

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СРЕДСТВАТА НА ЕЛЕКТРОНИКАТА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА

доц. ктн Стефан Йорданов Овчаров
Технически университет - София

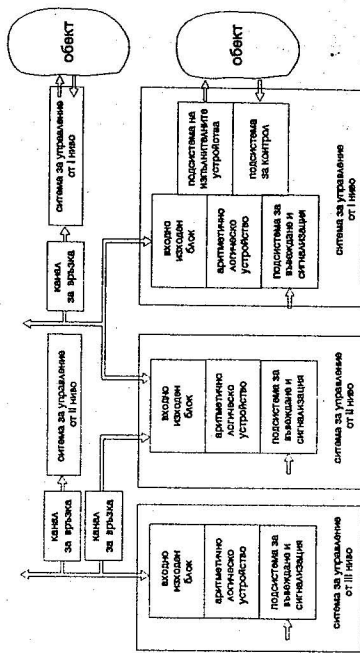
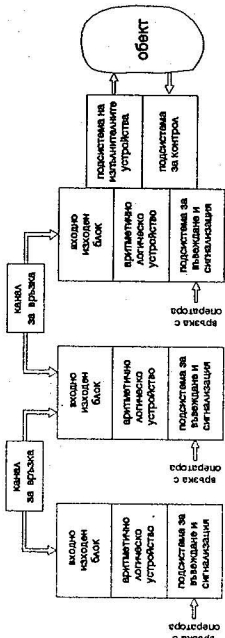
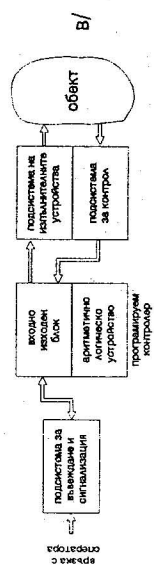
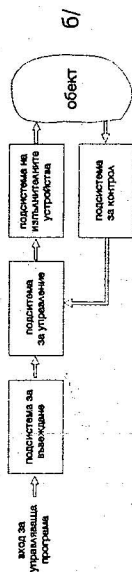
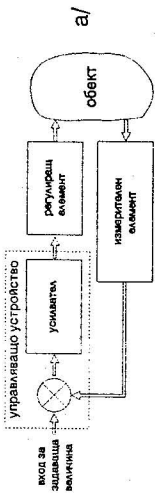
Решаването на задачата на ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА за по-добро задоволяване на нуждите на обществото от електрическа енергия е свързано с усъвършенстването на управлението на производството, пренасянето и разпределението на електрическата енергия.

На фиг. 1 е проследено развитието и усъвършенстването на структурата на средствата за управление, използвани в различни области на приложението.

Блоквата схема на фиг.1а дава представа за структурата на една проста система за управление, предназначена за стабилизация или регулиране на един параметър на даден обект. /например напрежение, температура, налягане, ниво на течности и др./ В схемата участват следните основни блокове - сравняващо устройство, усилвател на сигнала на разликата, регулиращ елемент и измервателен елемент. Стойността на управлявания параметър на обекта, се определя от стойността на задаващата величина, подадена на входа.

При решаването на задачи, свързани с управление едновременно на няколко величини или на няколко обекта схемата се усложнява като системата се разбива по предназначение на няколко подсистеми /фиг.1б/. Чрез подсистемата за въвеждане се получава необходимата информация за осъществяването на управлението във вид на управляваща програма, съдържаща данни за действията, които трябва да се извършат и данни за обекта, върху който трябва да се въздейства. Тя може да бъде получена от различни източници - клавиатура, магнитен диск, магнитна лента, перфолента, интерфейс, енергонезависима памет - EEPROM, RAM памет с резервирано хранване. Подсистемата за управление обработва информацията, получена от подсистемата за въвеждане и от подсистемата за контрол, и изработва управляващи сигнали за управление на подсистемата на изпълнителните устройства. Чрез изпълнителните устройства се въздейства върху обекта. Подсистемата за контрол изработва информация за състоянието на обекта.

Съвременните постижения на електрониката и изчислителната техника предоставят необходимите технически средства за реализирането на управлението. Тенденцията е да се използват унифицирани програмируеми микропроцесорни устройства /фиг.1в/, известни под наименованието промишлени контролери, програмируеми логически контролери и др. Използването на мощно аритметично логическо устройство и входно-изходен блок с много на брой унифицирани входове и изходи позволява един и същ тип програмируем контролер да се



ФИГ. 1

използва за решаването на разнообразни задачи, изискващи използването на блоковите схеми, дадени на фиг.1а и фиг.1б.

Усложняването на системите за управление, свързано с увеличаването на обработваната информация, води до използването на няколко програмируеми контролера, които поемат функциите на отделните подсистеми. Ако даден обект заема пространствено голяма площ се налага отделните подсистеми да са разположени териториално на различни места и за да се обменя между тях необходимата информация трябва да се използва приемо-предавателна апаратура за реализирането на канал за връзка /фиг. 1г/.

Управлението на сложни обекти както е случаят при пренасянето на електрическа енергия в една електроенергийна система се използва разпределена система за управление. За такава система е характерно наличието на няколко нива на управление - използва се иерархична система за управление /фиг. 1д/. В първото най-долно ниво са разположени системи за управление, които могат самостоятелно да управляват един подобект от системата. По структура една такава система не се различава от структурата на системата, дадена на фиг. 1в-Включва подсистема за въвеждане, подсистема за управление, подсистема на изпълнителните устройства и подсистема за контрол. За разлика от една самостоятелно работеща система тук е налице връзка за пренасяне на информация от и към система за управление от второто ниво.

Към една система за управление на второ ниво са свързани няколко системи от първо ниво. Нейната задача е да управлява едновременно група от няколко подобекта. Системата за управление от най-горното ниво управлява от своя страна няколко системи от по-ниско ниво. Характерно за системите от второ и по-горно ниво е, че те не притежават подсистеми за контрол и подсистеми на изпълнителните устройства със съответните измервателни преобразователи и изпълнителни устройства. Необходимата за управлението информация за състоянието на обекта се получава от системите за управление от първото ниво, които преработват получената от измервателните преобразователи, свързани към тях. Управляващата входна информация се получава от системата за управление от по-горното ниво или чрез собствената подсистема за въвеждане. Друга характерна особеност на системите от второ и по-горно ниво е, че през тях преминава и се обработва голямо количество информация. Това налага да се използват високоскоростни канали за връзка и мощни изчислителни машини.

Колективът на Научно изследователската лаборатория по Полупроводникова схемотехника си е поставил за задача чрез използване постиженията и средствата на електрониката да подобри техническите характеристики на използваните в системите на електроенергетиката устройства. Изследванията са насочени към подобряване

характеристиките на устройствата за събиране на информация за състоянието на обекта - електроенергийната система и към моделиране процесите, протичащи в него. В таблица 1 са дадени основните изделия, разработени в лабораторията.

