

---

## ИЗСЛЕДВАНЕ РЕКУПЕРАТИВНИТЕ РЕЖИМИ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМОБИЛ С ДВИГАТЕЛ ЗА ПОСТЯНЕН ТОК

**Чавдар Джамбазки**  
[djambo1951@abv.bg](mailto:djambo1951@abv.bg)

**ВТУ “Т. Каблешков“ София ул. “Гео Милев“ № 158  
БЪЛГАРИЯ**

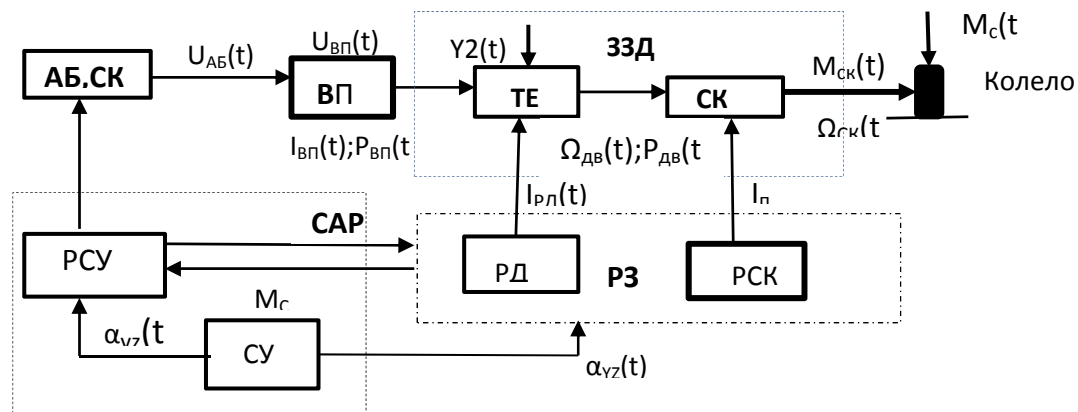
**Ключови думи:** *електромобил, супер кондензатори, тягова батерия, рекуперация, тягов двигател.*

**Резюме:** *Акумулаторните батерии способни да приемат мощност в рекуперативен режим са много скъпи. Честото им използване в условията на градско движение води до по бързото им стареене. Съвременните супер кондензатори в сравнение с акумулаторните батерии имат редица важни предимства-10000 цикъла заряд разряд, 10 години живот.*

Електромобилът е перспективен вид транспорт и в дадения момент се явява почти единственото решение на проблема със замърсяване на атмосферата. Поради това много производители влагат сили и средства за решаване конструктивните проблеми на електромобила (ЕМ). Извършват се разработки за създаване на акумулаторни батерии с малко време на заряд (около 15 min), в това число с използването на наноматериали. Разглеждат се възможностите за използване в качеството на източник не акумулаторни батерии, а супер кондензатори(СК) имащи много малко време на заряд, висока енергийна ефективност (повече от 95 %) и много голям брой цикли заряд заряд (до няколко стотици хиляди). На фигура 1 е показана структурна схема на система за тягово електрозадвигване на електромобил (СТЕЗЕМ) [1]. Към системата за автоматично регулиране могат да се предявят изисквания обусловени от спецификата на построяване на силовите вериги[1]. Като първоначални управляващи въздействия от водача на ЕМ са приети ъглите  $\theta$  на педалите за управление. Исторически за нуждите на тягата най-често се използва колекторния електрически двигател с последователно възбуждане [2].

Колекторния електрически двигател с последователно възбуждане широко се използва, независимо, че се наблюдава засилено използване на колекторен двигател с независимо възбуждане с помощта на отделен полупроводников преобразувател, или паралелно такова. Това не дава съществена разлика в цената, размерите, масата и КПД.

Най радикалният път за повишаване надеждността, ресурса, КПД, намаляване на габаритите, масата и цената, а също така за подобряване общите характеристики на тяговия електрически двигател(ТЕД) се явява прехода към безконтактни ЕМ. Всички последни разработки на ЕМ имат електрозадвигване на базата на асинхронни, синхронни ЕД с високи скорости на въртене на ротора (до 16000 об/мин) [1].

