

МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРОНЕН ЕНЕРГИЕН ПОЛИМЕТЪР

доц. ктн **СТОЙЧО ТОМОВ ПСЕДЕРСКИ**
ктн **МИХАИЛ ПЕТКОВ ИЛИЕВ**
нс **ГЕОРГИ ИВАНОВ КАРАБЕНЧЕВ**

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“

Основен недостатък на индукционните електромери за активна енергия е сравнително ниския им клас на точност. При това положение в процеса на измерване на големи потоци електрическа енергия абсолютната грешка при измерването може да нарастне значително. Непрекъснато намаляващите енергийни ресурси в световен мащаб изискват въвеждането на оптимални режими за енергосистемите, което е тясно свързано с повишаване на точността на измерване на мощността и енергията. Това от своя страна е крайно наложително като се има предвид необходимостта да се отчитат особеностите на енергетичните процеси в системите за електроснабдяване при наличието на товари, които влошават формата на кривата на напрежението и създават колебания на напрежението и асиметрия.

Въвеждането на тритарифна система за заплащане на консумираната енергия поставя нови изисквания към средствата за измерване и отчитане на консумираната електроенергия. Новоразработените средства трябва да дават възможност за : автоматично отчитане и обработка на резултатите при намаляване възможността от субективна грешка при отчитането; проверка на място, а не в специализирани лаборатории [1].

Всички тези възможности притежава разработвания еднофазен електронен енергиен полиметър (ЕЕП), чиято блокова схема, алгоритъм на работа и технически характеристики са дадени в [2].

Информацията за консумирания ток се получава от стандартен шунт, включен последователно във фазата, а информация за фазното напрежение се взема от високоомен прецизен резисторен делител на напрежение, включен между фазата и нулата.

Блоквата схема на еднофазния ЕЕП се състои от два електронни преобразувателя - преобразувател на активна мощност в постоянно напрежение и преобразувател на постоянно напрежение в честота, образцова станция за автоматична проверка на електронния полиметър на място съгласно стандарта при активен и индуктивен товар и микропроцесорна система за управление и автоматична обработка на резултатите .

Постоянната съставяща U_{AV} на напрежението на изхода на нискочестотния филтър съгласно блоковата схема [2] се определя от израз

$$U_{AV} = \frac{K_1 \cdot R_{ш} \cdot I \cdot K_2 \cdot U \cdot R_1}{(R_1 + R_2) U_Z} \cos \varphi, \quad (1)$$

където

K_1 е коефициент на усилване на усилвателя, от който се получава напрежение, пропорционално на консумирания ток от товара I ;

K_2 е коефициент на усилване на усилвателя, от който се получава напрежение, пропорционално на фазното напрежение U , приложено към товара;

$R_{ш}$ е стандартен шунт, включен последователно във фазата;

R_1 и R_2 са прецизни резистори на делителя на напрежение, включен между фазата и нулата;

U_Z е високостабилно постоянно опорно напрежение, подадено на вход Z на аналоговия умножител - делител и определящо неговия мащабен коефициент;

U и I са съответно ефективните стойности на напрежението и тока през товара;

$\cos \varphi$ е фактор на мощността.

Нискочестотният филтър е с честота на сръза $f_c = 10\text{Hz}$ и потиска променливата съставка с удвоена честота на изхода на аналоговия умножител - делител като в конкретната реализация затихването му е 60 dB/dec.

Предавателната характеристика на преобразователя на постоянно напрежение в честота се дава с израз

$$f = K_3 \cdot U_{AV} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot R_{ш} \cdot R_1}{(R_1 + R_2) \cdot U_Z} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (2)$$

където

K_3 е коефициент на пропорционалност на преобразователя напрежение в честота.

След диференциране на (2) и преминаване от диференциали към крайни нараствания и като се вземе предвид дискретния метод за измерване на консумираната електроенергия максималната относителна методическа грешка на електронния енергиен полиметър се определя от изрза

$$\gamma = \pm \gamma_{K_1} \pm \gamma_{K_2} \pm \gamma_{K_3} \pm \gamma_{ш} \pm \gamma_{дел} \pm \gamma_z \pm \gamma_{нел} \pm \gamma_d, \quad (3)$$

където

γ_{K_1} , γ_{K_2} и γ_{K_3} са относителните нестабилности на коефициентите на предаване съответно на усилвателя в токовия канал K_1 , на усилвателя в напрежителния канал K_2 и на преобразователя на напрежение - честота K_3 ;

$\gamma_{ш}$ е относителното отклонение на шунта от нормалната му стойност;

$\gamma_{дел}$ е относителната грешка на резисторния делител, включен между фазата и нулата, дължаща се на отклонението в номиналните стойности на резисторите;

γ_Z е относителната нестабилност на постоянното опорно напрежение, подадено на входа Z на аналоговия умножител - делител;

$\gamma_{нел}$ е грешката от нелинейност на аналоговия умножител - делител;

γ_d е грешката от дискретност.

