

Дефинирането на формализирани правила за синтез на устройства, преобразуващи ефективно енергията, е важна и глобално нерешена от инженерната теория задача. Във връзка с това за перспективно и дори неизбежно се счита използването на електрониката в системите за управление на енергийните потоци. Същевременно масово се разработват и електронни системи за директно преобразуване на енергията – *изправители, инвертори, циклоконвертори и т.н.* Основните градивни елементи на този клас електронни устройства са прибори, които консумират незначителни количества енергия, но управляват големи мощности. Преобразуването на енергията е свързано с циклично редуване на интервали, характеризиращи се с относително постоянство на параметрите на активните елементи (транзистори, тиристоры, диоди и т.н.). Тези интервали ще наричаме *основни състояния* на схемата, а съвкупността от тях – *основни (енергопреобразуващи) процеси*. Преминаването от едно в друго основно състояние изисква промяна в параметрите на активните елементи (АЕ) и в общия случай се предизвиква от системата за управление (СУ). То става за краен интервал от време и в зависимост от типа на АЕ (едно- или двуоперационни) може да се съпътства от *междинни състояния*.

Интервалите на промяна в параметрите на АЕ и евентуалните междинни състояния могат да се обединят въз основа на факта, че не участват съществено в преобразуването – енергия на източника в енергия на консуматора – *комутационни процеси*.

Пренебрегването на състоянията, които нямат отношение към основното предназначение на преобразувателя позволява обобщено представяне чрез подходяща системна функция. Това представяне отразява в чист вид абстрактните свойства на системата и ще бъде наричано *функционален модел*. Синтезът на този модел задължително се предхожда от изследване чрез модели, основани на физически носители – *физически модели*.

Прилагането на двете категории модели цели облекчаване на задачата за синтез на ефективен преобразовател, която е трудно решима със средствата на физическото макетиране. "Потребителят на модели" обикновено е пряко ангажиран с проектирането и очаква да

получи за кратко време достоверна помощна информация. Съедновременно той рядко бива сведущ в детайлите на моделирането що се отнася до йерархично ниво, точност, икономичност, адекватност и пр. характеристики на модела. Отсъствието на посредник между създателя и потребителя на модели е основен източник на грешки при избора на инструмент за симулативно изследване и тълкуванието на резултатите. Цел на настоящата работа е посочването на някои рискове при подбор на модел и формулиране на препоръки относно оптималното съчетаване на типа на задачата и типа на модела.

За тази цел чрез подходящи симулативни експерименти са изследвани дефинираните категории процеси в три типични преобразователни схеми (фиг.1). Използвани са три средства за анализ с различно ниво на идеализиране на компонентите :

\*Симулатор на преобразователни схеми (СПС) – характеризира се с междинна степен на идеализация, базирана върху общоприети допускания : по части линеаризирани характеристики, , отчитане на статичните загуби в п.п. прибори, безинерционност. Функционира на ниво интерпретатор [1].

\*P Spice – детайлизирани спрямо СПС модели, отчитане на нелинейни свойства и динамични характеристики [2].

\*PSI – програмен пакет, съдържащ набор от блокове, чрез които се реализират над 50 типа функционални преобразувания [3]. За разлика от другите средства този пакет не съдържа базов набор от модели на основните физически носители в силовите преобразователи.

I. Физическо моделиране на енергопреобразуващи процеси  
На сравнително изследване в СПС и PSpice бяха подложени процесите в източниците и товарните клонове на схемите от фиг.1 за идентични стойности на пасивните компоненти и управляващите сигнали. Съпоставката на резултатите показва съвпадение в степен, която не се нуждае от илюстриране. Що се отнася до изчислителното време, което при равни други показатели е определящо за избора на модел, би следвало да се направи разграничение между тиристорни и транзисторни преобразователи. При първата група съществено преимущество има СПС. Изследването на Сх.3 даде идентични и от гледна точка на симулационното време резултати. Едно от възможните обяснения на тази разлика е свързано с факта, че както в реалния тиристор, така и в неговия PSpice-модел е заложен механизъм на вътрешна положителна обратна връзка. Вероятно това влошава сходимостта на изчислителния процес и ограничава симулационната

стъпка. Като се вземат предвид изложените факти и се отчете, че СПС работи през интерпретатор, може да се заключи, че представянето чрез максимално упростени линейни и безинерционни модели в най-голяма степен съответства на задачата за изследване основните състояния на схемата.

## II. Моделиране на комутационните процеси

### 1. Процеси в пасивните компоненти

На фиг.2а,б са представени заснети в СПС и PSpice времедиаграми на напрежението върху демпферния кондензатор Cf1 (Сх.1) около момента на отпушване на VS2. Съпоставката свидетелства за значително несъответствие в амплитудата, честотата и продължителността на преходния процес.

На фиг.3а,б в същия ред на средствата са представени времедиаграмите на тока в комутиращия контур на Сх.2 за един период. Тези времедиаграми са практически идентични.