таблица 1

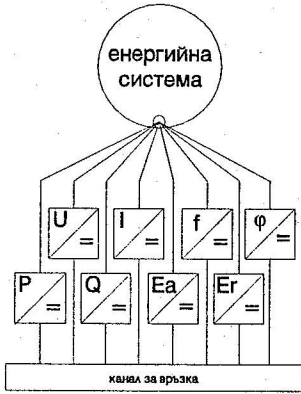
Датчици	PS03	трифазен за напрежение, ток, честота, активна и реактивна мощност и активна енергия двуелементен, индикация цифрова 2 реда по 16 знака, 4 аналогови изходи, цифров интерфейс, 2 импулсни изхода, 1%
	PS04	трифазен за напрежение, ток, честота, активна и реактивна мощност, активна и реактивна енергия, триелементен, индикация цифрова 2 реда по 16 знака, 4 аналогови изходи, цифров интерфейс, 4 импулсни изхода,
	PS05	Датчик трифазен за активна и реактивна мощност, активна и реактивна енергия, двуелементен, без индирация, 2 аналогови изходи, цифров интерфейс, 0.5%
	PS07	постояннотоков за напрежение и ток индикация цифрова 2 реда по 16 знака, цифров интерфейс, 0.5%
	PS08	Датчик трифазен за напрежение, ток, честота, активна и реактивна мощност, активна и реактивна енергия, триелементен, индикация цифрова 2 реда по 16 знака, 4 аналогови изходи, цифров интерфейс, 4 импулсни изхода, 0.2 %
	PS11	Преобразователи с аналогов изход за напрежение еднофазен, 0.3%, true RMS
	PS12	Преобразователи с аналогов изход за ток еднофазен пренастройваем, 0.3%, true RMS
Електромери	PS06	Електронен трифазен за активна и реактивна енергия триелементен, с вграден часовник, оптичен интерфейс, индикация цифрова 2 реда по 16 знака, 1%, четири регистъра за енергия - активна импорт и експорт, реактивна индуктивна и капацитивна с по десет тарифи за всяка
	PS09	Електронен трифазен за активна и реактивна енергия триелементен, с вграден часовник, оптичен интерфейс, индикация цифрова 2 реда по 16 знака, 0.2%, активна импорт и експорт, реактивна индуктивна и капацитивна

Електромер еталонен	ЕТ101	Електронен еталонен трифазен триелементен, U, I, P, Q, f, 0.05%
Товарни устройства	ТУ133	трифазно за проверка и настройка на релейни защити и автоматика, 3x270V/ /250VA, 3x50A, $\varphi=0-360^\circ$, f=45-55Hz, 0.2%, моделиране на преходни процеси
	ТУ202	трифазно за проверка и настройка на датчици за честота, напрежение, ток, активна и реактивна мощност и енергия 20VA, $U_\varphi < 70V$, $I_\varphi < 7A$, $\varphi=0-360^\circ$, f=45-55Hz, 0.2%
	ТУ310	еднофазно за електромери, , 2 x 250VA, $U_\varphi < 270V$, $I_\varphi < 75A$, 120A, $\varphi=0-360^\circ$, f=45-55Hz, 0.2%
	ТУ110	еднофазно за ток, 1 x 1kVA, , f=45-55Hz, 0.2%
	ТУ330	трифазно за електромери, , 6 x 250VA, $U_\varphi < 270V$, $I_\varphi < 75A$, 120A, $\varphi=0-360^\circ$, f=45-55Hz, 0.2%
Изпитателна станция	TS101	еднофазна за електромери 250VA, 0.05%
	TS301	трифазна за електромери 250VA, 0.05%

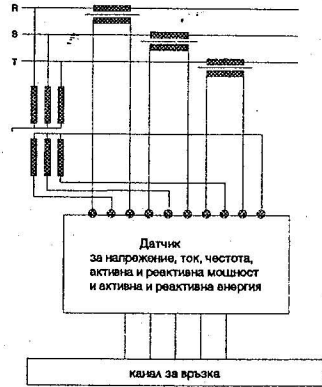
Датчиците са първични измервателни устройства, които се разполагат в различни точки от електрическата мрежа и измерват основните величини: напрежение, ток, честота, активна и реактивна мощност, активна и реактивна енергия. Монтират се в подстанциите, където се извършва разпределянето на енергията от входящите към изходящите линии. Броят на контролираните точки в една подстанция е от порядъка на десетки. В момента за всяка от величините /фиг. 2а/ се използва отделен първичен преобразовател - датчик. Пренасянето на информацията за измерената величина от датчика до следващото устройство - канала за връзка - се извършва с аналогов сигнал - постоянен ток, изменящ се в границите от -5mA до +5mA.

В Научно изследователската лаборатория по Полупроводникова схемотехника са разработени няколко типа /таблица 1/ датчици за напрежение, ток, честота, активна и реактивна мощност и активна и реактивна енергия. Техните функционални възможности позволяват с един от този тип да се заместят най-малко четири датчика, измерващи само една величина.

Датчиците са предназначени да измерват основните величини - напрежение, ток, честота, активна и реактивна мощност и активна и реактивна енергия в балансирани и небалансирани трифазни мрежи за средно и високо напрежение чрез свързване към изходите на измервателни трансформатори с номинални стойности на изходните

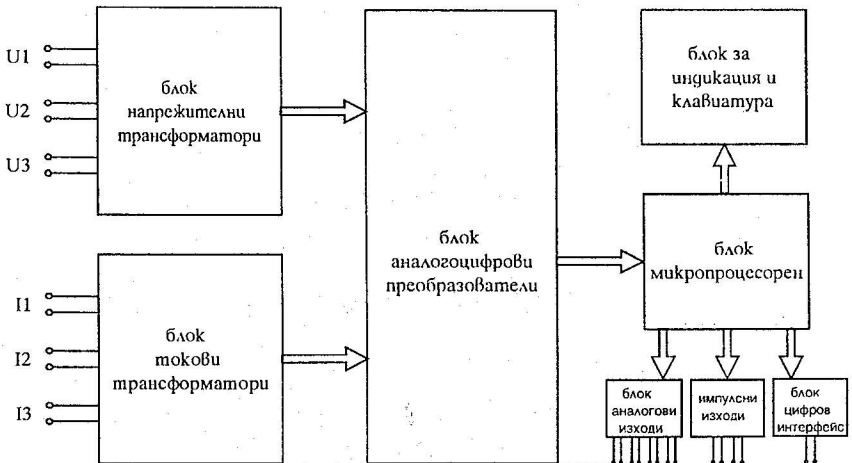


а/



б/

фиг. 2



фиг. 3

напрежения 100V, а на токове 1A или 5A. При мрежи за ниско напрежение е възможно директно включване.

Блоквата схема на един датчик има вида на фиг. 3.