Поради производствените толеранси δ_R на резисторите в обратната връзка и входа на операционните усилватели в токовия и напрежителния канали и поради наличието на съпротивление r_{ds} на включен ключ от аналоговия мултиплексор зададените коефициенти на усилване на усилвателите $K_{зад1}$ и $K_{зад2}$ се отличават от реалните им стойности K_{r1} и K_{r2} . Най-големи стойности на относителните грешки γ_{K1} и γ_{K2} се получават при разнопосочни и максимални отклонения на съпротивленията в обратната връзка на операционните усилватели R_{f1} и R_{f2} съответно за токовия и напрежителния канали и съпротивленията във входа на операционните усилватели R_{a1} и R_{a2} на същите канали. За относителните грешки γ_{K1} и γ_{K2} се получават изразите

$$\gamma_{K1} = \pm \frac{K_{r1}}{K_{зад1}} = \pm \frac{1}{K_{зад1}} \left[1 + \frac{(1-\delta_R)\alpha_1}{1+\delta_R} + \frac{\beta_1}{1+\delta_R} \right] \quad (4)$$

$$\gamma_{K2} = \pm \frac{K_{r2}}{K_{зад2}} = \pm \frac{1}{K_{зад2}} \left[1 + \frac{(1-\delta_R)\alpha_2}{1+\delta_R} + \frac{\beta_2}{1+\delta_R} \right] \quad (5)$$

δ_R е производствения толеранс на резисторите R_{f1} , R_{f2} , R_{a1} и R_{a2} ;

$\alpha_1 = \frac{R_{f1}}{R_{a1}}$ и $\alpha_2 = \frac{R_{f2}}{R_{a2}}$ за усилвателите съответно в токовия и

напрежителния канали;

$\beta_1 = \frac{r_{ds}}{R_{a1}}$ и $\beta_2 = \frac{r_{ds}}{R_{a2}}$ за усилвателите съответно в токовия и

напрежителния канали.

При получаване на изрази (4) и (5) се има предвид, че усилвателите от токовия и напреженовия канали работят като неинвертиращи прецизни измервателни усилватели.

Известно е, че коефициентът на усилване на операционните усилватели зависи от честотата. Тъй като разработеният електронен енергиен полуметър е предназначен за измервания в еднофазни мрежи 50Hz, а ширината на честотната лента на операционните усилватели е значително по-голяма, то тази грешка може да бъде пренебрегната.

Коефициентът на усилване A на операционните усилватели зависи от честотата според известния приблизителен израз $A=GB/S$, където GB е коефициентът му на широколентност и $S=jf$ е комплексната честота. Коефициентът на усилване на усилвателя K_1 съгласно специализираната литература се дава с израза

$$K_{1f} = K_1 \frac{a_1 \cdot S_N + 1}{b_2 \cdot S_N^2 + b_1 \cdot S_N + 1}, \quad (6)$$

където

$$S_N = \frac{S}{GB} \text{ е нормализираната комплексна честота;}$$

$$a_1 = \frac{GB}{f_a \cdot K_1}; \quad b_1 = 2 + \frac{R_{f1}}{R_{a1}} + \frac{GB}{f_a}; \quad b_2 = \frac{\left(2 + \frac{R_{f1}}{R_{a1}}\right) \cdot GB}{f_a};$$

f_a е горната гранична честота на операционния усилвател на ниво -3dB.

Честотната зависимост на коефициента K_{If} обуславя относителната грешка γ_{Kif} , която се определя от израза

$$\gamma_{Kif} = 10 \lg \frac{a_1 \cdot F^2 + 1}{(1 - b_2 \cdot F^2)^2 + b_1^2 \cdot F^2}, \quad (7)$$

където

$$F = \frac{f}{GB} \text{ е нормализираната честота.}$$

Тъй като честотата f , при която ще работи електронния енергиен полиметър е ниска (50Hz), следва че честотните грешки на коефициентите на усилване на усилвателите от токовия и напрежителния канали ще бъдат много малки и могат да бъдат пренебрегнати.

Поради производствените толеранси δ_R на резисторите от делителя на напрежение R_2 и R_1 , включен между фазата и нулата, се получава грешка. Тя е най-малка, когато отклонението на стойностите на тези резистори от номиналните е разнопосочно и максимално и се определя от израза

$$\gamma_{дел} = \pm \frac{1}{1 + \frac{1 - \delta_R}{1 + \delta_R} \cdot \frac{R_2}{R_1}}, \quad (8)$$

Относителната грешка $\gamma_{ш}$, дължаща се на отклонение на шунта от нормалната му стойност, може да бъде пренебрегната практически като много малка при използване на стандартни шунтове, изработени от високостабилни материали.

