

## **СПЕЦИАЛИЗИРАН МОДУЛЕН ИЗМЕРВАТЕЛЕН СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНОТО ПОТРЕБЛЕНИЕ И ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В ТРАНСПОРТА**

**Георги Димитров, Георги Павлов**  
[dimitrov\\_gd@mail.bg](mailto:dimitrov_gd@mail.bg), [pavlov61@abv.bg](mailto:pavlov61@abv.bg)

*Главен асистент, Доцент, доктор – ВТУ „Тодор Каблешков”*  
**БЪЛГАРИЯ**

**Резюме:** Съвременната научноизследователска работа в областта на електроенергийното потребление и енергийната ефективност на транспорта изисква използването на специализирана измервателна апаратура. В доклада са представени резултатите от разработван научноизследователски проект в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта” към ВТУ „Тодор Каблешков”. Основен акцент е поставен върху възможностите за електроенергийни измервания и анализи с помощта на специализиран модулен стенд, .

**Ключови думи:** електрически транспорт, електроенергийно потребление, енергийна ефективност, модулен измервателен стенд

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Енергийното и в частност електроенергийното потребление в транспорта е проблем, който вълнува специалистите и е пряко свързан с проблемите по отношение повишаване на енергийната ефективност на транспортните средства, транспортните електроснабдителни системи и транспортните предприятия като цяло.

Развитието на електронната и микропроцесорната техника през последното десетилетие, допринесе за разработването на измервателна техника с широк диапазон на измерваните величини, висока точност, компактни размери и възможности за компютърна обработка на информацията.

Измервателният стенд е проектиран на базата на съвременни микропроцесорни измервателни средства, които са обособени като отделни модули. Цялостната концепция при проектирането му е изградена на основата за реализиране на специализирани индивидуални и комплексни електроенергийни измервания във всички точки и елементи на транспортната електроснабдителна система, както и в самите електрически транспортни средства.

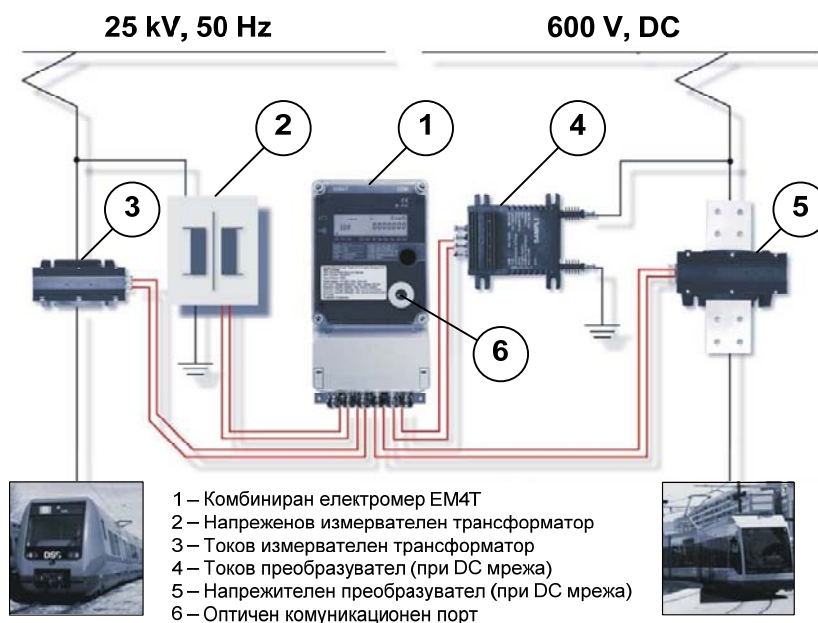
### **ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА СТЕНДА**

Специализирания модулен стенд е предназначен за електроенергийни измервания в транспортни средства и стационарни съоръжения – тягови и токоизправителни подстанции. Всички модули на стенда са изградени на базата на електронни измервателни средства, с вградена памет за измерваните величини и интерфейси (комуникационни портове), които позволяват съхранените резултати от измерванията да бъдат прочитани със специализиран за

целта софтуер и архивирани на компютър за последваща обработка и анализ. Всеки един от модулите на стенда може да се използва за извършване на измервания както самостоятелно, така и съвместно с останалите, когато е необходимо получаването на по-цялостна информация за параметрите и характеристиките на електроенергийното потребление.