Измервателната част на датчика включва три напрежителни и три токови входни трансформатора и шестканален аналогоцифров преобразувател. След дискретизиране сигналите се подлагат на цифрова обработка. В резултат се получават ефективните стойности и фазите на измерваните токове и напрежения. Измерват се ефективните стойности и фазите на трите напрежения и трите тока. При измерването на ефективните стойности на напреженията и токовете се отчитат всички хармонични съставки до деветата включително. Използува се дискретна трансформация на Фурие (DTF). Този метод осигурява точно измерване на фазите на първата хармонична на токовете и напреженията като се елиминира грешката от висшите хармоници, характерна за методите, използваващи моментите на преминаване през нулата.

На базата на определените вектори на токовете и напреженията се изчисляват пълната, активната и реактивната мощности и $\cos\phi$ за всяка фаза и сумарната за трите фази.

Измерените стойности на активната и реактивната мощности се интегрират по цифров път за да се определи активната и реактивната енергия. В зависимост от посоката на пренасяне /знака на активната мощност/ активната енергия се натрупва в два програмно реализирани брояча - един за получена, а другия - за отдадената. В зависимост от вида на товара - индуктивен или капацитивен /знака на реактивната мощност/ реактивната енергия се натрупва в други два програмно реализирани брояча.

За измерване на честотата на входното напрежение се използват апаратни и програмни средства, осигуряващи висока точност (0,01Hz) и защита от кратковременни смущения в електрическата мрежа.

Датчикът има четири токови изхода, които изработват аналогов постояннотоков сигнал в границите от -5mA до +5mA, пропорционален на избрана от потребителя измерена величина - напрежение, ток, активна или реактивна мощност или честота.

Датчикът предоставя на потребителя и четири импулсни изхода за отчитане на активната и реактивната енергия. Тежестта на импулсите може да се програмира в широки граници.

Датчикът притежава цифров сериен изход, който дава възможност за включването му в локална мрежа и за връзка с ЕИМ.

Индикацията и клавиатурата са предназначени за индициране на стойностите на измерените величини и за програмиране и калибриране на датчика. Индикацията е матрична течнокристална буквеноцифрова и има два реда по 16 знака.

В датчика са заложиени богати възможности за програмиране на неговите функции. Могат да се задават величините, определящи

стойността на токовете, извеждани на аналоговите изходи. Освен измерените стойности на токовете и напреженията на входовете на датчика се индицират и реалните стойности на напреженията, токовете и мощността в първичните вериги на измервателните трансформатори, свързани във високоволтовата част на мрежата. За целта могат да се зададат преводните отношения на токовете и на напрежителните трансформатори.

Калибровката на датчика се извършва изцяло по програмен път като по този начин са избегнати тримери и други апаратни средства за настройка. Необходимите калибровачни коефициенти се преизчисляват от самия датчик. В процеса на настройка чрез бутоните /четири на брой/ се възвещдат измерените и действителните стойности на величините. Данните от калибрирането, програмирането както и някои допълнителни данни се съхраняват в енергонезависима памет тип EEPROM. В нея се съхранява и измерената енергия. Достъпът до режимите на калибровка и програмиране са защитени чрез осигурителни кодове, които трябва да се въведат от оператора преди започването на съответните действия. Предвидена е възможност за напълно автоматично калибриране на датчика на специализиран стенд - товарно устройство, който тества датчика, изчислява калибровачните коефициенти и ги изпраща към датчика по серийния интерфейс.

Технически характеристики на датчиците

- номинално входно напрежение 100V, 220V, 380V, по заявка

- номинален входен ток 1A или 5A, по заявка до 60A /120A/

- точност

напрежение $0.3\% * U_x + 0.2V$,

ток $0.5\% * I_x + 2mA$,

честота $0.01Hz$.

активна мощност $(0.2\%, 0.5\%) 1\% * P_x + 0.05\% * P_{max}$,

реактивна мощност $(0.2\%, 0.5\%) 1\% * Q_x + 0.2\% * S_{max}$,

активна енергия $(0.2\%, 0.5\%) 1\% * E_x$,

реактивна енергия $(0.2\%, 0.5\%) 1\% * E_x$,

- четири програмируеми аналогови токови изхода с номинален ток

5mA

- четири импулсни изхода за енергия

- цифров изход за връзка с мрежа за събиране на информация за стойностите на напрежението, тока, честотата, активната и реактивната мощност и енергията

-индикация цифрова два реда по 16 символа

-отговаря на изискванията на отраслови нормали:

ОН 0174960- 82 Преобразовател измерителен на напрежение;

ОН 0174961- 82 Преобразовател измерителен на ток;

ОН 0178311- 91 Преобразовател измерителен на активна и реактивна мощност

ОН 0475294- 83 Електромери трифазни електронни.

На базата на датчиците са разработени електронните трифазни електромери от типовете PS06 /1%/ и PS09 /0.2%/.

Измервателната част на датчиците е използвана при разработката на електронен регулатор на фактора на мощността - $\cos(\varphi)$.

Вградеността в датчиците цифров интерфейс позволява определен брой датчици да се свържат в локална мрежа. Топологията на мрежата е с шинна организация. Шината е двупроводна осукана двойка. Към един сегмент от двупроводната шина се свързват до десет датчика. Вградеността в датчика програмно осигуряване осигурява скорост на обмен 9600 бит/s.

Обменът на данни с датчика се извършва по инициатива на водеща главна станция. Главната станция изпраща по шината двубайтов команден ред като всеки байт е със старши бит 1, първият байт е адрес, а вторият - команда.

Формат на командния ред:

11xx xxxx, 10xx xxxx

адрес команда

Датчикът, чийто вграден номер, съвпада с адреса в командния ред излъчва съобщение-отговор. Байтовете, излъчвани от датчика, имат старши бит 0.

Формат на отговора:

00xx xxxx, 00xx xxxx, 0xxx xxxx, 0xxx xxxx и т.н.