Съпоставката на двата примера очевидно води до противоречиви заключения. В първия случай резултатът е дискуссионен. Използването на едното или другото средство (ниво на детайлизиране) би довело потребителя до предприемане на твърде различни от схемотехническа гледна точка действия. Поради това в случая има приоритет въпросът за адекватността (нелинеен динамичен модел), а не за икономичността (линеен безинерционен модел) на представянето. Във втория случай процесите са идентични и това дава основание да се предпочете СПС-представяне.

В обобщение на изложените симулативни резултати ще отбележим, че за избора на модел при анализ на разгледаните в този раздел процеси не могат да се дадат еднозначни препоръки. Ще подчертаем само, че несъответствието в интерпретацията при първия пример произтича от сходната динамика на процесите в пасивните компоненти и в п.п. прибори.

### 2. Процеси в п.п. прибори

По дефиниция тази група процеси могат да се анализират само чрез динамични модели. В този смисъл PSpice няма алтернатива сред съпоставяните тук средства. На изследване бяха подложени процесите на изключване на тиристор VS1 за честота на управляващия сигнал в Сх.1 и стойности на Lk, Ck в Сх.2, при които се обезпечава време на възстановяване  $t=5\mu s$  (при каталожно  $t_q=15\mu s$  за моделирания тиристор GEC135M). В първия случай симулацията отрази очакваното неуправляемо отпушване, а във втория тиристорът комутира успешно.

Резултатите от двата примера не се поддават на съвместен коментар. Те могат да бъдат разгледани само като указание за необходимостта от предпазливо боравене с нелинейните динамични модели, в които стремежът към точна, но обемна количествена оценка, може да доведе до съществени грешки в качеството на интерпретацията.

### III. Функционално моделиране

Добитата със средствата на физическото моделиране информация относно състоянията на електронния преобразувател позволява той да бъде представен по отношение на изходните си клеми чрез еквивалентен функционален генератор. Това представяне по естествен начин се съгласува с последната задача на проектирането – синтеза на СУ. С помощта на модел на физическо ниво за Сх.3 е констатирана показаната на фиг.4 форма на напрежението и тока на вторичната намотка. От графиката може да се заключи, че в рамките на всеки полупериод има три участъка в кривата на изходното напрежение :

- \* интервал на работа на транзистор – вторичното напрежение е например положително и приблизително равно на захранващото

- \* интервал, ограничен между момента на изключване на транзистора и прехода на вторичния ток през нулата. Вторичното напрежение има приблизително същата стойност и обратна полярност

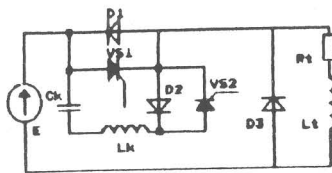
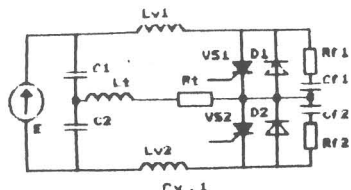
- \* интервал между прехода на вторичния ток през нулата и включването на втория транзистор – напрежението отново е положително.

Тази форма е функционално еквивалентирана в PSI и приложена към изходната верига. Еремедиаграмите от фиг.5 свидетелстват за идентична реакция на товарния двуполусник. Те са аргумент в полза на идеята, функционалният модел да замести успешно сложната топология на инвертора при синтеза на СУ.

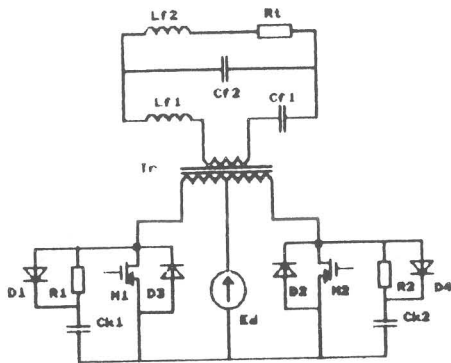
Въз основа на изложените факти може да се заключи, че не съществуват единствен моделен подход и средство, които рационално могат да обезпечат решаването на пълната задача за проектиране на силов електронен преобразувател. Както синтезът, така и моделирането представляват итеративен процес, чиито етапи изискват специфичен, гъвкав и проблемно ориентиран подход.

#### *Използвана литература :*

1. Симулатор на Преобразователни Схеми, Гъководство за потребителя
2. The J3SCR Model Applied to Resonant Converter Simulation – Roger L. Avant, Fredc Y. Lee, IEEE, 1985
3. PSI Manual, BOZA Automatisering, 1987