### **Модул за измерване на енергийното потребление в транспортно средство**

Измервателният модул е разработен на базата на специализиран 4-канален еднофазен електромер **ЕМ4Т** (отделни входове за едновременно свързване към тягови мрежи за променлив ток и такава за постоянен ток), с функция за 4-квadrантно измерване на електрическата енергия, чрез свързването му към съответни измервателни преобразуватели за напрежение и ток (фиг. 1). Проектираният модул позволява да се извършват измервания на общия разход на енергия в електрически локомотиви за еднофазен променлив ток 25 kV, 50 Hz, както и такива в транспортни средства на градски електрически транспорт ток (тролейбуси и трамваи) захранвани от постояннотокова тягова мрежа с напрежение 600 V.



**Фиг. 1. Принципна схема на свързване на електромер ЕМ4Т**

Основните елементи на разработения модул са електромера ЕМ4Т и преобразувателите за ток и напрежение, всички те производство на фирма LEM - Швейцария.

Електромера ЕМ4Т е специално конструиран за измервания в транспортните средства и съответства на всички стандарти за измерване на енергията в тях [1, 2]. Енергийните стойности се събират и съхраняват под формата на товарови графици, като периодът на запис на данните (интеграционният период) може да бъде настроен за интервали от 60 минути до 1 минута. Записите съдържат следните данни:

- Идентификационните номера на транспортното средство;
- Дата и час на записа;
- Абсолютни стойности на енергията – отделно за консумираната и връщаната (рекуперирания) активна и реактивна енергия;
- Честота на мрежата (50 Hz, 16.2/3 Hz или DC).

Модулът е специално проектиран за провеждане на измервания в електрически транспортни средства /ЕТС/ на градския електрически транспорт, захранвани от постояннотокова тягова мрежа. За свързване на електромера към мрежата се използват специални преобразуватели за тока и напрежението (трансдуктори), произведени по технологията „Ефект на Хол – затворен контур” [3, 4]. За захранване на преобразувателите се използва стабилизирания захранващ блок.

Техническите данни на използваните в модула измервателни средства – електромер EM4T и трансдуктори, са показани съответно в таблици 1 и 2.

