж. – М. Энергия, 1977.
4. Информационные материалы по цифровым сигнальным процессорам Texas Instruments и Analog Devices.