

Вариативност на факторите при параметричните източници на ток

Георги Рашков, Надежда Евстатиева, Димчо Кирияков

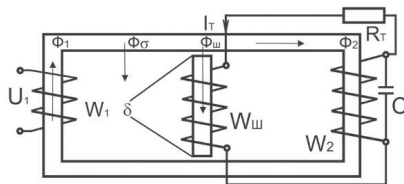
Factor variability of parametric sources of electricity: Full sets of investigations are known to have been made in their basic functional variant, that of electricity stabilisers. Some investigations have been performed on their behaviour in other conditions, like changes in their location, in the parameters of the various elements and in the different ways of connecting them. The present work is aimed at supplementing the research performed so far in order to obtain a coherent picture of the possible modes of operation of the parametric sources and the features they exhibit in these varying modes. Experimental observations have been presented on the more substantial theoretical research. Comparative analyses have also been performed and the resulting conclusions have been fully made.

Key words: Computer Systems and Technologies, Model, Microprogramming Unit for Operation Control.

Въведение

Параметричните източници на ток (съкратено ПИТ) са разновидност на индуктивно-капацитивните стабилизатори (ИКС) на ток[3]. Стабилизируют тока при големи мощности (токове). Принципна схема е показана на фиг.1. Характеризират се с магнитен шунт и намотка (съставлящи задължителния за системата дросел), кондензатор към вторичната намотка и противоположно свързване на намотките (товарна - W_2 и шунтова - $W_{ш}$). Изследвания[1,3] са установили задължителните условия, за стабилизация на ток. Известни са [2,4] и отделни изследвания при отклонения тях. Целта е обобщено изследване на всички отклонения от тези условия.

Изложение. Теоретичните изследвания на ПИТ се водят чрез решаване на електромагнитната верига посредством комплексния метод. Приети са опростяващи допускания (ненаситен магнитопровод, пренебрегнати съпротивления на медта и на магнитопровода), нормални в практиката, позволяващи добра точност.



Фиг1. Принципна схема на ПИТ

На тази основа е съставена системата уравнения (1), съответна на схемата от фиг.1. Тя е базова за всички изследвания тук.

$$\begin{aligned}
 \dot{\Phi}_1 &= \frac{U_1 \sqrt{2}}{j\omega W_1} & \dot{F}_{ш} &= \sqrt{2} I_T W_{ш} \\
 \dot{\Phi}_2 (R_{\mu C} + R_{\mu 2}) + \dot{F}_{m2} &= \dot{\Phi}_\sigma R_{\mu \sigma} & \dot{F}_1 &= \dot{\Phi}_2 (R_{\mu C} + R_{\mu 2}) + \dot{F}_2 \\
 \dot{\Phi}_{ш} (R_{\mu ш} + R_{\mu \delta}) - \dot{F}_{ш} &= \dot{\Phi}_\sigma R_{\mu \sigma} & \dot{\Phi}_1 &= \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_{ш} + \dot{\Phi}_\sigma \\
 \dot{I}_T &= \frac{j\omega}{\sqrt{2} R_T} (W_2 \dot{\Phi}_2 - W_{ш} \dot{\Phi}_{ш}) & \dot{F}_2 &= \sqrt{2} I_T W_2
 \end{aligned} \tag{1}$$

На нейна основа на фиг.2(а) е начертана еквивалентна електромагнитна верига. След решаване на (1) е съставена и опростена електрична верига - фиг.2(б).

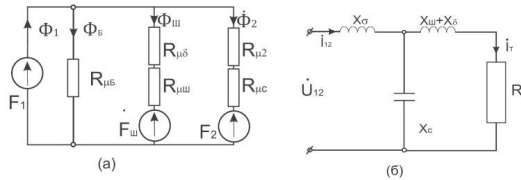
По-нататък при вариране на мястото на кондензатора и на съпосочността на включване на намотките се използва същата основа от схеми и уравнения, като само се правят корекции, наложени от варирането. Те са упоменати за всеки случай.

1. Аналитични изследвания и резултати

1.1. Първа вариация. Основният работен режим на ПИТ съответства изцяло на

схемата от фиг.1. Той е изследван най-пълно [1,3 и мн.др.] и осъществява главната функция - стабилизация на тока. За него, при изпълнено т.н. условие за резонанс:

$$x_{\delta} + x_{uu} + x_{\sigma} = x_c \quad (2)$$



Фиг.2 Еквивалентни магнитна (а) и електрична схеми

се получава израз за товарния ток

$$i_T = \frac{U_1 \cdot W_2}{W_1} \cdot \frac{j}{(m+1)x_{\delta} + x_{\sigma}} \quad (3)$$

