

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОСТОЯННОТОКОВО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ТИРИСТОРЕН КОМУТАТОР

ИВАН КОСТОВ ИВАНКА ГОГОВА

Резюме. Известно е, че за управление на двигатели за постоянен ток (ДПТ) се използват полупроводникови комутатори с капацитивна комутация. Тези комутатори притежават специфични свойства, зависещи от схемните решения. За тяхната оценка е необходимо да се познават комутационните процеси в равнината $\omega(i_a, u_a)$. В доклада е синтезиран и изследван модел на схемно решение на постояннотоков тиристорен комутатор с капацитивна комутация и съвместната му работа с двигател за постоянен ток за целите на управлението на скоростта и момента в отворени системи. Анализирани са влиянието на параметри на схемното решение върху качеството на протичащите в задвижването процеси. Целта на изследването е да се подобрят аналитичните възможности на клас комутатори за постояннотокови електрозадвижвания. Получените резултати са приложими в обучението. Крайните резултати са получени в табличен и графичен вид.

1. Въведение

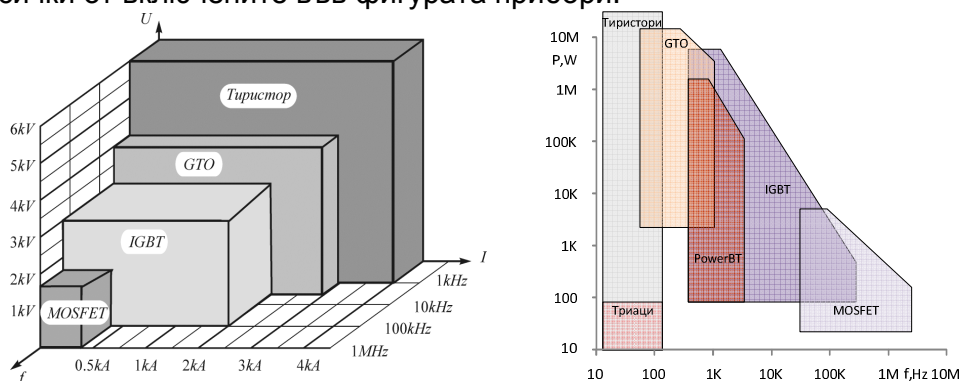
Все по-широкото навлизане на електрониката и електронизацията в бита и промишлеността налага използването на захранващи напрежения с различни параметри – стойност, вид, честота, форма и др. Тъй като първичните източници на електрическа енергия не са в състояние да осигурят такава широка номенклатура от напрежения се налага използването на допълнителни преобразуватели на електрическа енергия.

Схемното съдържание, принципът на действие и анализът на електромагнитните процеси в полупроводникови преобразуватели на електрическа енергия са обект на изследване в настоящия доклад. Обхванати са някои въпроси [1,3] на електрическото оразмеряване на силовите постояннотокови тиристорни комутатори (ПТК).

Наличието на мощни програмни продукти за моделиране и симулиране, напр. MATLAB дава възможност за точна и адекватна симулация на процесите в модерните електрозадвижвания при изключително малък разход на време за изграждане на моделите.

Главно внимание е отделено на моделирането на постояннотоково електрозадвижване с независима капацитивна комутация и управление с широчинно-импулсна модулация.

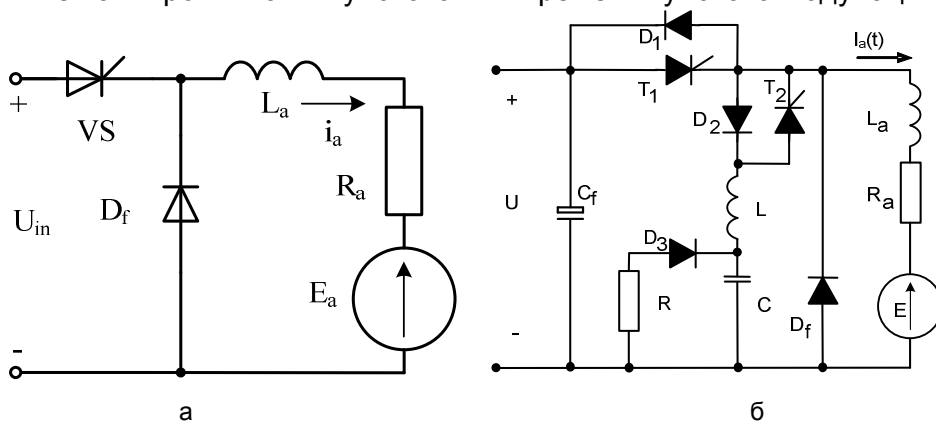
На фиг.1 е показано приложението на повечето от използваните в преобразувателните устройства прибори [6]. Трябва да се отбележи, че непрекъснатото усъвършенстване на параметрите на приборите води до разширяване на областите на изброените параметри за почти всички от включените във фигурата прибори.



