

Методика проведения измерений сетевого напряжения на фазах FA, FB, FC и напряжения на накопительных конденсаторах сетевого фильтра UF.

1. Измерение напряжения на фазах FA, FB, FC.

Диапазон изменения напряжения на фазах питающей сети составляет 0...250 В. С помощью восьмизрядного АЦП, установленного на плате контроллера CR1 можно измерять это напряжение с дискретностью $\frac{250B}{255} = 0.98B$, а информация о величине фазного напряжения может быть представлена одним байтом. Для удобства использования этого значения в дальнейших расчетах определим шаг дискретизации напряжения на фазах питающей сети равным 1В.

Контрольное напряжение U_{mA} на выходе платы выпрямителей определяется напряжением на фазе FA в соответствии с формулой

$$U_{mA} = 0.0079 \cdot U_{FA} + 0.46, \quad (1)$$

где U_{FA} — значение действующего напряжения сети на фазе А;
 U_{mA} — значение контрольного напряжения фазы А на выходе платы выпрямителей.

Из выражения (1) находим

$$U_{FA} = \frac{U_{mA} - 0.46}{0.0079} = 126.6 \cdot U_{mA} - 58.2. \quad (2)$$

Учитывая, что напряжение на фазе FA питающей сети будет представлено системной переменной с коэффициентом пропорциональности 1:1, запишем выражение для значения этой переменной в виде

$$UA = U_{FA} = 126.6 \cdot U_{mA} - 58.2. \quad (3)$$

При имеющемся коэффициенте передачи платы управления выпрямителем напряжению $U_{FA} = 258B$ будет соответствовать контрольное напряжение $U_{mA} = 0.0079 \cdot 258 + 0.46 = 2.5B$, что должно соответствовать коду АЦП 255 (0FFh), т.е. аппаратный коэффициент соответствия будет следующим: 1 единица АЦП = $\frac{2.5B}{255}$, а значение контрольного напряжения при известном коде АЦП будет равно

$$U_{mA} = \frac{2.5}{255} \cdot C. \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (3) получим

$$UA = 126.6 \cdot \frac{2.5}{255} \cdot C - 58.2. \quad (5)$$

Чтобы избежать при расчетах применения действий с плавающей запятой выполним следующие эквивалентные преобразования

$$UA = 126.6 \cdot \frac{2.5}{255} \cdot C - 58.2 = 1.24 \cdot C - 58.2 = \frac{159 \cdot C - 7450}{128};$$

$$UA = \frac{159 \cdot C - 7450}{128}. \quad (6)$$

Таким образом для вычисления значения системной переменной UA на основе кода преобразования АЦП необходимо выполнить следующую последовательность бинарных действий:

1. $A=159 \cdot C$;
2. $B=A-7450$;
3. $UF=B/128$.

Для калибровки измерительного канала фазы FA питающей сети будем использовать подстраиваемые коэффициенты KPA=159D и KSA=7450D, расположенные во внешнем ОЗУ микроконтроллера.

Алгоритм проведения измерений значения напряжения на фазах FB и FC полностью соответствует описанному выше для фазы FA с использованием подстраиваемых коэффициентов соответственно KPB=159D, KSB=7450D, KPC=159 и KSC=7450D, расположенных во внешнем ОЗУ микроконтроллера.

2. Измерение напряжения на накопительных конденсаторах сетевого фильтра UF.

Диапазон изменения напряжения на накопительных конденсаторах сетевого фильтра (НКСФ) составляет 0...600В. С помощью восьмиразрядного АЦП, установленного на плате контроллера CR1 можно измерять это напряжение с дискретностью $\frac{600}{255} = 2.35$ В, а информация о величине напряжения может быть представлена одним байтом. Для удобства использования этого значения в дальнейших расчетах определим шаг дискретизации напряжения на НКСФ равным 3В, незначительно ухудшив при этом точность измерений.

Для реализации максимально возможной аппаратной точности измерений напряжения измерительный канал должен быть настроен таким образом, чтобы при напряжении на НКСФ равным 600В получить код преобразования АЦП близкий к 255 единицам (0FFh).

Контрольное напряжение на выходе платы выпрямителей определяется напряжением на накопительных конденсаторах сетевого фильтра в соответствии с формулой

$$U_{mF} = 0.00772 \cdot U_F + 1.23, \quad (7)$$

где U_{mF} — контрольное напряжение на входе платы измерения;
 U_F — напряжение на конденсаторах сетевого фильтра.