Където $m = \sqrt{\frac{X_{\delta} + X_{\sigma}}{X_{\delta}}}$, а по допълнителни критерии [1] се спазва и съотношението $m =$

$$\frac{W_{ш}}{W_2}, \text{ като } X_{\delta} \text{ и } X_{\sigma} \text{ са еквивалентните електрични съпротивления на } R_{\mu\delta} \text{ и } R_{\mu\sigma}$$

1.1.1. Анализ Възможностите за изместване на кондензатора към шунтовата намотка са три [2]. Тъй като няма голяма принципна разлика между тях, тук за съпоставка е приета само тази, съответстваща на фиг.1 – свързването между шунтовата и вторичната намотки се запазва, само кондензаторът се премества към двата извода на $W_{ш}$. Тогава основният израз за тока се получава лесно, като в системата (1) съпротивлението,внесаюно от кондензатора, се прехвърли от уравнения 3 и 5,в уравнение 4.Така решаването на 1,води до следния резултат за товарния ток:

$$i_T = \frac{U_1 R_{\mu\sigma} W_2 (R_{\muш} + \omega W_2^2 C)}{W_1 W_2 [(R_{\muш} + \omega W_2^2 C)(R_T R_{\mu\sigma} + j\omega W_2^2 C) + j\omega W_2^2 R_{\mu\sigma}]} \quad (4)$$

Съпоставка с (3) налага извода,че стойността на тока,при преместване на кондензатора се намалява.А дори и без съпоставяне с (3) е очевидно,че тук стабилизация на тока няма,защото той зависи от R_T . Анализът на (4) показва, че ако

$$R_T \gg \frac{\omega W_2^2}{R_{\mu\sigma}}, \text{ системата е стабилизатор на напрежение,но диапазонът стабилизация е}$$

ограничен. Ограничението се определя от големината на въздушната междина на шунта (респективно магнитното и съпротивление $R_{\mu\delta}$, което е основната съставна част от съпротивлението на шунта $R_{\muш}$). Колкото междината е по-голяма,толкова по-голям е диапазонът на товара, при който има стабилизация на напрежението.

Освен по място на свързване в ПИТ, кондензаторът може да варира и по големина. При основния режим на работа – на стабилизация на тока,големината на кондензатора (x_c) е определяща за получаване на резонансния режим – съгласно (2). Затова тя не бива да се променя самостоятелно и независимо. Възможна е промяна само едновременно и съгласувано с останалите параметри от (2) – въздушна междина, разсеян магнитен поток. Това е един от основните начини за изменение (регулиране) големината на стабилизирания ток,съгласно (3). Изменението на капацитета в останалите варианти (режими) на ПИТ, които се разглеждат тук,влияе количествено на изходните токове и напрежения.Това влияние може да се установи чрез съответните изрази за тока и напрежението.

1.1.2. Експериментална проверка. Проверката на верността е извършена чрез ПИТ с трансформатор с магнитен шунт със следните основни параметри:

$$W_1 = 224$$

$$W_{III} = 50; 34; 40$$

$$W_2 = 35; 30$$

$$C = 90; 110 \mu F$$

$$\delta = 1; 3; 5 \text{ mm.}; \text{ Сечение на магнитопровода } S_{\mu} = 54 \text{ cm}^2$$

Експериментално получените резултати се различават от пресметнатите съгласно изложените изрази с 6 до 11%. Това потвърждава верността на предложените резултати. Различията са от влиянието на активните съпротивления.

Задължително трябва да се отбележи и ролята на капацитета във входящия импеданс на цялата система. Наличието на кондензатор подобрява фактора на мощност $\cos \phi$ на входа, което е благоприятно за мрежата. Това е допълнително качество. За основния режим на работа на ПИТ е доказано [1], че факторът на мощност е близък до 1, или е капацитивен. Това позволява приложения на ПИТ, в които се изисква капацитивен входящ импеданс. Например работа съвместно с асинхронен генератор, без да е нужен отделен кондензатор за самовъзбуждане - получава се автономен източник на ток с определени предимства [5].

Възможно е свързване на кондензатора и към първичната страна на ПИТ. Но и без задълбочаване в аналитични изследвания е ясно, че такова свързване няма да промени принципно електромагнитната картина и системата уравнения (1). Елиминира се само участието на съпротивлението X_{σ} . (на еквивалентната заместваща схема то е последователно с товара) - може да се приеме, че то е добавено към съпротивлението на товара. Затова не участва като отделен параметър в изразите. Така очаквано, изразът за товарния ток се получава:

$$I_T = - \frac{U_2 \cdot W_2}{W_1} \cdot \frac{j}{(m+1)x_{\delta}} \quad (5)$$

А условието за резонанс сега е $X_{\delta} + X_{III} = X_C$

1.2. Втора вариация. Тя произтича от наличието на шунт с намотка. Ролята му се отразяват посредством величините $R_{\mu\delta}$ (X_{δ}) и m - вж. по-горе. При липса на шунт, горните еквивалентни схеми се трансформират както е показано на фиг. 3а и 3б. Това е схема на класически трансформатор, с включен капацитивен товар.