Фиг.1. Основни параметри на най-разпространените полупроводникови ключове.

2. Принцип на действие на постояннотоковите тиристорни комутатори

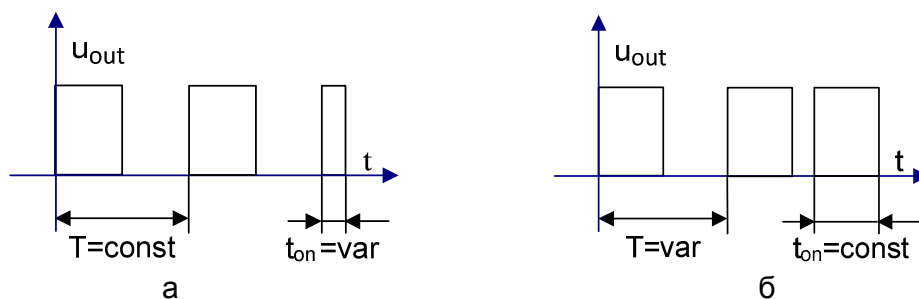
Постояннотоковите комутатори са устройства, предназначени да регулират постояннотоковата енергия на захранващия токоизточник по начините на широчинно-импулсната или времеимпулсната модулация.



Фиг.2. Обобщена схема на постояннотоково електрозадвижване (а) с тиристорен ключ и постояннотоков тиристорен комутатор (б).

На фиг.2 е показана схемата на постояннотоков тиристорен комутатор (ПТК), в който е използван тиристорен ключ [2]. Обикновено товарът в такива системи има активно-индуктивен характер, поради което е необходимо използването на обратен диод D_f , през който се

затваря товарният ток през време на паузата. Ако се предположи, че тиристорният ключ е идеален, при включен комутатор върху товара ще се подава напрежението U_{in} , а при изключен напрежението върху товара ще бъде равно на нула. В зависимост от продължителността на включеното и изключеното състояние на ключа средната стойност на напрежението може да се изменя от някаква максимална до минимална стойност. На фиг.3 са показани два възможни начина за регулиране на напрежението върху ДПТ [2,6].



Фиг.3. Широчинно-импулсно (а) и време-импулсно (б) регулиране на напрежението.

При първия (фиг.3а) постоянен е периодът на работата на ключа ($T=\text{const}$), а се изменя продължителностите на импулса (t_{on}) и на паузата (t_{off}). Този начин на регулиране е много разпространен в преобразувателната техника и се нарича широчинно-импулсна модулация (ШИМ). Във втория случай (фиг.3б) постоянен е t_{on} , а с изменението на T се постига регулиране на напрежението. Този способ се нарича време-импулсна модулация (ВИМ). Ролята на ключ в тези преобразуватели се изпълнява от тиристорните комутатори на постоянен ток. Като се има предвид мястото на тези комутатори в преобразувателите биха могли да се отбележат някои специфични изисквания към използваните в тях тиристори:

1. Ако използваният в основната верига тиристор е двуоперационен, то особени трудности при прекъсване на тока през него не могат да възникнат, тъй като той се запушва чрез сигнал от схемата за управление.

2. Използването на обикновени тиристори изисква специални комутиращи вериги, които да запушват тиристорите в необходимите времеви моменти. При това енергията за комутация може да се взема от външен токоизточник или от захранващия токоизточник.