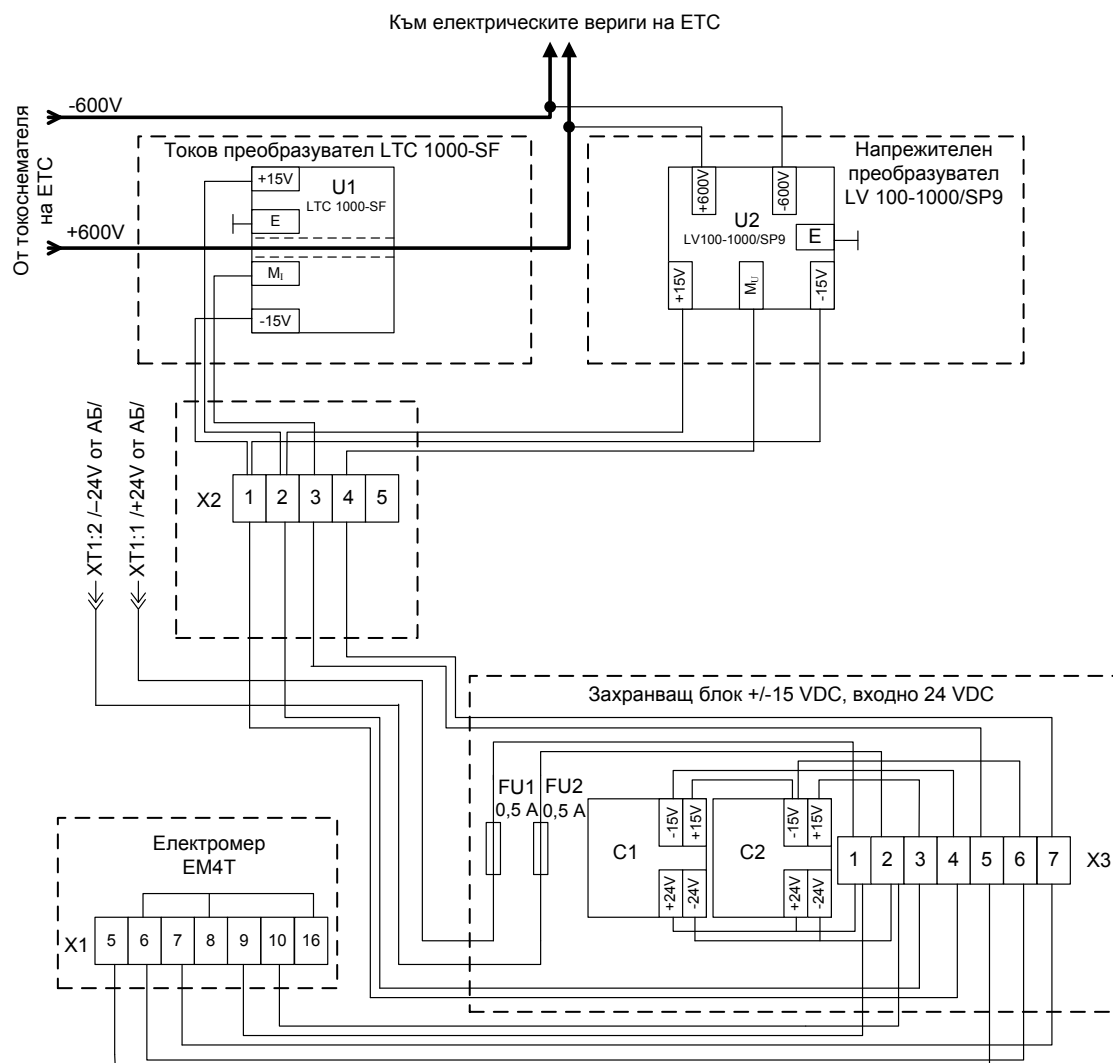
Таблица 1

| Електромер модел | Вид захр. мрежа | Номинален ток на входа | Номинално напрежение | Регистрирани величини | Захранващо напрежение | Клас на точност |
|------------------|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| EM4T             | AC              | 25 mA÷1 A, 5 A         | 90÷333 V             | +A, -A, +Q, -Q        | 19.2÷31.2 VDC         | Class 1         |
|                  | DC              | 25 mA÷1.5 A            | 25 mA÷100 mA         | +A, -A                |                       |                 |

Таблица 2

| Модел           | Първична номинална величина | Обхват на измерване | Изходен сигнал при ном. велич. | Захранващо напрежение | Точност (%) | Начин на монтаж |
|-----------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| LV 100-1000/SP9 | 1000 V                      | 0÷1500 V            | 50 mA                          | ±15÷24 V              | 0.9         | В табло         |
| LTC 1000-SF     | 1000 A                      | 0÷2000 A            | 200 mA                         | ±15÷24 V              | 0.4         | В табло         |

Електрическата схема на измервателния модул е показана на фиг. 2



Фиг. 2. Електрическа схема за измерване на енергията в ЕТС за градски транспорт

Когато модульът се използва за измервания в електрическите локомотиви за еднофазен променлив ток, входовете за ток и напрежение на електромера за АС тягови мрежи се свързват директно към изходите на токовия и напреженивия измервателни трансформатори на входа на локомотивите.

Резултатите от измерванията се съхраняват във вградената памет на електромера. Програмираният в електромера интервал на дискретизация на записите от една минута, позволява получаването на подробен товаров график, чрез който могат да се изследват редица фактори влияещи на разхода на енергия. С помощта на специализиран софтуер [5] запамените данни могат да бъдат прочетени, чрез вградения в него оптичен порт и да бъдат съхранени на компютър под формата на електронна таблица на MS Excel. Софтуерът позволява да се прочитат и обработват данни за точно определен период от време (от дата, час до дата час), което позволява да се правят извадки за изследване на разхода в определени участъци на движение.

Важно е да се отбележи, че чрез смяна на токовият преобразувател с модула могат да се извършват и измервания за разхода на енергия на страна постоянен ток в токоизправителните станции на градския електрически транспорт. Модульът може да бъде монтиран за измерване на енергията както на отделен фидер, така и общо за токоизправителен агрегат.