1.2.1. Анализ. Изразът за определяне на товарния ток добива вида:

$$I_T = j \frac{U_2 W_2}{W_1} \cdot \frac{1}{x_{\sigma}} \quad (6)$$

Като условието за резонанс става $X_{\sigma} = X_C$

При шунт без намотка върху него, в (2) се полага $m = 0$. Товарният ток ще бъде:

$$I_T = j \frac{U_2 W_2}{W_1} \cdot \frac{1}{x_{\delta} + x_{\sigma}} \quad (6')$$

Като резонансът се осигурява от условието: $X_{\delta} + X_{\sigma} = X_C$

Анализите на основния вариант на ПИТ и двете вариации (без шунт и с такъв, но без намотка) и сравнението между (2), (6) и (6') дават основните заключения:

1. С премахване на намотката, а след това и на самия шунт, товарният ток е все по-голям. Това се потвърждава и експериментално - вж. Фиг. 4. Стойността на капацитета също нараства. Сравняването на магнитните потоци при наличие на шунт, със и без намотка, показва, че ролята на намотката расте с намаляване на R_T .

2. Сравняването на същите магнитни потоци, води до заключение за нормалното за трансформаторите намаляване на разсейването, при нарастване на товарното съпротивление. Наличието на шунт прави зависимостта по-слабо изразена. Т.е. шунтът играе ролята на демфер при моментни изменения на потоците.

3. Премахването на намотката влошава симетричността на „Т“-образната схема на ПИТ (фиг. 2(б)), а липсата на шунт я превръща в „Г“-образна. Това влошава степента и качествата на индуктивно-капацитивната стабилизация [3].

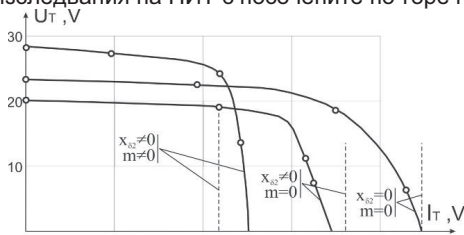
4. Липсата на шунт и води до капацитет,включен директно към товара,което понякога е неприемливо.Например захранване на заваръчна дъга (важна област на приложение на ПИТ) с паралелен кондензатор пречи на нормалното и горене.

5. Получените тук заместващи схеми и изрази за токовете са при приети



Фиг.3 Еквивалентни магнитна (а) и електрична (б) схеми без шунт

идеализирайки допускания за пренебрегване съпротивленията на елементите на ПИТ. Тогава стабилизацията на тока в трите разгледани случая е еднаква. Но в реалните системи има влияние на тези съпротивления.То в известна степен влошава стабилизацията на тока.Наличието на шунтова намотка намалява ролята на тези съпротивления и стабилизацията е по-добра. Това се потвърждава при експерименталните изследвания на ПИТ с посочените по-горе параметри.



Фиг.4 Експериментални (с плътна линия) и изчислени характеристики на ПИТ

1.2.2. Експериментална проверка

На фиг.4 са показани експериментални характеристики за три режима на работа – със шунт и намотка върху него (X_δ и m); със шунт,но без намотка ($m=0$); без шунт ($X_\delta = 0, m = 0$). С прекъснатата линия са показани идеализиращите характеристики за всемки от случаите, получени съответно съгласно (3), (6) и (6'). Разликата между експерименталните и идеализиращите резултати се дължи на влиянието на активните съпротивления на материалите и е приемлива. Очевидна е най-добрата стабилизация в първия случай и най-лоша в третия.

1.3. Трета вариация. Изследванията на основния вариант на ПИТ от Фиг.1 [1] показват, че освен условието за резонанс, основно изискване за стабилизацията на тока е противоположното свързване на вторичната и шунтовата намотки. За да се добие представа за всички възможности и работни режими на системата, е нужно да се обърне внимание и на случая, когато двете намотки са свързани съпосочно. Анализите са отново посредством системата (1), като само в уравнения 3 и 4 се променят съответно знаците пред членовете F_{III} и $W_{III} \cdot \Phi_{III}$