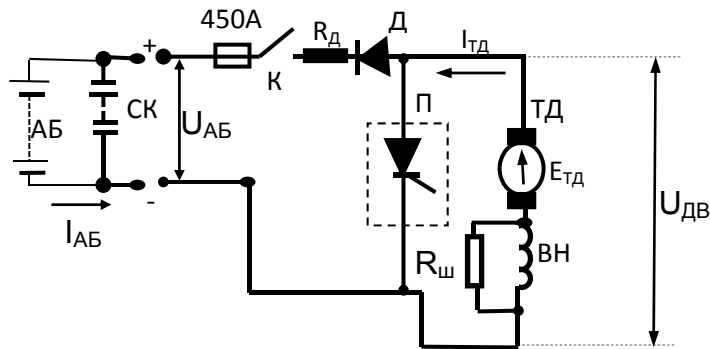


Фиг.1. Структурна с-ма на СТЕЗЕМ с химически източници на ток, задвижван от ЕТД куплиран към скоростната кутия на движещите колела

Наличието в силовата верига на СТЕЗЕМ [1], на вентилен преобразувател (ВП) усложнява съгласуването на параметрите и характеристиките на ТЕД от задвижването на движещите колела (ЗДК) със съответните параметри и характеристики на енергийна установка (ЕУ). Важно е да се определи степента на влияние на комутационните процеси предизвикани от работата на ВП, върху енергетичните показатели на СТЕЗЕМ (на първо място на изчислената мощност на ЕУ, коефициента на мощност на преобразувания товар, КПД и механичната характеристика на ТЕД). В системите с автономна енергийна установка (АЕУ) особено за хибридна енергийна установка (ХЕМ) най-голямо разпространение са получили електрохимичните източници: киселинни, основни, литиево-полимерни, по рядко се използват установки с механични акумулатори на енергия-ИА (инерционни акумулатори свързани с електрически генератор). В СТЕЗЕМ с АБ регулаторът на енергийната установка (РЕУ) осъществява функцията на превключвател на схемата на свързване на АБ. Двигателите с последователно възбуждане имат меки характеристики и затова се използват при тежките условия на пуск и резките изменения на натоварването. Освен това при колебание на захранващото напрежение при двигателите за постоянен ток (ДПТ) с последователно възбуждане не се изменят пусковите характеристики. ДПТ притежават и добри регулировъчни свойства. Ограничението по максимален ток е свързано с мощността на захранващия източник- акумулаторна батерия (АБ) и супер кондензатори (СК) израз 1.1. Особеност на ДПТ с последователно възбуждане се явява изменението на възбудителния ток при изменение на товара. В практиката са получени приложения три схеми на включване на двигателите с последователно възбуждане. На фигура 2 котвения ток се явява и ток на възбуждането. Затова магнитния поток  $\Phi = K_{\Phi} \cdot I_a$ .

Коефициентът  $K_{\Phi}$  при малки натоварвания е постоянна величина, а при големи се изменя вследствие на насищането на магнитната верига. Тъй като потокът на двигателя с последователно възбуждане при големи котвени токове нараства той се отличава с добри пускови свойства. Котвеният ток на двигателите с последователно възбуждане е  $I_a = \sqrt{\frac{M}{k_M}}$  и при изменение на съпротивителния момент в широки граници, консумираната от тях мощност се изменя в тесни граници в сравнение с

другите електрически тягови двигатели. Затова за тези тягови двигатели са малко опасни претоварванията по момент.



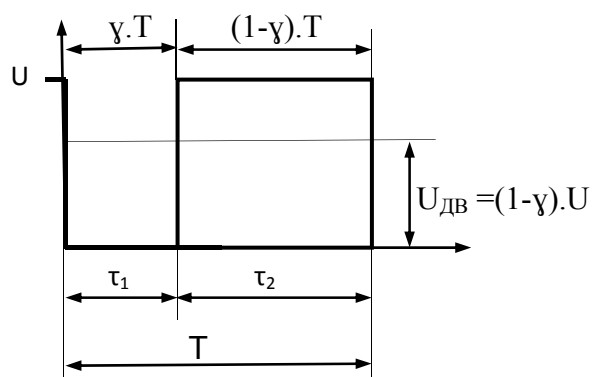
**Фиг.2** Принципна схема за рекуперативно спиране с добавъчно съпротивление

$$(1.1) \quad \frac{[(C \cdot \Phi \cdot v)_{max} - I_{ДВ} \cdot r]}{(1 - \gamma)} - I \cdot R < U_{АБ}$$