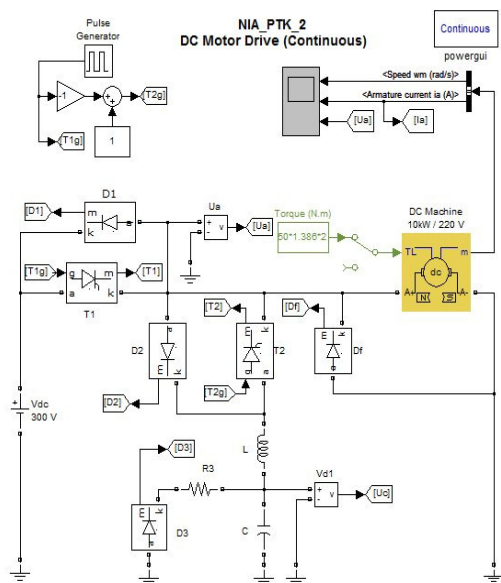
Голямото разнообразие от постояннотокови тиристорни комутатори се основава на голямото различие в комутиращите вериги [5]. Обикновено тези вериги се състоят от кондензатор, дросел, диод и комутиращ тиристор. Комутиращият тиристор е спомагателен

превключващ елемент в схемите, откъдето те носят и наименованието схеми със спомагателна комутация.

Постояннотоковите комутатори са намерили широко разпространение в практиката за управление на постояннотокови двигатели чрез регулиране на средната стойност на напрежението върху ДПТ.

3. Модел и симулационни експерименти

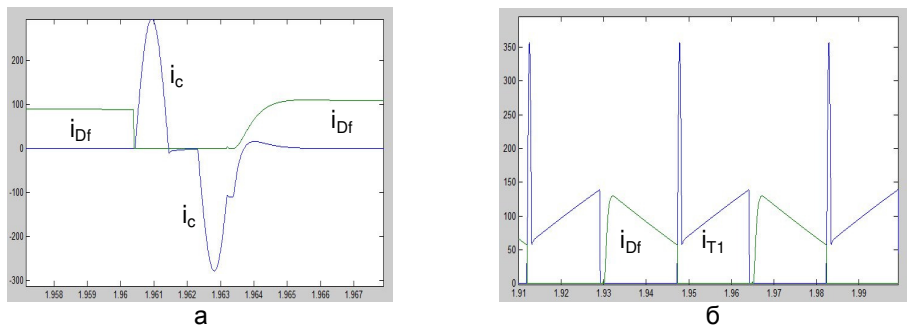
На основата на схемата от фиг.2б [3] е създаден симулационен модел на система постояннотоков тиристорен комутатор - двигател за постоянен ток с независимо възбуждане, показан на фиг.4. Моделирането е извършено в средата Simulink и SimPowerSystems на MATLAB. Симулирането използва имитационни модели, много близки до физическата реализация на преобразувателя и двигателя. Схемата на модела съдържа същите елементи, които съдържа и електрозадвижването, показано в раздел 2.



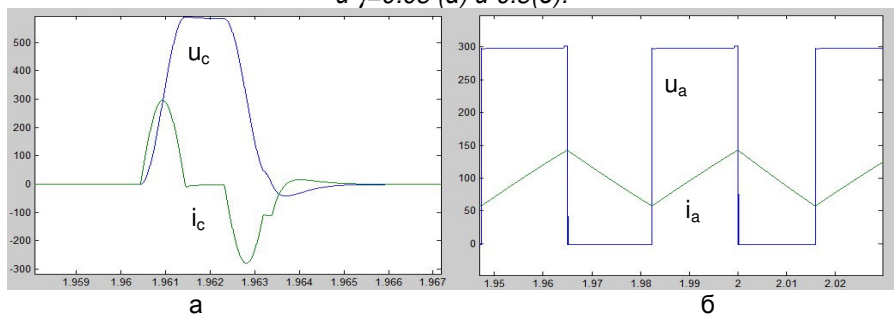
Фиг.4. Структура на модела на електрозадвижването.

На фиг.5 са показани бързите комутационни процеси на преобразувателя, така както са показани в [3]. Димензиите на величините, показани на фигурите съответства на основните в система SI. На фиг.6 е показана формата на котвеното напрежение и котвения ток на двигателя за режим на непрекъснат ток при два пъти по-голям ток от номиналния. За средна стойност на котвения ток $I_a = 100A = 2I_{anom}$ в таблицата са показани ефективните (RMS) и средните стойности (AV) на токовете през елементите за три различни коефициента на запълване на импулсите $\gamma = 0.05, 0.5$ и 0.95 [4].

От нея се вижда, че най-големи стойности на токовете натоварвания (затъмнените клетки в таблицата) в различните елементи на преобразувателя се получават при различни стойности на коефициента на запълване на импулсите.



Фиг.5. Форма на токовете i_c , i_{Df} (а) и i_{Df} , i_{T1} (б) при средна стойност на тока $I_a=100A$ и $\gamma=0.05$ (а) и 0.5(б).