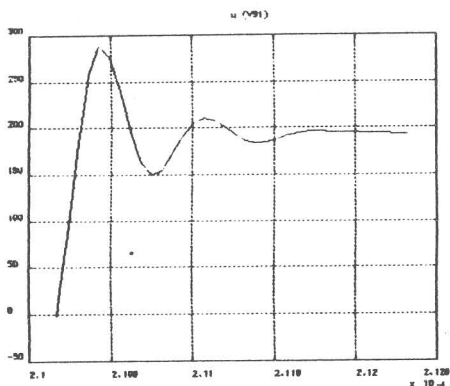


Cx. 2

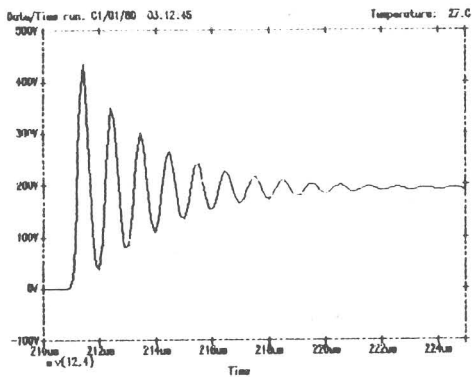


Cx. 3

Фиг. 1

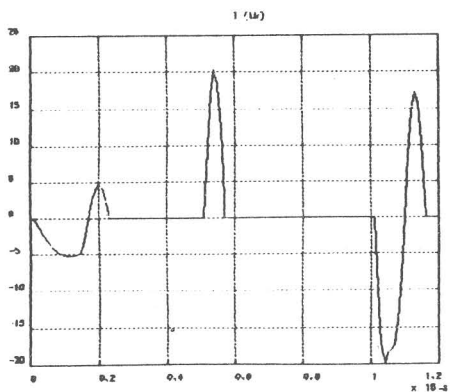


a)

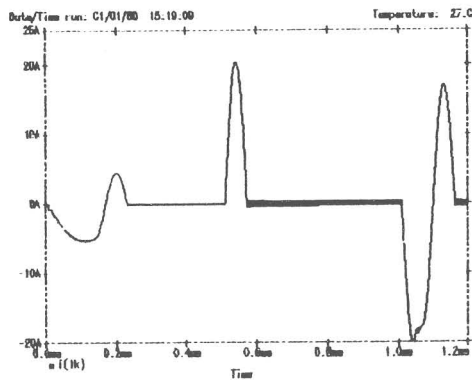


б)

Фиг. 2



a)

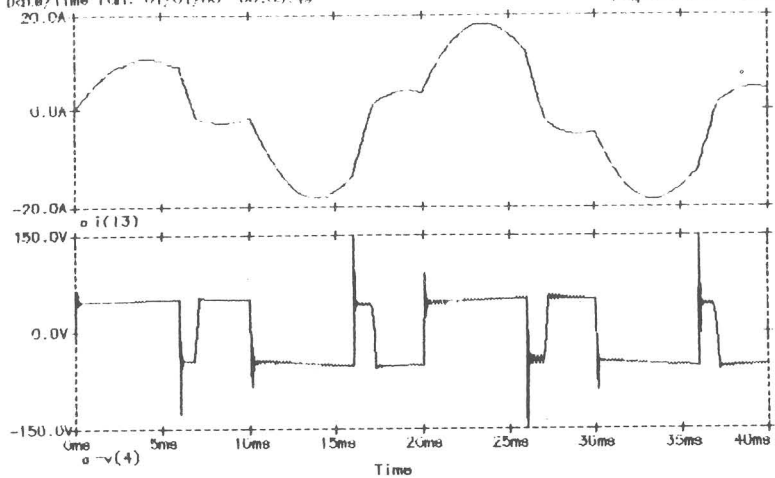


б)

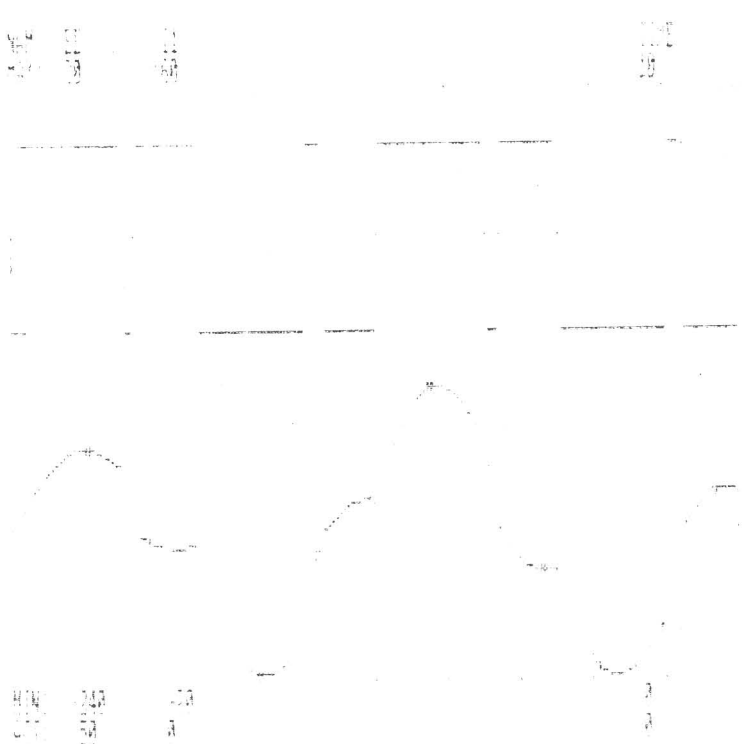
Фиг. 3

Date/Time run: 01/01/80 00:03:49

Temperature: 27.0



Фиг. 4



Фиг. 5