НАТРУПВАНИЯ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛНИЯ ИНВЕРТОР

Х.Хинов , Ст.Кехаякосева , Г.Георгиев

Последователният инвертор-фиг. 1, е типичен преобразовател на постояннотокова енергия и характерен модел за развитието на електро-магнитния процес при симетричните вентилни схеми [1] ,дискретно превключвани с полупериод-Т/2.

Настоящото доказва закона за натрупване на енергията в реактивните елементи през преходният процес и на тази база открива възможност за директно третиране на установения режим,което е нов подход за този клас нелинейни схеми.

Използва се метода на фазовото пространство,което в случея е равнина.Така реакцията на обекта се отразява в комплексната равнина-фиг.2 с реална ос,по която е нанесено кондензаторното напрежение- U ,отнесено към напрежението на източника Е и бездименсионният ток,нанесен по имагенерната ос: $u = U/E$; $ji = \frac{I}{\frac{E}{\omega L}}$,

кадето: $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ -е ъгловата скорост.Използвасе също затихването $\delta = R/2L$, в неговия относителен вид $\Delta = \delta/\omega$.

След включване на първата двойка тиристори започва развитието на първия полупериод /IП/,който при нулеви начални условия отразява принудените колебания в обекта.

Интерпретирайки познатите диференциални връзки между параметрите на схемата,фазовата траектория / ФТ / на електро-магнитния процес ще бъде логаритмична спирала, започваща от началото $(0,0)$ и с център на въртене $(-1,0)$ -фиг. 2.

Спиралата се изразява съответно от параметричните уравнения:

$$\begin{cases} u = -1 + e^{-\Delta\vartheta}\cos\vartheta \\ i = e^{-\Delta\vartheta}\sin\vartheta \end{cases}$$

или от комплексното си уравнение:

$$(1)\ldots \qquad \dot{\Phi}_1(\vartheta) = -1 + e^{(-\Delta + j)\vartheta}$$

Като параметър е използван ъгъл $-\vartheta$, на радиус вектора описващ ФТ. Той е пропорционален на времето $\vartheta = \omega t$ и ограничен от максималният ъгъл в ПП: $\theta = \omega \frac{T}{2}$; $0 \leq \vartheta \leq \theta$.

Само експоненциалната част на 1 изразява радиус вектора на спиралата, който в края на ПП достига до граничната константа:

$$(2)\ldots \qquad \dot{g} = e^{(-\Delta + j)\theta}$$

ФТ-(1) достига до крайната си точка:

$$(3)\ldots \qquad \dot{\Phi}_1 = -1 + \dot{g}$$

След завършване на първият ПП в инвертора се извършва комутация [1]. Без да навлезаме в подробностите на комутационният процес той се свежда до запушването на първата двойка тиристори и отпушването на втората двойка тиристори. Това формално може да се представи, като моментно „обръщане" на участъка от схемата спрямо останалата част от схемата-Фиг.3. Тогава токът и обърнатото - комутирано кондензаторно напрежение могат да бъдат изразени с помощта на комплексно спрегнато на (3):

$$(4)\ldots \qquad \bar{\Phi}_1 = 1 - \bar{g}$$

Така резултата от първият ПП-(3), съответно преобразуван от комутацията става начално условие за втория ПП-(4).

Фазовата траектория на втория ПП ще бъде също такава спирала, както първия ПП-(1), с начало в точка (4) и със същия център $(-1, 0)$:

$$(5)\ldots \qquad \dot{\Phi}_2(\vartheta) = -1 + (1 + \bar{\Phi}_1) \cdot e^{(-\Delta + j)\vartheta}$$

Подобно на (2), за края на втория ПП ще се получи:

$$(6)\ldots \qquad \dot{\Phi}_2 = -1 + 2\dot{g} - \dot{g}\bar{g}$$

Последното събираемо $\dot{\varsigma}\bar{\varsigma}$ е реална константа, равна на квадрата на модула на $\dot{\varsigma}$: $\dot{\varsigma}\bar{\varsigma} = |\dot{\varsigma}|^2 = \varsigma^2$.