Фиг.6. Форма на i_c , u_c (а), u_a , i_a (б) за средна стойност на тока $I_a=100A$ и $\gamma=0.05$ (а) и 0.5 (б).

Средни и ефективни стойности на токовете [A] в елементите на електрозадвигването при $I_a=100A$ и различни γ .

Елемент	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.95$
	I_{RMS}/I_{AV}		
T2	37.14/7.67	38.24/8.23	37.85/7.24
Df	94.4/90.12	66.15/43.8	4.75/0.57
D3	10.55/1.98	13.34/2.52	8.78/1.28
T1	54.35/10.69	86.22/55.41	114.5/101.1
C	50.7/11.36	50.78/11.23	52.71/11.94
L	51.8/1.98	52.63/2.52	53.53/1.28
R	10.63/1.98	13.45/2.52	8.86/1.28
D1	18.5/2.5	13.88/1.78	20.5/2.82
D2	36.36/5.68	36.42/5.69	38.1/5.96

4. Заключение

Направените изследвания в доклада позволяват да се предложи една класификация на тези комутатори по признака заряд/презаряд на комутационния кондензатор – със зависим, независим и частично зависим от стойността на комутирания ток на заряд/презаряд.

В доклада е извършено моделиране и количествена оценка на токовете натоварвания по средна и ефективна стойност в конкретен

тиристорен комутатор за целите на проектирането на електрозадвигвания с ДПТ с независимо възбуждане. При моделирането е използвана класическата теория на електрозадвигването и преобразователната техника, не са отчетени процеси като насищане и загуби, различни от електрическите. Използвани са опростени модели на тиристорите и диодите.

Разгледаният постоянен ток тиристорен преобразовател е относително прост и надежден. Комутаторът осигурява висока плавност на регулирането на ъгловата скорост. Към недостатъците на схемата следва да се отнесе невъзможността за работа в режим на прекъснат ток, поради което възможността за регулиране на момента е ограничена в диапазона $M=1-2 M_H$. Разработеният модел може да се използва за обучение по различни дисциплини от областта на електрозадвигването и преобразователната техника, както и за изследователски цели. Той е добра основа за допълнителен анализ - изследване на мощности в електрозадвигването, енергийни показатели като фактор на мощността, коефициент на полезно действие – и синтез на схемотехнически решения на силовата част с подобрени показатели, може да се използва като обект за управление с различни регулатори по ток и/или скорост.

Изходни цифрови данни за изчислителната част: изследван двигател за постоянен ток – номинална мощност-10kW; Номинално напрежение-220V; Възбудително напрежение-220V; Номинален котвен ток $I_{аном}=50A$; Индуктивност на възбудителната намотка-27.65H; Активно съпротивление на възбудителната намотка-220Ω; Индуктивност на котвената намотка-0.013H; Активно съпротивление на котвената намотка-0.22Ω; Номинална ъглова скорост-150.8rad/s; $Z_p=2$; Сумарен инерционен момент на двигателя-0.08321kgm², Напрежение на комутатора $U_{dc}=300V$, Диапазон на регулиране на запазващото напрежение $U - \gamma_{min}=0.05 < U/U_{in} < 0.95 = \gamma_{max}$. $C_s=500nF$; $R_s=62.5\Omega$.

5. Литература

1. **Костов И.**, Г. Даскалов, Проектиране на полупроводникови електрозадвигвания, ръководство за курсово проектиране (решени примери и задачи), Пловдив 2001, ISBN 954-8779-27-7.
2. **Krishnan R.**, Electric Motor Drives, Modeling, Analysis and Control, Pearson Ed., 2003.
3. **Личев Р.**, Проектиране на полупроводникови електрозадвигвания, 2005г.
4. **Чебовский О.Г.**, Л.Г.Мойсеев, Р.П.Недошивин, Силовые полупроводниковые приборы, Справочник, Энергоатомиздат, Москва, 1985.
5. **Шидловский А.К.**, В. Б. Павлов, Тиристорные преобразователи постоянного напряжения для низковольтного электротранспорта, Киев, Наукова думка, 1982.
6. **Юдов Д.**, В. Вълчев, Преобразователна техника, Технически Университет – Варна, 2005.

Иван Йосифов Костов, доц. д-р; Иванка Христова Гогова, студент
Технически университет – София, филиал Пловдив, Катедра “Системи за управление”
ул. Ц. Дюстобанов №25, 4000 Пловдив, E-mail: ijk@tu-plovdiv.bg, ivankahogova@gmail.com