#### **Модул за измерване на електроенергийното потребление в токоизправителна станция, тягова подстанция или транспортно предприятие**

Модульът е разработен на базата на трифазен индиректен електромер за 4-квадрантно измерване на електроенергията **EMPS Vector T 452R**. Основно той е предназначен за извършване на измервания в токоизправителни станции и тягови подстанции, както и в експлоатационни транспортни предприятия (депа, ремонтни бази и др.).

Измерванията могат да се извършват както на страна високо напрежение, така и на страна средно и ниско напрежение, чрез използване на различни измервателни схеми (фиг. 3). Получените резултати се съхраняват в отделни регистри на вградената памет на електромера и включват следните основни параметри [6]:

- Измервани енергии:  $+A$ ,  $+R_i$ ,  $-R_c$ ,  $-A$ ,  $-R_i$ ,  $+R_c$ ;
- Моментни стойности:  $V$ ,  $A$ ,  $P$ ,  $PF$ ,  $Hz$ , ъгли на дефазиране;
- Програмируем период на интеграция: 1, 5, 10, 15, 20, 30, 60 min;
- Товаров график;
- График на изменение на  $V$ ,  $A$ ,  $PF$ ,  $Hz$ .

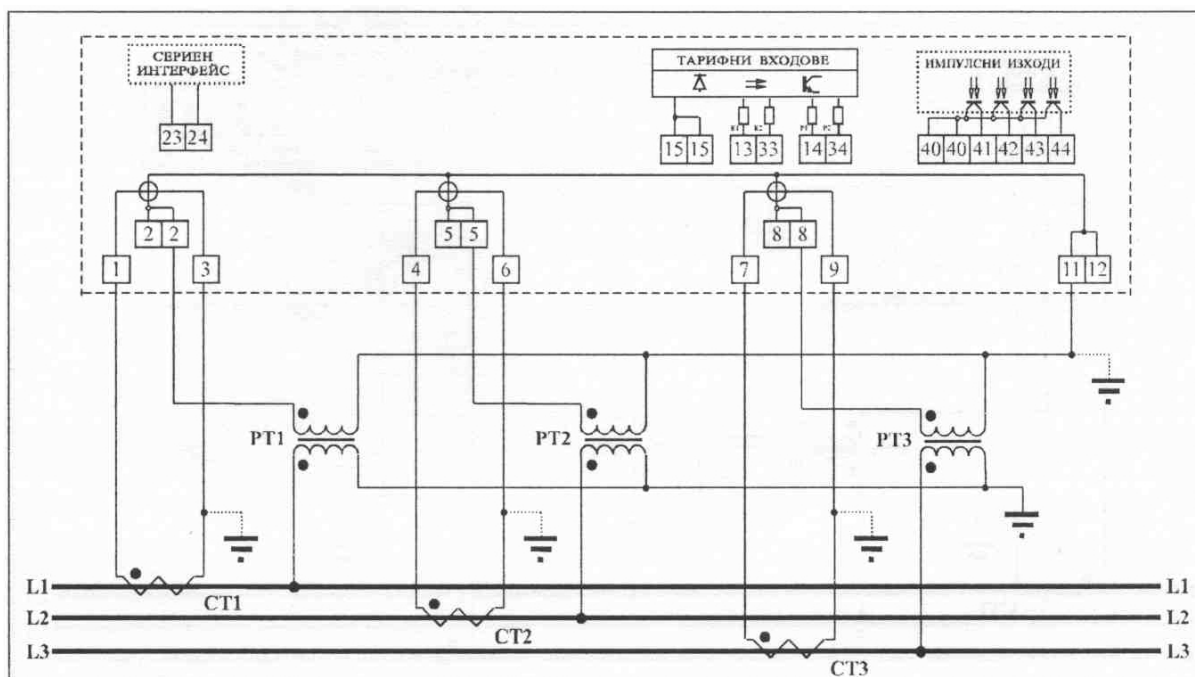
Съхранените данни от измерванията се прочитат от паметта с помощта на фирмен софтуер и се записват на компютър за последваща обработка и анализ.

Както при специализирания модул за измерване на енергията в транспортното средство, така и при този, като период за запис на данните е избран 1 min. Това позволява да се извършват едновременни, синхронизирани във времето, измервания с двата модула (напр. измервания на страна високо напрежение и страна постоянно напрежение в токоизправителните станции).