адрес, команда, брой байтове, данни =>

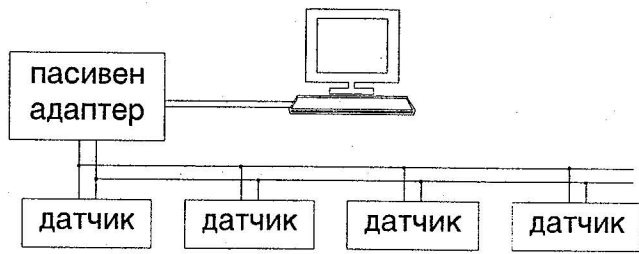
Основната команда, която се използва за работа с датчиците е командата 01 => "Изпрати данни от измерването". При получаване на тази команда датчика изработва отговор, състоящ се от 22 байта със следния формат:

адрес, команда, 20(\$14), U12ст, U12мл, U23ст,
U23мл, I1ст, I1мл, I3ст, I3мл, Pст, Pмл, Qст, Qмл,
Fст, Fмл, Ep1, Ep2, Ep3, Em1, Em2, Em3
където:

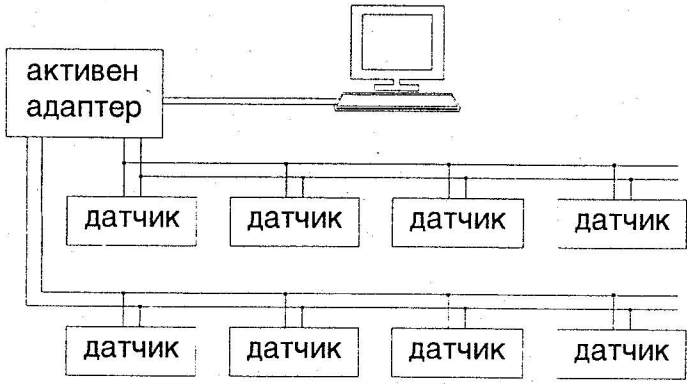
U12, U23 - двоичен код /0aaa aaaa, 0bbb bbbb/ на с тегло на единицата - 0.1V

I1, I3 - двоичен код /0aaa aaaa, 0bbb bbbb/ с тегло на единицата - 0.001A

F - двоичен код /0aaa aaaa, 0bbb bbbb/ с тегло на единицата - 0.01Hz



фиг. 4.



фиг. 5.

P, Q - двоичен код /0±aa aaaa, 0bbb bbbb/ с тегло на единицата - 0.2W

Epl, Em1 - двоичен код с тегло на единицата на първи байт - 10000MW, на втори байт - 100MW, на трети байт - 1 MW,

Схемата на свързване между главния /главната станция/ и датчиците е показана на фиг. 4. Като главна станция е използван персонален компютър тип IBM PC. Към последователния интерфейс RS232 на персоналения компютър се свързва специализиран пасивен адаптер. Адаптерът съгласува физическите нива на сигналите на изхода на компютъра с физическите нива на сигналите в мрежата, към която се включват датчиците. В сегмент от мрежата могат да се свързват паралелно до 10 датчика.

Разработен е и активен адаптер - концентратора тип PS03K, чиято схема на свързване е показана на фиг.5. Неговата задача е да съгласува физическите нива на интерфейса RS232 и на интерфейса на датчика PS03, да събере информацията от включените към него датчици и при поискване от компютъра да му я предаде. Разработеният активен адаптер може да бъде доставен по заявка с два до осем цифрови вход/изходи за събиране на информацията от по осем датчика тип PS03 и един вход/изход за трипроводна връзка по сериен напрежителен интерфейс тип RS232. Скоростта на обмен по сериения напрежителен интерфейс тип RS232 се програмира от 1200 до 4800 бит/s. Активният адаптер разполага с необходимия обем памет за съхраняване на цифровата информация, получавана от датчиците.

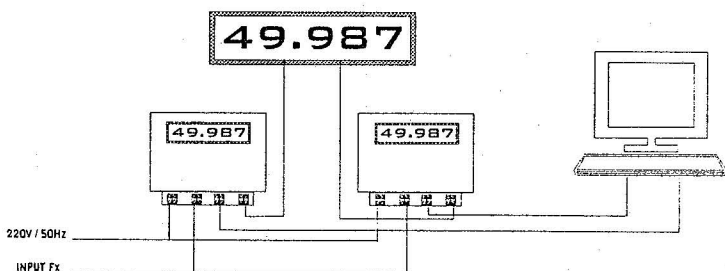
В концентратора PS03K е използван микроконтролер 68HC11 с външна EPROM и RAM памет с обем 32к и 8к съответно. Сериеният интерфейс за връзка персоналения компютър се обслужва от вградения в контролера 68HC11 ACIA. Развързването е посредством оптрони. За комуникация с датчиците се използва ACIA тип MC6850 и съгласуващ блок, който генерира ток в линията със стойност около 60mA.

С цел следене поведението на електроенергийната система в продължителен период от време е разработена Системата за следане на честотата на електрическата мрежа, която измерва честотата на трифазното напрежение и съхранява, обработва и визуализира информацията за измененията на честотата.

Блоквата схема на системата за следане на честотата е показана на фиг. 6. В блоквата схема на системата са включени два датчика, индикаторно табло и персонален компютър. Вторият датчик гарантира работоспособността на системата при отпадане на единия датчик.

При отпадане на компютъра или прекъсване на връзката работоспособността на системата се осигурява от възможността датчиците да съхраняват информация в обем, съответстващ на данните, събрани за един часа. Отпадането на индикаторното табло не влияе

върху работоспособността на системата. Разработен е вариант, при който в индикаторното табло има вграден честотомер и то може да работи самостоятелно.



фиг. 6

Датчикът за честота представлява прецизен честотомер, проектиран за измерване на ниски честоти /под 100 Hz/. За постигане на необходимата висока точност при голямо бързодействие /време за измерване 0,1s/ се измерва периода на входния сигнал, а неизвестната честота се получава след като се изчисли реципрочната стойност на периода. Датчикът се свързва с персоналения компютър посредством сериен интерфейс RS 232.

В датчика е вградена специализирана интегрална схема за реално (астрономическо) време, осигурена с акумулаторно захранване.

Датчикът е изграден на базата на едночипов микрокомпютър INTEL 80C31 и интелигентен дисплей PHILIPS LTN 211-N01. Блоквата му схема включва специален лентов филтър за работния обхват от 47Hz до 53Hz, формироваател на сигнала, блок за реално време, блок за сериен интерфейс, блок за връзка с изнесено индикаторно табло, захранващ блок.

За да се гарантира надеждна работа датчикът е развързан галванически: от захранващата мрежа и източника на измервания сигнал - трансформаторно; а от компютъра - оптронно.

Електрическата схема на датчика съдържа входен трансформатор, към чиято вторичната намотка е свързан ограничител на сигнала с ценови диоди и Г-образен филтър. Филтърът включва две звена - високочестотно и нискочестотно с област на пропускане от 45Hz до 55Hz. Филтрираният сигнал се подава на компаратор, реализиран със специализиран компаратор LM311, осигуряващ необходимата стръмност на фронтите на изходния сигнал към микрокомпютъра. За повишаване

на шумоустойчивостта е въведена положителна обратна връзка осигуряваща хистерезиса на формирателя. Сигналят постъпва във вход Int0 на микрокомпютъра. Измерването на периода на входния сигнал се осъществява посредством програмни прекъсвания.

Изчисляването на честотата се извършва на всеки 20ms (всеки период), а се използват осреднените данни за последните 5 периода, с което се отстраняват флукуациите в рамките на един период.

Информацията от измерването се съхранява в RAM с обем позволяващ връзката с компютъра да се прекъсне за един час. Ако няма връзка по-дълго време, когато персоналният компютър се включи ще могат да се възстановят измерванията само за последния един час.