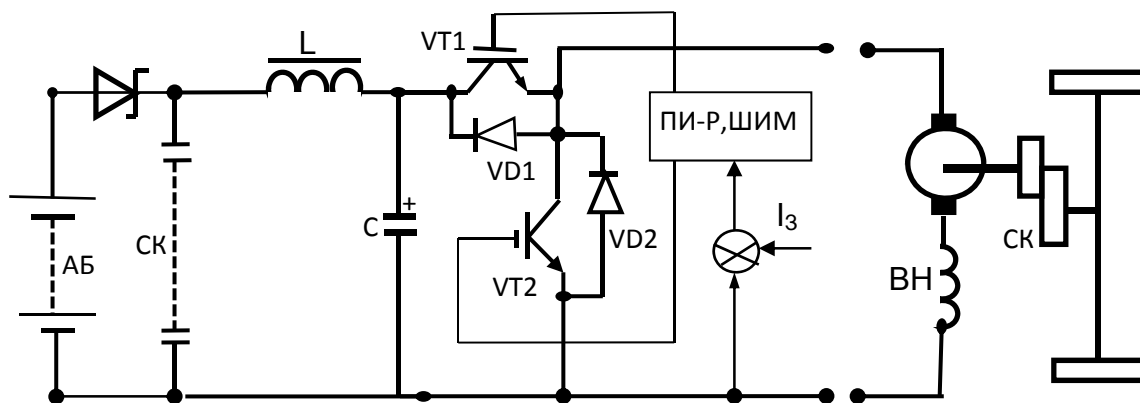
където  $r$  е съпротивлението на котвената верига на тяговия двигател (ТД),  
 $(C \cdot \Phi \cdot v)$  – най голямото е д н на ТД,  
 $I_{АБ}$  – ток на акумулаторната батерия (АБ),  
 $U_{АБ}$  – напрежение на АБ.

Отчитайки, че  $I = I_{ДВ} \cdot (1 - \gamma)$  уравнение 1.1 може да се запише в следния вид

$$(1.2) \quad [(C \cdot \Phi \cdot v)_{max} - I_{ДВ} \cdot r] - I_{ДВ} \cdot R \cdot (1 - \gamma)^2 < U \cdot (1 - \gamma)$$



**Фиг.3**



Фиг.4 Силова схема на задвижването

При ЕМ ТЕД трябва да имат добри динамически качества, а това значи малък инерционен момент-  $J$ , малко съпротивление на котвените вериги –  $r_a$ , и малка ъглова скорост -  $\Omega_0$ . При рекуперативно спиране двигателят преминава в генераторен режим и енергията се връща в АБ. Импулсното управление позволява да се осъществи плавно регулиране на скоростта не само в тягов режим, но и при електрическо спиране. Процеса на електрическо спиране е съществено различен при импулсно и контакторно-реостатно управление. Импулсното управление позволява да се осъществи рекуперация, даже ако едс е по-малка от напрежението на АБ. Средното напрежение на тяговия двигател, работещ в генераторен режим в съответствие с диаграмата от фиг.3 е

$$(1.3) \quad U = \frac{1}{T} \int_0^T u_c dt = U_{AB} \left(1 - \frac{\tau_1}{T}\right)$$

Приемайки, че както и в тягов режим  $U_{AB} \cdot I_{AB} = U_{дв} \cdot I_{дв}$  за средния ток на ПТД ще получим:

$$(1.4) \quad I_{ТД} = I_{AB} \cdot T / (T - \tau_1)$$

където  $I_{AB}$  е средната стойност на тока връщан при рекуперация в АБ.

Както се вижда от израз 1.2 спирачната сила и скоростта при импулсно управление се осъществява чрез изменение на отношението  $\tau_{1/T}$ .