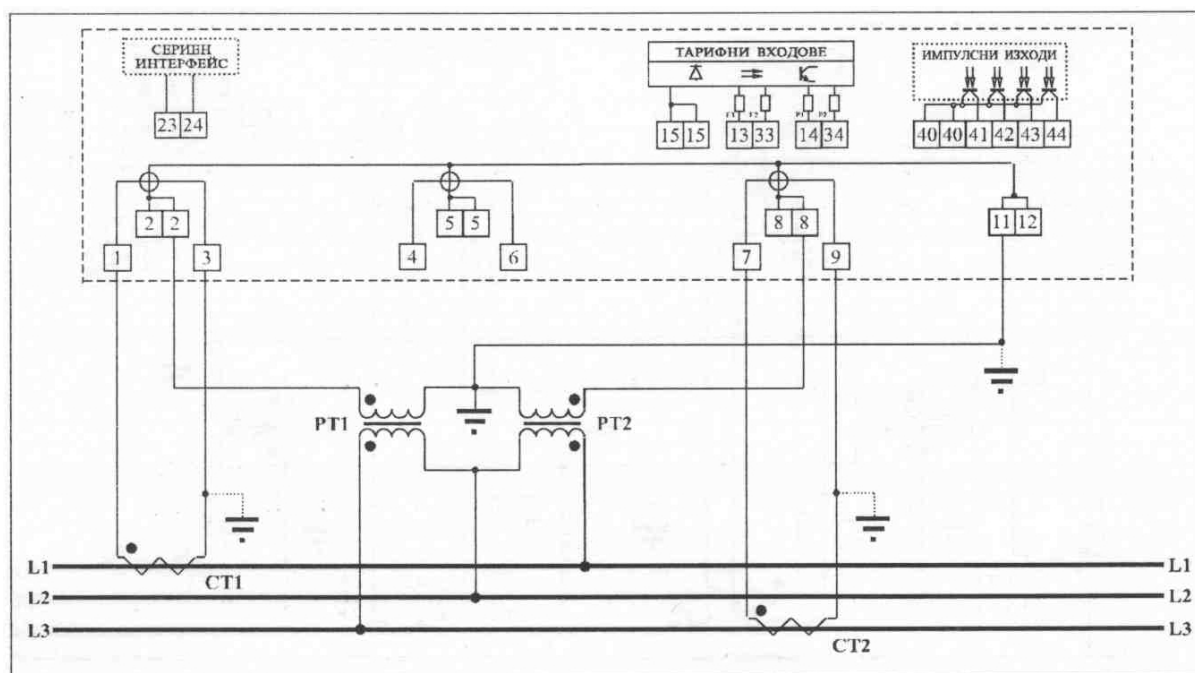
С цел минимизиране на вероятността за грешки при реализиране на различните схеми на измерване, присъединяването на модула към измервателните трансформатори е проектирано да се осъществяват чрез специализирани куплунзи, в които предварително са формирани всички електрически вериги към съответните входове на електромера.

#### **Модул за измерване на количествени и качествени показатели на електроенергийното потребление в тягова подстанция или електрически локомотив**

Този модул е разработен на базата на компактен мрежови анализатор тип **UMG 604 E – Janitza electronics** (фиг. 4). Чрез него могат да се провеждат измервания на количествените и качествените показатели на енергийното потребление в тягови и токоизправителни подстанции на електрическия транспорт. Конструктивно той е предназначен за измервания във трифазни мрежи чрез индиректна схема на присъединяване. С мрежовият анализатор е възможно също така и извършване на измервания в еднофазни мрежи, например в електрическите локомотиви за еднофазен променлив ток.



а) схема на измерване с 3 токови и 3 напреженови измервателни трансформатора



б) схема на измерване с 2 токови и 2 напреженови измервателни трансформатора

Фиг. 3. Основни схеми на измерване с модула базиран на електромер EMPS T 452R

Мрежовият анализатор **UMG 604 E** е изключително бърз и ефективен измервателен уред, оборудван с 500 Mhz DSP (Digital Signal Processor) [7]. Информацията за измерваните електрически величини се получава по 8 канала (4 за ток и 4 за напрежение) с честота на сканиране 20 kHz за всеки канал. Уредът има възможност за регистриране на всички електрически параметри: текущи, минимални и максимални стойности на величините, ъгли на дефазирание, регистриране на активна и реактивна енергии. Регистрират се и множество стойности свързани с качеството на електрозахранването, като хармоници (до 40-ти за всяка фаза с отчитане на посоката), параметри на напрежението и честотата, а също така и

краткосрочни прекъсвания на захранването. Уредът се характеризира с много висока точност на измерванията, която за напрежението и тока е 0.2%, за честотата – 0.1%, за хармониците 0.5%. Активната енергия се измерва с клас 0.5S, а реактивната енергия – с клас 2.