Относителните грешки γ_{K3} и $\gamma_{нел}$, дължащи се на нелинейност на преобразователя напрежение - честота и на аналоговия умножител - делител, се дават в справочниците за съответно избраните схеми в интегрално изпълнение.

Относителната грешка от нестабилност на опорното напрежение U_Z се дава в справочниците за избрания източник на постоянно напрежение в интегрално изпълнение. Относителната грешка от дискретност γ_d се дължи на дискретното измерване на консумираните активна мощност и електрическа енергия и се определя от известния израз в специализираната литература за цифрови измервателни уреди.

Разработеният електронен енергиен полиметър дава възможност по желание да бъдат измерени цифрово консумираната активна мощност,

напрежение на товара и консумирания ток. Максималната относителна грешка при измерване на напрежението върху товара се определя от израза

$$\gamma_U = \pm \gamma_{K2} \pm \gamma_{K3} \pm \gamma_{RMS} \pm \gamma_{дел} \pm \gamma_d, \quad (9)$$

където

γ_{RMS} е относителната грешка на преобразователя за истинска средноквадратична стойност.

Максималната относителна грешка при измерване на тока през товара се определя от израза

$$\gamma_I = \pm \gamma_{K1} \pm \gamma_{K3} \pm \gamma_{RMS} \pm \gamma_{ш} \pm \gamma_d, \quad (10)$$

Отделните съставки на относителните грешки, определени от изрази (9) и (10), са анализирани по-горе в статията.

Като се има предвид горния анализ могат да се дадат следните схемотехнически и технологически препоръки, изпълнението на които би довело до намаляване на основната грешка на електронния енергиен полиметър в широк динамичен диапазон:

1. При голям динамичен диапазон на изменение на тока през консуматора при малки натоварвания входните сигнали за усилване са ниски. Ето защо е необходимо усилвателят в токовия канал да бъде реализиран с операционни усилватели с минимални напрежение на несиметрия и входни поляризиращи токове и голям коефициент на подтискане на синфазни сигнали.

2. Резисторите в усилвателите от токовия и напрежителния канали както и делителят на напрежение R_1 и R_2 трябва да бъдат високостабилни и точни резистори с еднакъв и минимален температурен коефициент.

3. В реализацията да се използват четириквадратен аналогов умножител - делител, преобразувател напрежение - честота и преобразовател за истинска средноквадратична стойност с необходимите точност и коефициент на нелинейност.

Разработеният електронен енергиен полиметър има вградена калибраторна станция за задаване на напрежения и различни натоварвания при активен и индуктивен товар, което дава възможност при желание да се осъществи автоматична проверка на полиметъра на място съгласно стандарта. Тази калибраторна станция включва в себе си променливотоков генератор със стабилна амплитуда на изходното напрежение в широки граници на изменение на мрежовото напрежение, електронен дефазатор и електронен атенюатор. Тя трябва да бъде реализирана така, че точността ѝ да бъде поне с един порядък по-висок от точността на разработения еднофазен електронен енергиен полиметър, определена съгласно направения анализ.

Изводи:

1. Предложена е методика за определяне на една от основните характеристики на разработения еднофазен електронен енергиен полиметър - методическата грешка. Въз основа на тази методика е направен анализ и оценка на отделните съставки на общата грешка.

2. Въз основа на направения анализ са дадени конкретни схемотехнически и технологически препоръки с цел основната грешка на електронните полиметри да бъде в зададените граници. Посочени са и изисквания към вградената в полиметъра калибраторна станция за извършване на автоматична проверка на полиметъра съгласно стандарта на място, а не в специализирани измервателни лаборатории.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пседерски Ст. Т., Илиев М. П. и др. Състояния и перспективи в развитието на съвременните технологии за измерване и отчитанне на електрическата енергия. Научни трудове ВТУ „Ангел Кънчев“ - Русе, том XXXV, серия 6, 1994 год.

2. Карабенчев Г. И., Илиев М. П. Електронен енергиен полиметър за измерване параметрите на електрическа енергия. Юбилейна национална научно - приложна конференция „Електронна техника“ - 95 Созопол 1995г.

METHODOLOGY FOR MEASUREMENT OF THE BASIC CHARACTERISTICS OF ELECTRONICAL ENERGY POLYMER

**STOJCHO TOMOV PSEDESKI
GEORGI IVANOV KARABENCHEV
MICHAIL PETKOV ILIEV**

ROUSSE UNIVERSITY “ANGEL KANCHEV”

One of the basic parameters characterizing the electronical power polimeter discussed is the basic error. This paper analyses the methodological error on the basis of the block diagram of the polimeter. specific circuit engineering and technological requirements are given Basic characteristics of the self - control system of the polimeter proposed are shown.