Силите действащи при движение на ЕМ определяме с изразите:

$$(1.5) \quad F = m \cdot g(f_y + w_0), kN$$

където  $m$  е масата на ЕМ- бруто,  $t$ ,

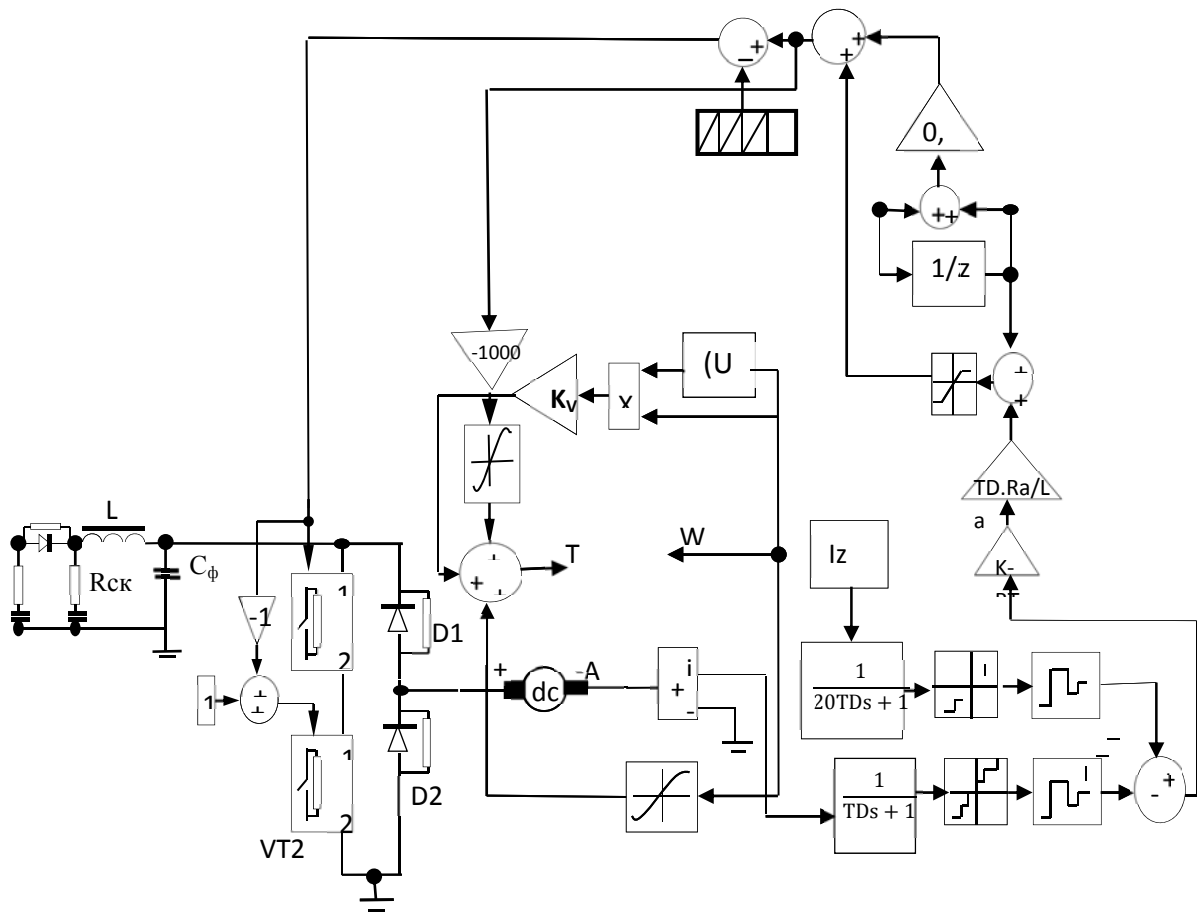
$w_0$ - основното относително съпротивление на движение на ЕМ,  $N/kN$ ,