1.3.1. Анализ. Решаването на системата в този случай дава следните резултати за товарния ток:

$$i_T = \frac{j\omega W_2 \Phi_{2m} R_{\mu\sigma} [m(R_{\mu 2} + R_{\mu C}) + R_{III} + R_{\mu\sigma}]}{\sqrt{2R_T [(R_{\mu III} + R_{\mu\delta})(R_{\mu 2} + R_{\mu C}) + R_{\mu\sigma}(R_{\mu III} + R_{\mu\delta} + R_{\mu 2} + R_{\mu C})] + j\omega W_2^2 \sqrt{2} [m(R_{\mu 2} + R_{\mu C}) + R_{III} + R_{\mu\delta}]} \quad (7)$$

При преминаване от магнитни, към електрични величини, съгласно зависимостта:

$$X_{EII} = \frac{j\omega W_2^2}{R_\mu}, \text{ изразът добива вида:}$$

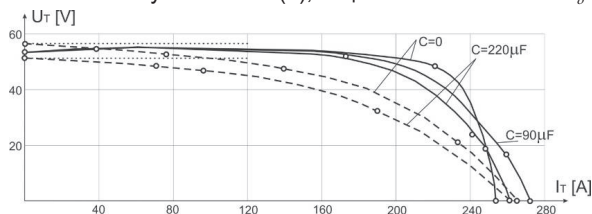
$$i_T = \frac{U_1 W_2 [m(x_2 + x_C) x_{III} x_\delta + x_2 x_C (x_{III} + x_\delta)]}{W_2 [R_T [x_\delta (x_{III} + x_C) (x_2 + x_C) + x_{III} x_\delta (x_2 + x_C) + x_2 x_C (x_{III} + x_\delta)] + x_\delta [m x_{III} x_\delta (x_2 + x_C) + x_2 x_C (x_{III} + x_\delta)]]} \quad (7')$$

Очевидно е, че в общ случай и тук стабилизация на тока липсва. Това потвърждава правилността на изискването за притивопосочно свързване на W_2 и W_{III} за стабилизацията на тока.

Вглеждането в (6) и особено (6') показва, че за определени стойности на параметъра m (в диапазона от 0 до около 2, което е реалното съотношение в практиката при използване на ПИТ), второто събираемо в знаменателя може да се пренебрегне и тогава товарният ток е:

$$i_T = \frac{U_1 W_2}{W_2 R_T [x_\delta (x_{III} + x_C) (x_2 + x_C) + x_{III} x_\delta (x_2 + x_C) + x_2 x_C (x_{III} + x_\delta)]} ; \quad U_T = I_T \cdot R_T \neq f(R_T) \quad (7'')$$

Тогава е ясно, че товарното напрежение U_T е независимо от товара. Т.е системата го стабилизира. При това диапазонът на товарното съпротивление, в който стабилизацията е добра е широк- за товарни съпротивления по-големи от 0,5–1 ома. За разлика от горния случай, когато кондензаторът е свързан към шунтовата намотка – (4). Това лесно се установява (7), защото големината на x_δ е части от ома.



Фиг.5 Експериментални и изчислени характеристики на ПИТ при съпосочно свързване

1.3.2. Експериментална проверка. Проведени са опити върху ПИТ с посочените номинални данни. На фиг.5 са показани графики за различни режими на работа. С плътна линия са експериментално получените характеристики. С прекъсвана линия – тези, изчислени съгласно (7'), а с точкова линия – съгласно (7''). Те потвърждават направените изследвания. Малки разлики между експерименталните и изчислените характеристики се дължат на активните съпротивления на материалите.

Заклучение: За пръв път е направена комплексна оценка на вариациите в схемните решения на ПИТ. Установено е влиянието на елементите върху неговите качества. Теоретичните изследвания са допълнени и подкрепени с експериментални резултати. Получена е пълна представа за възможностите при работата на ПИТ.

Литература

- [1] Параметричен източник на ток. Работа в условията на електродъгвото заваряване, канд. Дисертация, ВМЕИ- ВТУ, София, 1982.
- [2] Милых, Н., И. Волков, Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей, Киев, 1974.
- [3] Георгиев, Р., Т. Стоянова, Н. Евстатиева, Оценкаване на ролята на мястото и големината на капацитета в параметричните индуктивно-капацитивни стабилизатори на ток и напрежение, Лятна школа и МНК по ТЕ на ТУ-София, Созопол 2012 г.
- [4] GEORGIEV GEORGI*, EVSTATIEVA NADEZHDA, INDUCT-CAPACITIVE CURRENT STABILIZER POWERED BY AN ASYNCHRONOUS GENERATOR, Journal of Engineering Studies and Research, Romania, 2012g.

За контакти:

доц. д-р Георги Рашков - РУ"А.Кънчев", тел.888412; grashkov@uni-ruse.bg;
 доц. д-р Надежда Евстатиева – РУ, тел.888638; nevstatieva@uni-ruse.bg;
 гл.ас. д-р Димчо Киряков - РУ, тел.888371; kiriakov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.