В резултат на комутацията (6) ще се видоизмени в:

$$\bar{\Phi}_2 = 1 - 2\bar{\varsigma} + \varsigma^2$$

Този резултат може да бъде обобщен за произволен номер на полупериода, който ще има фазова траектория в начална точка:

(7)... $$\bar{\Phi}_n = 1 - 2\bar{\varsigma} + 2\varsigma^2 - 2\varsigma^2\bar{\varsigma} + \dots + \varsigma^n$$

Така уравнението на ФТ на третия ПП ще бъде подобно на (5):

$$\dot{\Phi}_3(\vartheta) = -1 + (1 + \bar{\Phi}_2)e^{(-\Delta + j)\vartheta}$$

а общо за произволно „n" уравненията на ФТ ще има вида:

(8)... $$\dot{\Phi}_n(\vartheta) = -1 + (1 + \bar{\Phi}_{n-1})e^{(-\Delta + j)\vartheta}$$

Крайната точка на ФТ за трети ПП ще бъде:

(9)... $$\dot{\Phi}_3 = -1 + 2\dot{\varsigma} - 2\varsigma^2 + \dot{\varsigma}\varsigma^2$$

Използвайки метода на пълната математическа индукция за крайното значение на четвърти ПП ще имаме съответно:

(10)... $$\dot{\Phi}_4 = -1 + 2\dot{\varsigma} - 2\varsigma^2 + \dot{\varsigma}\varsigma^2 - \varsigma^4$$

Сравнявайки (3),(6),(9)и(10), могат да бъдат забелязани закономерностите, които са резултат от цикличното извършване на описаните операции - комутиране и развъртане.

При произволно голямо „n" ще имаме:

(11)... $$\dot{\Phi}_n = -1 + 2\dot{\varsigma} - 2\varsigma^2 + 2\dot{\varsigma}\varsigma^2 - \dots + 2\dot{\varsigma}\varsigma^{n-2} - \varsigma^n$$

Равенства(7),(8) и (11) са коректни за четен ПП, но не е трудно да се опише и при нечетно„n". Изваждайки общите множители от (11) , се получава:

(12)... $$\dot{\Phi}_n - 1 = 2(\dot{\varsigma} - 1)(1 + \varsigma^2 + \varsigma^4 + \varsigma^6 + \dots + \varsigma^n)$$

При безкрайно нарастване на „n", множителя в последните скоби се класифицира като познатата геометрична прогресия. Имайки в предвид (2), не е трудно да се докаже, че прогресията е намаляща, чиято граница директно ще дефинира установен режим на инвертора: $\lim\limits_{n\to\infty} \dot{\Phi}_n = \dot{\Phi}$

$$(13)\ldots \qquad \dot{\Phi} = 1 - 2\,\frac{1-\dot{g}}{1-\dot{g}^2}$$

Това е търсената граница на ФТ на обекта. Несложната структура на (13) показва, че много лесно може да се достигне директно до установен режим. Прилага се единствено граничен преход, вместо „обхождането" на преходният процес.

Парцеалните суми в последователните полупериоди (3), (6), (9), (10) изразяват натрупванията на енергия в ПП. Това геометрично лесно може да интерпретира, като събираемите от (3), (6), (9), (10) и т.н., са изразени на фиг. 4, чрез отсечки. Четните степени на $\dot{g}$ са реални и отрицателни числа, а нечетните са комплексни числа и ориентирани по посока на $\dot{g}$-(2). Така се получава ограничена, стълбовидна начупена линия, като съответните парцеални суми са в средата на всяка отсечка. Намаляването на отсечките с увеличаването на степента им навежда на мисълта за сходимост на процеса.