Програмното осигуряване на системата за следене на честотата съдържа три основни блока: FR.EXE, DIS.EXE и CONV.EXE.

Програмата FR.EXE е програма за приемане на данните от датчика за честота, визуализиране на измерената честота и създаване на архивни файлове. След стартирането тази програма прочита съдържанието на буфера на датчика и сверява часовника на компютъра с този на датчика. В основния режим на работа непрекъснато се подават команди към датчика за изпращане на стойността на измерената честота. Прехвърлянето на получените данни по серийния интерфейс в персоналния компютър се извършва чрез програмни прекъсвания. На екрана се визуализират стойностите на измерената честота и времето и се очертават кривите на стойността на честотата и на стойността скоростта на изменение на честотата в три прозореца. Тези прозорци имат вертикална големина от 110 точки, като в различните мащаби чрез всяка екранна точка се изобразява средната стойност на 1 до 600 последователни измервания на честотата.

Програмата FR.EXE:

- създава всеки кръгъл час архивен файл с разширение *.S1, който съдържа едночасов запис на честотата, измерена през една секунда;

- при настъпване на определено събитие /повишаване или спадане на честотата под определена стойност, изменение на честотата със скорост над определена стойност/ се създава архивен файл с разширение *.S01, който съдържа 30 минутен запис на честотата, измерена през 0,1s;

- през определен предварително програмиран от потребителя временен интервал от 10 сек. до 999 сек. се създава файл FR.TMP, съдържащ едночасов запис на последните измерени честоти през 1s.

Програмата DIS.EXE служи за визуализация на архивирани файлове. Могат да се задават различни мащаби за изобразяване на кривите, като времето между две съседни точки се показва в дясната част на екрана. Там се изписват още стойността на честотата в точката, където се намира курсора или средната честота за интервала от време, който отговаря на една екранна точка при по-голям мащаб, минималната и максималната стойност на честотата за този интервал и

се чертаят кривите на изменение на тези стойности. Изобразяваното време, в този случай, отговаря на времето на последната измерена честота в интервала.

Програмата CONV.EXE служи за преобразуване на архивирани файлове /*.s1, *.s01 или fr.tmp/ в текстови файлове/*.T1 или *.T01/, в които измерените честоти са представени таблично.

Разработената система е внедрена в Централното диспечерско управление на Националната електрическа компания.

За тестването и настройката на изпълнителните и измервателните устройства, участващи в системата за управление на електроенергийната система е необходимо да могат да се симулират протичащите в нея процеси. За целта се използват специализирани трифазни и еднофазни напрежителни и токови генератори, известни под наименованието товарни устройства.

В Научно изследователската лаборатория по Полупроводникова схемотехника са разработени няколко типа /таблица1/ товарни устройства, различаващи се по броя на фазите /еднофазни и трифазни/, по максималната отдавана мощност от всяка фаза към товара /20VA, 150VA, 250VA, 1kVA/, по максималното фазно напрежение /70V, 260V/, по максималния фазен ток /7A, 50A, 120A/, различни входни и изходни вериги /логически входове за регистриране на определени събития, аналогови входове за измерване на напрежение или ток, релейни изходи/.

Товарното устройство TU130 генерира трифазна система от напрежения и токови сигнали, които се подават на входовете на изпитваните устройства и реагира на промените на състоянието на изходните им вериги по определен предварително програмиран начин - запомня момента на заработване, изменя стойностите на изходните сигнали и др. Генерираната трифазна система е с прав фазов ред - трифазната система се върти обратно на часовата стрелка и пресича вектора време, който е неподвижен в последователност U_r , U_s , U_t . Фаза U_s закъснява на 120° от U_r , а фаза U_t закъснява на 120° от U_s или 240° от U_r . Товарното устройство може да генерира симетрична или несиметрична трифазна система. Могат да се моделират импеданс и мощност като се формират токове и напрежения с определена големина и фаза.

Параметрите на генерираните сигнали могат да се задават и променят ръчно или автоматично чрез изпълнение на предварително записани в паметта на устройството определен набор от стойности.

Блоквата схема на товарното устройство включва следните основни възли: блок микропроцесорен, блок цифроаналогови преобразователи, блок усилватели напрежителни, блок усилватели токови, блок логически входове и изходи, блок захранване и пулт за управление и индикация.

Управлението на товарното устройство се извършва от микропроцесорния блок. В микропроцесорния блок се намира системното програмно осигуряване, записано в постоянна памет Еprom. Този блок управлява работата на блока цифроаналогови преобразователи и входно-изходния блок.

От микропроцесорния блок е изведен изход (куптур), от който чрез интерфейс RS232 се реализира комуникацията с пулта за управление и индикации за осъществяване на връзка с оператора.

Микропроцесорният блок представлява едноплатков микрокомпютър с микропроцесор MC68008, ROM 256 kBytes, CMOS RAM 512 kBytes, таймер CM606, има два потребителски серийни канала (RS-232-C или токов кръг) и един допълнителен за връзка с пулта за управление.

Блокът цифроаналогови преобразователи съдържа шест канала за формиране на синусоидални напрежителни сигнали, предназначени за управление на крайните напрежителни и токови стъпала. Всеки от тези канали /генератори/ съдържа цифроаналогов преобразувател CM758 и активен нискочестотен филтър за изглаждане на изходното напрежение. Шестте генератора са обособени в две групи от по три канала. Първата група задава управляващото напрежение за трите фази на трифазния напрежителен източник, а втората група задава управляващото напрежение за трите фази на трифазния токов източник. Данните, подавани към ЦАП от микропроцесора се обновяват с постоянна честота 1 kHz. Всяка група е галванично разделена чрез трансформатори от останалите и от микропроцесора. Максималното изходно синусоидално напрежение, изработвано от ЦАП е 2.8V eff.

Блокът усилвател напрежителен е предназначен да усилва изходния сигнал, генериран от ЦАП, до стойности, зависещи от избрания напрежителен обхват. Чрез този блок на потребителя се предоставят два обхвата: 70Veff с допустим максимален ток 2.2Aeff /максимална допустима консумирана мощност 150W/ и 10Veff с максимален ток 2.2Aeff. Усилвателят е постояннотоков, работещ в клас D. Когато се ползва обхват 70V товарът е галванически свързан с крайните транзистори. Обхват 10V се получава чрез свързване към изхода на усилвателя на понижаващ трансформатор. В усилвателя е вградена максималнотокова защита, която го предпазва при повишаване на консумацията над допустимата и при късо съединение.

Блокът логически входове и изходи работи под управлението на микропроцесорния блок. Има 4 входа, които реагират на подаване на напрежение променливо или постоянно 220V, 4 входа, които реагират на затваряне на контакт, и 6 изхода, които са контактни групи на релета. Състоянието на входовете се чете, а състоянието на изходите се опреснява от микропроцесорния блок през 1ms.