$f_y$  – относителна ускоряваща сила

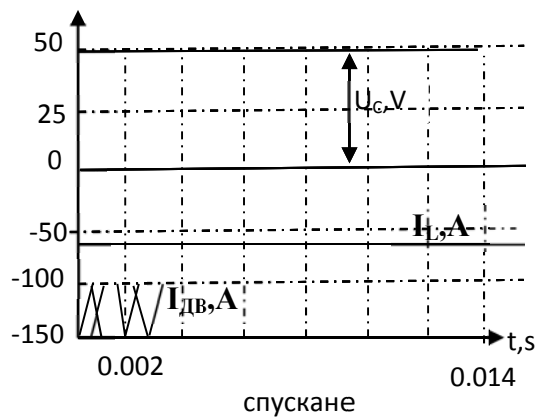
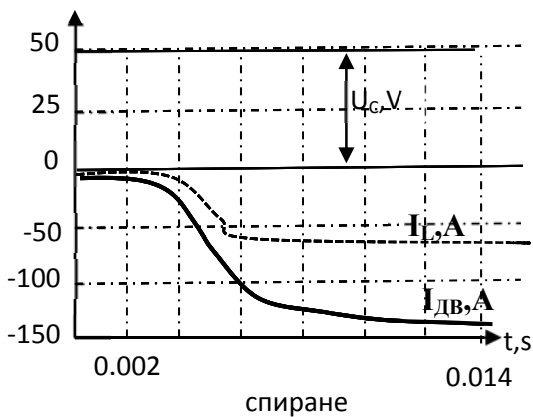
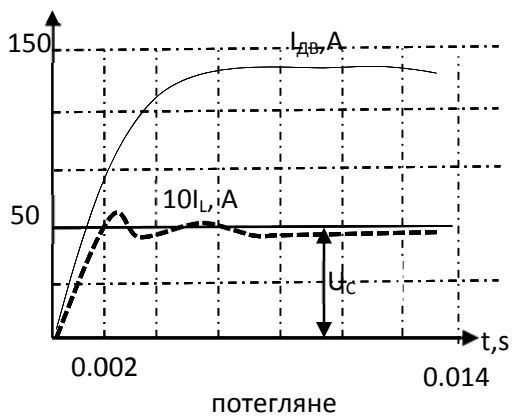
$$(1.6) \quad f_y = (1 + \gamma) \cdot \frac{a_{пус}}{g}$$

където  $a_{пуск}$  е средното пусково ускорение което е в границите  $0,6-1,5 m/s^2$

$$(1.7) \quad w_0 = 0,14 + 0,0016 \cdot v + 0,00004 \cdot v^2 N/kN$$



Фиг.4 Компютърен модел на електрозадвижането на ЕМ (MatLab 7.01 Simulink 6.1)



Характеристики на супер кондензаторите включвани паралелно на акумулаторните батерии захранващи тяговия двигател:

- ресурс 500000 цикъла на заряд разряд
  - срок на експлоатация повече от 10 години
  - капацитет до 20 кJ/kg
  - мощност до 4 kW/kg при КПД 98%
- Maxwell BCAP3000 3000 F 2,7 V 0,29 mΩ 0,49 kg  
Yunasko 1800 F 2,7 V 0,14 mΩ 0,25 kg

Еквивалентни сили действащи на ЕМ в стандартните европейски цикли на движение:  $F_{ECE-15} = 518 \text{ N}$ ,  $F_{EUDC} = 342 \text{ N}$ ,  $F_{NEDC} = 466 \text{ N}$

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1]. **Богданов К.Л.**, Тяговий електропривод автомобиля, МАДИ, Москва 2009.  
[2] **Българанов.Л.**, Електрически транспорт ISBN 954-12-0103-2 София, 2004г.

## **CHEMICAL ENERGY SOURCES FOR TRACTION NEEDS OF ELECTRIC VEHICLES**

**Chavdar Angelov Dzambazky**  
[djambo1951@abv.bg](mailto:djambo1951@abv.bg)

**Todor Kableshkov University of Transport,  
158 Geo Milev Steet., Sofia 1574,  
BULGARIA**

**Key words:** *electric car, storage battery, traction battery, supercapacitors*

**Abstract:** *In our country, according to the Ministry of Natural Resources 42% of the pollution of the environment due to road transport and in - the big cities (Sofia, Plovdiv, Varna to 80-90%). During 2012 the globe have registered 800 million vehicles in 2013 and is expected to increase them twice, ie 1.6 billion, which is why the problem of pollution has become a global every year.*