Съхранените данни от измерванията се прочитат и обработват със специализиран софтуер. Посредством вграденият мрежови адаптер (Ethernet 10/100), данните от измерванията могат да се получават и чрез отдалечен достъп до измервателния уред по вътрешна LAN мрежа.

Основното предназначение на този модул е извършване на прецизни измервания за характера и качеството на енергийното потребление в тяговите електроснабдителни системи на електрифицирания транспорт, но той може успешно да се използва и за измервания в експлоатационните предприятия на транспорта.



Фиг. 4. Общ вид на мрежови анализатор UMG 604 E

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектираният измервателен стенд е разработен като преносим (мобилен) вариант, позволяващ лесно инсталиране на модулите както в транспортните средства така и в тяговите и токоизправителните подстанции на електрическия транспорт.

Като по-важни възможности на модулния стенд могат да се посочат следните:

- Извършване на измервания за разхода на енергия практически във всички електрически транспортни средства при реални експлоатационни условия, а също и провеждания на такива по предварителна програма (тестови измервания);
- Провеждане на едновременни (синхронизирани) измервания в различни точки на тяговата мрежа чрез съвместно използване на различните модули;
- Провеждане на прецизни измервания за количествените и качествените показатели на потребяваната електрическа енергия;
- Лесна обработка на данните от измерванията благодарение на специализиран софтуер;
- Предпоставки за събиране на богата статистическа информация за електроенергийното потребление в транспорта.

В заключение може да се отбележи, че разработеният модулен стенд за електроенергийни измервания позволява извършването на целеви научни изследвания в областта на електроенергийното потребление и енергийната ефективност в транспорта, както и възможност за реализация на договори с външни възложители. Използването му в учебния процес ще допринесе за подобряване на практическата подготовка на студентите.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] EM4T Energy Meter for Traction usable on each network, LEM S.A., [http://www.lem.com/images/stories/files/Products/1-5-3\\_traction\\_trackside/CH\\_26100e\\_em4t.pdf](http://www.lem.com/images/stories/files/Products/1-5-3_traction_trackside/CH_26100e_em4t.pdf).
- [2] Railway Current & Voltage Transducers, Traction Catalogue, LEM S.A., 2001 & 2008.
- [3] Voltage Transducer LV 100-1000/SP9, LEM S.A., <http://www.lem.com/docs/products/lv%20100-1000%20sp9.pdf>.
- [4] Current Transducer LTC 1000-SF, LEM Components, LEM S.A., <http://www.lem.com/docs/products/ltc%201000-sf%20e.pdf>.
- [5] LEM Energy Meter Readout Tool Version 1.4, Spath MicroElectronicDesign GmbH, 2006, <http://www.meds.at>.
- [6] Техническа документация на електромер EMPS T 452R, Multiprocessor Systems Ltd, Bulgaria, <http://www.mps.bg/>.
- [7] UMG 604 – Power Analyser, Janitza electronics GmbH, 2008, [www.janitza.com](http://www.janitza.com).

## SPECIALIZED MODULAR MEASUREMENT STAND FOR RESEARCH ON POWER CONSUMPTION AND ENERGY EFFICIENCY IN TRANSPORT

**Georgi Dimitrov, Georgi Pavlov**

*Assistant professor; Associate professor, PhD – University of Transport, Sofia*  
**BULGARIA**

**Key words:** *electric transport, energy consumption, energy efficiency, modular measurement stand*

**Abstract:** *Modern research in the field of electric energy consumption and energy efficiency of transport requires the use of specialized measuring instruments. The report presents the results of a research project in the department "Electrical supplies and electrical equipment of transport" of the University of transport "Todor Kableshkov" Main accent is placed on opportunities for electric power measurement and analysis by using a specialized modular stand.*