Установеният режим също може директно да бъде интерпретиран геометрически. За целта (13) се представя във вида:

$$(14)\ldots \qquad \dot{\Phi} = 1 + \frac{2}{1-\dot{g}^2}\,(\dot{g}-1)$$

Така крайното значение при установен режим (14), се намира по лъча определен от комплекса $(\dot{g}-1)$ и транслиран с +1 и умножен с константата $\dfrac{2}{1-\dot{g}^2}$.

Ако спрямо (13) и (14) се приложи комутационното преобразувание ще получим началното значение на ФТ при установен режим:

$$(15)\ldots \qquad \bar{\Phi} = 2\,\frac{1-\bar{g}}{1-\bar{g}^2} - 1$$

Съответно на направената установка, началните заначения характерни за установен режим ще бъдат компоненти на $\bar{\Phi}$:

$$\left|\begin{array}{l} u = Re(\bar{\Phi}) \\ i = Im(\bar{\Phi}) \end{array}\right.$$

Или в реални дименсии:

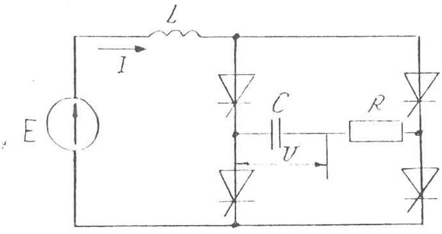
$$\begin{cases} V = E_0 \, Re(\bar{\Phi}) \\ I = \frac{E}{\omega L} Im(\bar{\Phi}) \end{cases}$$

Така посредством горното имаме изчерпателен модел за резултатите от пеходния процес - фиг. 4 и резултата-установения режим-определен директно от (15), респективно от нейните реални и имагинерна съставки.

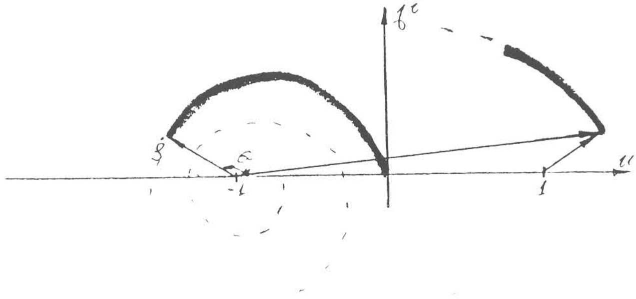
ЛИТЕРАТУРА

1. Ненчев Н. Г. Балеев. Силова електроника. С., Техника, 1979

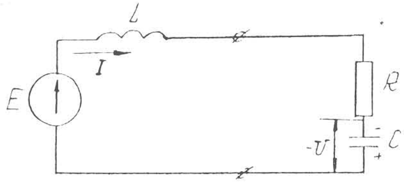
Схеми:



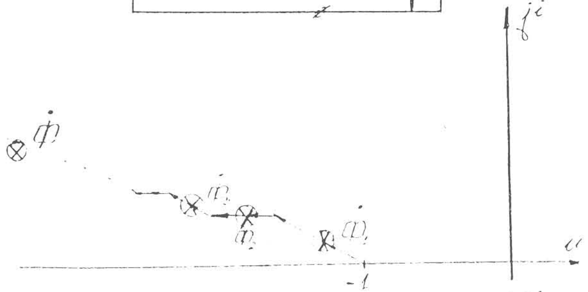
фиг. 1



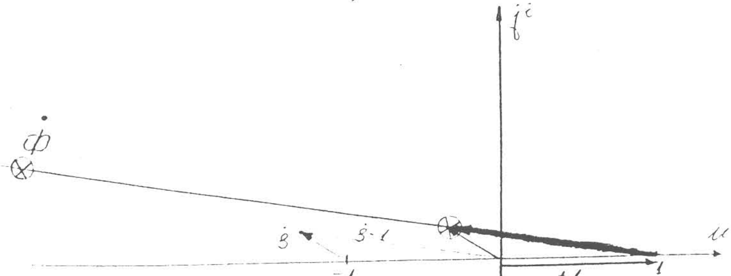
фиг. 2



фиг. 3



фиг. 4



фиг. 5