Из этого выражения находим

$$U_F = \frac{U_{mF} - 1.23}{0.0072} = 129.5 \cdot U_{mF} - 159.3. \quad (8)$$

Учитывая, что напряжение на НКСФ будет представлено системной переменной с коэффициентом пропорциональности 1:3, запишем выражение для значения этой переменной в следующем виде

$$UF = \frac{U_F}{3} = 43.2 \cdot U_{mF} - 53.1. \quad (9)$$

При имеющемся коэффициенте передачи платы управления выпрямителем напряжению на НКСФ $U_F = 600\text{В}$ будет соответствовать контрольное напряжение $U_{mF} = 0.00772 \cdot 600 + 1.23 = 5.86\text{ В}$, что должно соответствовать коду АЦП 255 (0FFh), т.е. аппаратный коэффициент соответствия будет следующим: 1 единица АЦП $= \frac{5.86\text{В}}{255}$, а значение контрольного напряжения при известном коде АЦП будет равно

$$U_{mF} = \frac{5.86}{255} \cdot C, \quad (10)$$

Подставив выражение (10) в (9) получим

$$UF = 43.2 \cdot \frac{5.86}{255} \cdot C - 53.1. \quad (11)$$

Чтобы избежать при расчетах применения действий с плавающей запятой выполним следующие эквивалентные преобразования выражения (11)

$$UF = 43.2 \cdot \frac{5.86}{255} \cdot C - 53.1 = 0.993 \cdot C - 53.1 = \frac{0.993 \cdot 128 \cdot C - 53.1 \cdot 128}{128} = \frac{127 \cdot C - 6797}{128};$$

$$UF = \frac{127 \cdot C - 6797}{128}. \quad (12)$$

Таким образом, для вычисления значения системной переменной UF на основе кода преобразования АЦП в соответствии с формулой (12) необходимо выполнить следующую последовательность бинарных действий:

1. $A = 127 \cdot C$;
2. $B = A - 6797$;
3. $UF = B / 128$.

Следует помнить, что значению переменной UF соответствует реальное значение напряжения на накопительных конденсаторах сетевого фильтра $U_F = 3 \cdot UF$.

Для калибровки измерительного канала будем использовать подстраиваемые коэффициенты KPF=127D и KSF=6797D расположенные во внешнем ОЗУ микроконтроллера.

3. Калибровка измерительных каналов.

При аппаратной реализации измерительных каналов напряжений фаз питающей сети и напряжения на накопительных конденсаторах сетевого фильтра возможен некоторый разброс коэффициентов выражений (1) и (7) в связи с разбросом параметров элементов. Ниже приводится методика калибровки измерительных каналов, позволяющая скомпенсировать влияние разброса параметров и получить значения измеряемых величин с необходимой точностью.

Рассмотрим методику калибровки для одного измерительного канала, запишем выражение (6) в виде.

$$U = \frac{A \cdot C - B}{128}, \quad (13)$$

где U — напряжение на входе канала измерения, В;
 C — значение кода АЦП, ед;
 A — значение коэффициента пропорциональности;
 B — значение коэффициента смещения.

Для проведения калибровки всех измерительных каналов необходимо объединить проводники питания фазных напряжений и подключить их к сети через ЛАТР. Выполнить измерения в двух крайних точках диапазона допустимых значений напряжения питающей сети по фазе А: при $U_1 = U_{\min}$ и $U_2 = U_{\max}$ и зафиксировать значение показаний АЦП соответственно C_1 и C_2 .

На основании выражения (13) составим систему уравнений для двух крайних точек диапазона измерений.

$$\begin{cases} U_1 = \frac{A \cdot C_1 - B}{128}, \\ U_2 = \frac{A \cdot C_2 - B}{128}, \end{cases} \quad (14)$$

Выполнив простые математические преобразования и подстановки получаем выражения для определения коэффициентов A и B для данного измерительного канала.

$$A = 128 \cdot \frac{U_2 - U_1}{C_2 - C_1}; \quad B = A \cdot C_1 - 128 \cdot U_1. \quad (15)$$

Например:

$U_1=180\text{В};$
 $U_2=235\text{В};$
 $C_1=190\text{ед};$
 $C_2=231\text{ед};$

Подставив полученные значения в выражения для расчета коэффициентов (15) получим:

$$A = 128 \cdot \frac{U_2 - U_1}{C_2 - C_1} = 128 \cdot \frac{235 - 180}{231 - 190} = 172$$

$$B = A \cdot C_1 - 128 \cdot U_1 = 172 \cdot 190 - 128 \cdot 180 = 9640.$$

Процедура калибровки выполняется аналогично для всех измерительных каналов фазных напряжений и напряжения на накопительных конденсаторах сетевого фильтра.