Блокът захранване изработва необходимите захранващи напрежения +5V, +24V, +12V и -12V за работата на микропроцесорната система и останалите блокове, формира сигнал RESET за начално установяване на микропроцесора. Съдържа високоволтов изправител с защита, който осигурява необходимите за крайните усилватели захранващи напрежения +150V, -150V, +24V, +15V и -15V, има вградена автоматиката за включване и изключване и вградена защита за крайните усилвателни стъпала.

Пултът за управление и индикация е самостоятелно устройство, което се захранва от товарното устройство и се свързва към него посредством сериен интерфейс RS 232. При натискане на бутон, по серийния канал се изпраща съобщение за неговия номер. Когато по същия канал се получи ASCII поредица тя се препраща към дисплея. Ако се получи грешка при приемане се издава съответно съобщение. При включване на захранването се показва надпис за очакване на връзка: "Waits for RS-232".

Блокът усилвател токов е предназначен да усилва изходния сигнал, генериран от ЦАП, до стойности, зависещи от избрания токов обхват. За съгласуването на усилвателя с товара се използва изходящ трансформатор с четири вторични намотки по една за всеки токов обхват. Усилвателят е подобен на напрежителния краен усилвател - постояннотоков работещ в клас D. В усилвателя е вградена максималнотокова защита. Изходящите трансформатори за трите токови изходи са обособени в отделен блок трансформатори изходящи, в който освен трите изходящи трансформатора са вградени и три групи измервателни шунтове, чрез които се осъществява отрицателна обратна връзка с цел стабилизиране на тока през товара.

На потребителя се предоставят четири обхвата: 50A с максимално допустимо напрежение 4V, 15A с максимално допустимо напрежение 14V, 5A с максимално допустимо напрежение 40V и 2A с максимално допустимо напрежение 110V. Допустимата консумирана мощност за всеки обхват е 220 VA.

На базата на генерираните трифазно напрежение и трифазен ток със синусоидална форма и основна честота $f = 50\text{Hz}$ товарното устройство дава възможност да се извършват статични и динамични изпитания на релейна защита, автоматика и телемеханика.

Товарното устройство се управлява чрез команда, подадена от оператора чрез пулта, или получена по последователния интерфейс, или чрез изпълнение на програмен цикъл, записан в нейната памет. При изпълнението на команда се променя един от регулируемите параметри на изходните сигнали: амплитуда на тока или напрежението, фазова разлика, честота, импеданс, активна мощност или се активират релейни изходи.

На потребителят е предоставена възможност да избере определена конфигурация на товарното устройство, която се определя от обхвата на изходните напрежения и токове. Напрежителният блок има следните обхвати: 3 x 70V/2A и 3 x 10V/2A. Токовият блок след паралелно свързване на изходните букси на трите фази може да се използва като еднофазен и неговите обхвати се разширяват до осем: 3 x 50A/4V, 3 x 15A/12V, 3 x 5A/40V, 3 x 2A/100V, 1 x 150A/4V, 1 x 50A/12V, 1 x 15A/40V и 1 x 5A/100V.

При статичните изпитания след въвеждането на амплитудата, фазата и честотата на всеки един от сигналите на напрежителните и токовите изходи веднага започват да се генерират правилни синусоиди със зададените стойности на амплитудата, фазата и честотата и тези стойности се запазват до изтичане на времето, съответстващо на зададената продължителност на изпитанието.

При динамичните изпитания всички параметри на изходните сигнали могат да се изменят автоматично по предварително зададена зависимост.

Чрез пулта товарното устройство може да се установи в следните основни режими: ПРОГРАМИРАНЕ и УПРАВЛЕНИЕ. В режим ПРОГРАМИРАНЕ товарното устройство е с изключени аналогови изходи и се извършват следните основни действия: избор на режим на работа, избор на обхват по напрежение и по ток, четене на данни за регистрираните промени на състоянието на релейните входове, програмиране действието на товарното устройство при промяна на състоянието на релейните входове, програмиране на изходите, въвеждане на програмен цикъл.

В режим УПРАВЛЕНИЕ товарното устройство може да бъде с изключени или със включени аналогови изходи и да се извършват следните основни действия: задаване на начални стойности на параметрите на величините при изключени аналогови изходи, изпълнение на различни режими на работа при включени аналогови изходи и ръчна промяна на стойностите на параметрите на генерираните в момента сигнали и индикация на стойността на избрана от оператора величина.

Логическите входове на товарното устройство се използват по следния начин: При всяко задействане на вход в паметта на микропроцесорната система се записват стойностите на всички основни величини - големини на ток и напрежение, фазите им, честота и стойността на времето, изтекло от започването на изпитанието /натискането на бутон "Старт"/. Освен това има възможност да се програмира при промяна на състоянието на релейните входове товарното устройство да извърши определено действие - завършване на изпитанието /изключват се всички напрежителни и токови източници/, спиране на измененията на стойностите на параметрите, включване на

линейно изменение на стойността на определен параметър в посока, еднаква на програмираната, включване на линейно изменение на стойността на определен параметър в посока противна на програмираната, скокообразно изменение на стойностите на определени параметри в положителна посока със стойност, равна на зададената стъпка, скокообразно изменение на стойностите на определени параметри в обратна посока със стойност, равна на зададената стъпка, преминаване към изпълнение на следващия сегмент от програмен цикъл, преминаване към определен сегмент от програмния цикъл.

Състоянието - включено или изключено - на всеки от логическите изходи може да бъде програмирано за всеки сегмент - участък от програмен цикъл - различно. Продължителността на състоянието на цифровия изход се задава при програмиране на параметъра време на съответния сегмент.

Товарното устройство може да изпълнява автоматично програмен цикъл, състоящ се от четири сегмента. За всеки сегмент е необходимо да се въведе два вида информация:

- за цифровите входи и изходи
- за напрежителните и токови изходи

Въвеждането на необходимата информация се извършва в режим ПРОГРАМИРАНЕ, в режим УПРАВЛЕНИЕ тя може само да бъде четена.

Условията за преминаване на програмата от текущ към следващ сегмент са следните:

- изтичане на програмираното време за продължителност на сегмента (зададено е време T_m за съответния сегмент различно от нула).
- изпълнение на въведено условие при задействане на цифров вход да се преминаване към следващ или друг сегмент

Стартирането на програмния цикъл се извършва с натискане на бутон "Start". Изпълнението започва от първия сегмент S1. Ако по време на работа повторно се натисне бутон "Start", изпълнението на цикъла започва от начало. Спирането на цикъла настъпва:

- при натискане на бутон "Stop"
- при достигане на сегмент за който не е програмирана продължителността му чрез параметъра T_m
- след отработване на четвъртия сегмент

За всеки сегмент от програмния цикъл товарното устройство поддържа масив от данни, необходим за управление на работата на напрежителните и токовите изходи. Този масив съдържа числени стойности за големината на амплитудата и фазата, за скоростта и стъпката на изменение, за горната и долната граница, до която ще се изменят амплитудата и фазата. Тези стойности се задават за фазните напрежения - U_r, U_s, U_t , за междуфазните напрежения - U_{rs}, U_{st}, U_{tr} , за фазните токове - I_r, I_s, I_t , за напрежението и тока при симетрична система

- U, I, за импеданса и пълната мощност - Z, S, за честота на напреженията и токовете - f, за модулиращата честота - Fm, за на установяване на тока при аperiодичен режим - Tau, за продължителността на генериране на изходните напрежения и токове - Tm, за величините, характеризиращи симулирания модел на електроенергийната система - E1, E2, k. В зависимост от режима на работа се задават само данните, които са необходими.

