

THE ANALYSE OF TRANSIENT ACTIONS OF SYNCHRONOUS GENERATORS

Jindřich Hvězda

Bachelor Degree Programme (1), FEEC BUT
E-mail: xhvezd01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ondřej Vítek
E-mail: vitek@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The work on the topic “The analyse of transient actions of synchronous generators“ deals with a theoretic description of transient actions that appear during a three phase short-circuit on clips of a synchronous generator. The analyse targets on the mathematic description of short-circuit current factors that form a field which influences the magnetic and electric circuit of a rotor of the synchronous generator. It is suitable to evaluate these transient actions by special software and hardware measuring transient actions during tests of synchronous generators.

1. ÚVOD

Přechodné děje vznikají v synchronních strojích při připojení k síti a odpojení od ní, při rychlých změnách zatížení a při zkratech. Přechodné děje v synchronních strojích mohou mít vliv na stabilitu stroje, tj. na jeho schopnost udržet synchronní otáčky při změně ustáleného chodu.¹

2. ROZBOR

Trojfázový zkrat na svorkách stroje je typickým případem rychlé změny zatížení synchronního alternátoru, pracujícího naprázdno. Proudů tekoucí ve vinutí statoru v poměrně krátké době zvětší svou velikost z nuly na hodnoty, které mnohonásobně převyšují jmenovitý proud statoru synchronního stroje. Proudů, které protékají statorem v tomto pracovním režimu stroje, se nazývají proudů zkratové.

2.1. ZKRATOVÉ PROUDY VE VINUTÍCH STATORU SYNCHRONNÍHO STROJE

Pokud na svorkách synchronního generátoru dojde ke zkratu, budou vinutím fází statoru procházet zkratové proudů. Tyto zkratové proudů jsou složeny ze dvou složek:

- Střídavá složka zkratového proudů i_{ld} .
- Stejnoseměrná složka zkratového proudů i_{la} .

Střídavé složky zkratových proudů

Střídavé složky zkratových proudů, tekoucí vinutím fází statoru, vybudí točivé pole, které se otáčí synchronně s rotorem synchronního generátoru.

Toto točivé pole vyvolá v tlumícím vinutí, v budícím vinutí a v dalších uzavřených obvodech rotoru stejnosměrné nekmitavé proudy. Velikost těchto stejnosměrných proudů se vlivem ztrát ve vinutích rotoru postupně snižuje k nule. Stejnosměrné nekmitavé proudy zpětně vybudí magnetické pole, které se otáčí s rotorem generátoru. To znamená, že toto magnetické pole se synchronně otáčí s točivým polem statoru, které bylo vybuzené střídavými složkami zkratových proudů, které jsou určeny rovnicí (1).

$$i_{1d} = -\sqrt{2} \cdot E_{10} \cdot \left[\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d'}} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d}} + \frac{1}{X_d} \right] \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_0) . \quad (1)$$

Stejnosměrné složky zkratových proudů

Stejnosměrné složky zkratových proudů, tekoucí vinutím fází statoru, vybudí v prostoru stojící netočivé pole. Průběh stejnosměrných složek je určen rovnicí (2).

$$i_{1a} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot E_{10} \cdot \left[\left(\frac{1}{X_d''} + \frac{1}{X_q''} \right) \cdot \cos \alpha_0 + \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_q''} \right) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t + \alpha_0) \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_a''}} . \quad (2)$$

Toto v prostoru stojící netočivé pole statoru vyvolá v tlumícím vinutí, v budícím vinutí a v dalších uzavřených obvodech statoru střídavé proudy s kmitočtem f_1 . Velikost těchto střídavých proudů se postupně zmenšuje podle toho, jak se zmenšuje velikost stejnosměrných složek zkratových proudů ve statoru synchronního generátoru.

Velikost stejnosměrné složky zkratových proudů je dána časovým okamžikem, ve kterém dojde ke zkratu na svorkách synchronního generátoru, protože součet střídavé složky zkratového proudu a stejnosměrné složky zkratového proudu musí být v tomto časovém okamžiku ($t = 0$) roven nule.