Режими на работа

1. Несиметрична система на напреженията и токовете.

В този режим се реализират следните функции: линейно изменение на големината на всяко от фазните напрежения и фазните токове независимо от останалите, линейно изменение на фазата на всяко от фазните напрежения и фазните токове независимо от останалите, линейно изменение на честотата, изпълнение на стойностите на големината, фазата и честотата на фазните напрежения и токове с предварително програмирана стъпка.

В този режим може да се програмира аperiодично изменение на тока Iг чрез въвеждане на стойност за времеконстанта Tau.

Генерира се ток по закона:

$$i = - I_m \cdot \sin(\phi I_g) \cdot \exp(-t/\text{Tau}) + I_m \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \phi I_g)$$

Когато не е въведена стойност за Tau, първият член от горния израз не се изпълнява.

2. Симетрична система на напреженията и токовете.

Реализира се линейно и стъпково изменение на големината, фазата и честотата едновременно на трите фазни напрежения съответно трите фазни тока

3. Генериране на импеданс по зададени големина и фаза на импеданса и големина и фаза на напрежението или тока.

Реализира се линейно и стъпково изменение на големината и фазата на импеданса, на големината на активното и на реактивното съпротивления, на големината, фазата и честотата на зададеното напрежение или ток.

4. Генериране на мощност по зададени големина и фаза на фазната мощност и големина и фаза на напрежението или тока.

Реализира се линейно и стъпково изменение на големината и фазата на пълната мощност, на големината на активната и на реактивната мощност, на големината, фазата и честотата на зададеното напрежение или ток.

5. Генериране на люлеене на големината на напрежението и тока по синусоидален закон.

Генерира се симетрична система на напреженията и токовете като големината на напрежението и тока започва да се изменя от началната към минималната и максимална стойности по синусоидален закон:

$$U_{\text{eff}} = (U_{\text{max}} + U_{\text{min}}) / 2 + (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) \cdot \sin\{2\pi \cdot F_m \cdot t + \dots\}$$

$$I_{eff} = (I_{max} + I_{min}) / 2 + (I_{max} - I_{min}) \cdot \sin\{2\pi \cdot f_m \cdot t + \arcsin[2U_{нач} / (U_{max} - U_{min})]\} / 2 + \arcsin[2I_{нач} / (I_{max} - I_{min})]\} / 2$$

6. Генериране на люлеене на фазата на напрежението и тока по синусоидален закон.

Генерира се симетрична система на напреженията и токовете като фазата на напрежението и тока започва да се изменя от началната към минималната и максимална стойности по синусоидален закон:

$$\Phi U = (\Phi U_{max} + \Phi U_{min}) / 2 + (\Phi U_{max} - \Phi U_{min}) \cdot \sin\{2\pi \cdot f_m \cdot t + \arcsin[2 \cdot \Phi U_{нач} / (\Phi U_{max} - \Phi U_{min})]\} / 2$$

$$\Phi I = (\Phi I_{max} + \Phi I_{min}) / 2 + (\Phi I_{max} - \Phi I_{min}) \cdot \sin\{2\pi \cdot f_m \cdot t + \arcsin[2\Phi I_{нач} / (\Phi I_{max} - \Phi I_{min})]\} / 2$$

7. Генериране на междуфазно напрежение

Възможни са два случая:

а. по зададени големина и фаза на междуфазното напрежение и големинна и фаза на едното фазно напрежение се определя второто

а. по зададени големина и фаза на междуфазното напрежение се определят големината или фаза на двете фазни напрежения по зададени фазова разлика или големина като се спазва условието големините им да са равни.

Реализира се линейно и стъпково изменение на големината и фазата на задаващите величини.

8 - Генериране на колебания на параметрите на напрежението U и тока I в контролна точка от електроенергийната система при синхронно люлеене и асинхронен ход на фазовата разлика между електродвижещите напрежения на еквивалентните генератори от математическия модел.

По зададени големина на електродвижещото напрежение на първия еквивалентен генератор $E1$ /фазата на този генератор е нула и не се променя/, големина и начална фаза на електродвижещото напрежение на втория еквивалентен генератор $E2$, размах на фазата на електродвижещото напрежение на втория еквивалентен генератор $E2$ чрез задаване на максималната $\phi E2_{max}$ и минималната $\phi E2_{min}$ стойности на фазата, коефициент на местоположението k , честота на синхронното колебание f_m и големина и фаза на импеданса на линията Z . Фазата на втория еквивалентен генератор при синхронно люлеене се изменя по закона:

$$\phi E2 = \phi E2(0) + (\phi E2_{max} - \phi E2_{min}) \cdot \sin(2\pi \cdot f_m \cdot t) / 2$$

а при асинхронен ход по закона:

$$\phi E2 = \phi E2(0) + 2\pi \cdot f_m \cdot t$$

Товарни устройства с посочените възможности са внедрени в секция "Релейна защита" към НЕК и фирма "ROKON".

В Научно изследователската лаборатория по Полупроводникова схемотехника е разработен еталонен трифазен ЕЛЕКТРОМЕР тип ET101, предназначен за използване при метрологична проверка на електромери и като еталонен измерител на напрежение, ток, мощност, фазова разлика, $\cos(\varphi)$ и др. в трифазни и еднофазни системи. Той може да работи самостоятелно или под управлението на персонален компютър. Еталонният електромер управлява чрез сериен интерфейс товарното устройство ТУ 303.

Уредът е изграден като триелементен измерител с общ индикатор и общ управляващ блок. Всеки един от елементите има токов и напрежителен вход и измерва напрежение, ток, активна и реактивна мощност. Общият управляващ блок индицира измерените величини, осъществява връзката с персонален компютър, изчислява грешките на 4 тествани електромера и автоматично калибрира товарното устройство.

Еталонният електромер тип ET101 измерва ефективна стойност на напрежение в диапазона от 0.01V до 500V и ток в диапазона от 0.001A до 100A(120A) с честота от 45 Hz до 66 Hz като се отчитат стойностите на хармоничните до 1000 Hz, фазова разлика в диапазона от 0° до 360.0°, честота в диапазона от 45 Hz до 66 Hz, активна мощност от 0.0001kW до 100 kW, реактивна мощност от 0.0001kW до 100 kW, активна енергия от 0.0000001kWh до 1000kWh, реактивна енергия от 0.0000001kVAgh до 1000kVAgh, грешките на 4 проверявани електромера чрез фотоелектрически приемници или от импулсни входове в диапазона от 0.00% до 50.00%.