Před zkratem na svorkách synchronního generátoru tato dvě pole, která jsou vybuzena střídavými a stejnosměrnými složkami zkratového proudu, neexistovala. Jejich přítomnost vyvolá podle Lenzova pravidla reakci ve všech uzavřených obvodech generátoru, s kterými jsou tato pole spřažena. V těchto uzavřených obvodech vzniknou proudy, které budou svojí přítomností působit proti vytvoření nových polí.

Výsledný zkratový proud

Výsledný zkratový proud ve vinutí statoru i_1 při trojfázovém zkratu synchronního generátoru je dán součtem střídavé složky zkratového proudu i_{1d} a stejnosměrné složky zkratového proudu i_{1a} , určené z rovnic (1) a (2). Výsledný zkratový proud ve vinutí statoru i_1 při trojfázovém zkratu synchronního generátoru je dán níže uvedeným vztahem (3)

$$i_1 = i_{1d} + i_{1a} = -\sqrt{2} \cdot E_{10} \cdot \left[\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d'}} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d}} + \frac{1}{X_d} \right] \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) + \quad (3)$$
$$+ \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot E_{10} \cdot \left[\left(\frac{1}{X_d''} + \frac{1}{X_q''} \right) \cdot \cos \alpha_0 + \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_q''} \right) \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_a''}} .$$

Z rovnice (1) a (3) je patrné, že střídavou složku zkratového proudu statoru můžeme vyjádřit jako součet tří složek

$$i_{1d} = i_{1d}'' + i_{1d}' + i_{1d\infty} \quad (4)$$

a tudíž výsledný zkratový proud statoru můžeme vyjádřit jako součet čtyř složek

$$i_1 = i_{1d}'' + i_{1d}' + i_{1d\infty} + i_{1a} \quad (5)$$

Jednotlivé složky výsledného zkratového proudu ve vztahu (4) představují:

- **rázová složka zkratového proudu statoru**

$$i_{1d}'' = -\sqrt{2} \cdot E_{10} \cdot \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d''}} \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) \quad (6)$$

Rázová složka zkratového proudu statoru má sinusový průběh o kmitočtu f_1 , exponenciálně klesá s časovou konstantou T_d'' , vzniká v okamžiku zkratu v čase $t = 0$ a prakticky zaniká v čase $t = 3 \cdot T_d''$.

- **přechodná složka zkratového proudu statoru**

$$i_{1d}' = -\sqrt{2} \cdot E_{10} \cdot \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d'}} \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) \quad (7)$$

Přechodná složka zkratového proudu statoru má sinusový průběh o kmitočtu f_1 , exponenciálně klesá s časovou konstantou T_d' , vzniká v okamžiku zkratu v čase $t = 0$ a prakticky zaniká v čase $t = 3 \cdot T_d'$.

- **ustálená složka zkratového proudu statoru**

$$i_{1d\infty} = -\sqrt{2} \cdot E_{10} \cdot \frac{1}{X_d} \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) \quad (8)$$

Ustálená složka zkratového proudu statoru má sinusový průběh o kmitočtu f_1 , jeho amplituda je konstantní, vzniká v okamžiku zkratu v čase $t = 0$ a trvá po dobu zkratu $t = t_k$.

3. ZÁVĚR

Při trojfázovém zkratu na výstupních svorkách synchronního generátoru vznikají uvnitř stroje elektromagnetické síly, které působí na vinutí a konstrukční části statoru a rotoru. Elektromagnetické síly dosahují mnohonásobných velikostí, než síly při ustáleném stavu. Je tedy nutné z hlediska konstrukčního návrhu vinutí zkratové proudy měřit a na základě analýzy naměřených dat provádět optimalizace návrhu vinutí synchronního generátoru, aby vlivem těchto elektromagnetických sil nedocházelo k poškození konstrukčních částí stroje.

LITERATURA

- [1] PETROV, G.N. Elektrické stroje 2 : asynchronní stroje-synchronní stroje. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1982. 732 s. Odborná publikace.