Грешки на еталонния електромер тип ET 101 са:

- за напрежение $0.05\%U_x + 0.03V$ при $10V < U_x < 500V$
- за ток $0.05\%I_x + 0.001A$ при $0A < I_x < 120A$
- за фазови разлики 0.1°
- за активна мощност $0.05\%P_x + 0.1W$ при $\cos__ = 1$
 $0.10\%P_x + 0.1W$ при $\cos__ = 0.5$
- за реактивна мощност $0.10\%Q_x + 0.1VAr$ при $\sin__ = 1$
 $0.15\%Q_x + 0.1VAr$ при $\sin__ = 0.5$
- за активна енергия $0.05\%E_x + 0.03W \cdot \text{тизм}$ при $\cos__ = 1$
 $0.10\%E_x + 0.03W \cdot \text{тизм}$ при $\cos__ = 0.5$
- за реактивна енергия $0.05\%E_x + 0.05VAr \cdot \text{тизм}$ при $\sin__ = 1$
 $0.10\%E_x + 0.05VAr \cdot \text{тизм}$ при $\sin__ = 0.5,$
- за честота 0.01 Hz при $45 < f < 66 \text{ Hz}$

В еталонния електромер тип ET 101 се използва цифрова обработка на сигналите. Има шест аналого-цифрови преобразуватели, които работят синхронно с общ стартов импулс. Данните от двата аналого-цифрови преобразуватели за всяка фаза се обработват от отделен процесор. В уреда работят 4 високопроизводителни микропроцесора. Високата честота на дискретизация осигурява отчитане на хармоничните съставки на тока и напрежението до 20-ти номер.

Измерените стойности за величините от всеки елемент се предават на управляващия блок в цифров вид чрез галванично развързващи двойки. Тук се изчислява общата енергия и грешките от проверяваните електромери.

Резултатите от измерванията и изчисленията се индицират на LCD буквено-цифров матричен индикатор, разположен на лицевия панел.

Индикаторът има следните режими:

1. Индициране на ефективните стойности на токовете и напреженията

2. Индициране на фазите на напреженията и токовете спрямо U1.

3. Индициране на активните мощности измерени от всеки един от трите елемента. Сумарната мощност се получава от събирането само на избраните мощности в режим 8.

4. Индициране на реактивните мощности измерени от всеки един от трите елемента. Сумарната мощност се получава от събирането само на избраните мощности в режим 8.

5. Индициране на натрупаната енергия E, честотата - f, фактора на мощността - P/S, характера на товара - "ind" или "cap", посоката на активната мощност - $P > 0$ или $P < 0$.

6. Измерване на грешките.

7. Задаване на константите на електромера

8. Конфигуриране.

9. Настройка на фотоглавите.

10. Спомагателен режим при работа с импulsните входове.

11. Режим за калибровка на уреда.

Измервателната част на еталонния електромер ET101 има три напрежителни входа и три токови входа. Напрежителните входове са независими един от друг и лесно се свързват в произволна схема. Токовете входове са оформени в изнесен блок с три токови трансформатора. Подаването на токовете към се извършва чрез еднократно прошиване с проводника, по който тече измервания ток.

С цел да се повиши точността при токове < 0.1 А е допустимо многократно прешиване през отвора на токовите трансформатори на проводника с измервания ток без това да се отрази на точността. В този случай се налага коригиране на константата на проверяваните електромери. Тя се намалява толкова пъти, колкото пъти е прошит проводника.

Еталонният електромер тип ET101 е внедрен в Националния център по метрология към Комитета по стандартизация като работен еталон.

ЛИТЕРАТУРА:

Овчаров Ст., В.Великов, Н.Тюлиев, УНИВЕРСАЛЕН ДАТЧИК, сб.доклади "ФОРУМ ЕНЕРГИЙНИ ПРОБЛЕМИ НА БЪЛГАРИЯ" с международно участие, 22-24 юни 1993г., Варна, к. Св.Константин

Овчаров Ст., В.Великов, Н.Тюлиев, Е.Балканска, П.Якимов, **ТОВАРНО УСТРОЙСТВО ЗА ПРОВЕРКА И НАСТРОЙКА НА РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА**, сб.доклади "ФОРУМ ЕНЕРГИЙНИ ПРОБЛЕМИ НА БЪЛГАРИЯ" с международно участие, 22-24 юни 1993г., Варна, к. Св.Константин

Овчаров Ст., В.Великов, Н.Тюлиев, Е.Балканска, П.Якимов **КАЛИБРАТОР ЗА ПРОВЕРКА И НАСТРОЙКА НА УНИВЕРСАЛНИ ДАТЧИЦИ ЗА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МОЩНОСТ И ЕНЕРГИЯ**, сб.доклади "ВТОРА НАЦИОНАЛНА НАУЧНО-ПРИЛОЖНА КОНФЕРЕНЦИЯ с международно участие "ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА '93", 29 септември - 1 октомври 1993 г.

Великов В., Н.Тюлиев, Ст.Овчаров, **ВИСОКОТОЧЕН УМНОЖИТЕЛ НА МОЩНОСТ И ЕНЕРГИЯ**, Трета национална научно-приложна конференция "Електронна техника '94", 28-30 септември 1994г., Созопол

Овчаров Ст., В.Великов, Е.Балканска, **ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОРГАНИЗИРАНЕ НА СЪБИРАНЕТО И ОБРАБОТКАТА НА ИНФОРМАЦИЯТА ОТ ДАТЧИК НА НАПРЕЖЕНИЕ, ТОК, ЧЕСТОТА, АКТИВНА И РЕАКТИВНА МОЩНОСТ И ЕНЕРГИЯ**, Трета национална научно-приложна конференция "Електронна техника '94", 28-30 септември 1994г., Созопол

Овчаров Ст., Н.Тюлиев, П.Якимов, **СИСТЕМА ЗА СЛЕДЕНЕ ЧЕСТОТАТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА**, Трета национална научно-приложна конференция "Електронна техника '94", 28-30 септември 1994г., Созопол

Великов В., **ЦИФРОВО ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА И РЕАКТИВНА МОЩНОСТ**, Трета национална научно-приложна конференция "Електронна техника '94", 28-30 септември 1994г., Созопол

Овчаров Ст., В.Великов, П.Якимов, **ЕЛЕКТРОНЕН ТРИФАЗЕН ЕЛЕКТРОМЕР**, доклад пред "Четвъртата национална научно-приложна конференция с международно участие "ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА '95", 27 -29 септември - 1995 г., Созопол