

# POSSIBILITIES OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR DIRECT GRID CONNECTION

**Petr Chrobák**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xchrob04@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Čestmír Ondrůšek

E-mail: ondrusek@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This thesis deals with possibility of direct grid connection of permanent magnet synchronous generator. Main benefits of PMSG are briefly compared with classical synchronous generators. There are mentioned all synchronization conditions and their modification in the case of directly grid connected PM generators. Finally, there is calculated one case of transient currents shapes during transient state. This case do not takes into account the damper winding in construction of generator. Finally, there is also mentioned the effect of damper windings on the peak current.

**Keywords:** PMSG, direct grid connection, synchronization conditions, peak current

## 1. ÚVOD

Využití synchronních generátorů s permanentními magnety (PMSG) pro výrobu elektrické energie je v dnešní době poměrně aktuálním tématem. Tyto stroje jsou stále více začleňovány do energetického průmyslu a nahrazují tak elektromagneticky buzené generátory. Důvodem jsou bezesporne výhody, kterými disponují PMSG oproti klasicky buzeným synchronním generátorům. Jsou konstrukčně jednoduché a dosahují vyšší účinnosti. Vysoká účinnost těchto strojů je dána tím, že odpadají ztráty v budícím vinutí a mechanické ztráty třením kartáčů. Ve prospěch PMSG hovoří také cena, která je podstatně nižší oproti klasickým synchronním generátorům, a nejdražším konstrukčním prvkem jsou právě permanentní magnety. Hlavní nevýhodou generátorů s trvalými magnety je nemožnost přímé regulace svorkového napětí a značná závislost svorkového napětí na zatížení. Po připojení k elektrické síti pak není možné regulovat jalový výkon dodávaný do elektrické sítě.

## 2. PROBLEMATIKA PŘÍMÉHO PŘIPOJENÍ PMSG K SÍTI

Vzhledem k zmíněným nevýhodám PMSG jsou tyto točivé stroje nejčastěji připojovány k síti nepřímo přes tzv. back to back (B2B) měniče. Základním principem B2B měniče je usměrnění střídavého napětí z generátoru na stejnosměrné napětí a následné znovuoobnovení střídavého napětí pomocí výkonového střídače. Tento měnič bývá zpravidla plně řízený. Cena měniče prakticky roste s výkonem připojovaného použitého generátoru.

Metoda přímého připojení PMSG k síti je založena na principu poklesu napětí na výstupu generátoru při zatížení. Obecně platí, že zkonstruovaný PMSG má hodnotu svorkového napětí naprázdno vyšší, než je napěťová hladina sítě, do které je generátor připojován. Při připojení tedy není dodržena jedna synchronizační podmínka, následkem čehož jsou vyvolány vyrovnávací proudy tekoucí z generátoru do sítě. Z tohoto důvodu je nutné řešit velikost a průběh rázové složky proudu, která je vyvolána nedodržením již zmíněné podmínky fázování. Další část textu se zaměřuje na řešení daného přechodného děje, který je vyvolán v důsledku přímého připojení PMSG k elektrické síti.

Pro připojení generátorů k síti jsou obecně platné 4 synchronizační podmínky:

- Stejná velikost napětí generátoru a sítě (není dodržena u přímého připojení PMSG k síti)
- Stejná frekvence napětí generátoru a sítě
- Fázový posuv mezi napětím generátoru a sítě je minimální
- Sled fází generátoru a sítě je stejný

**Při nedodržení těchto podmínek se nevyhne rázovým proudům během synchronizace.**

Pro řešení přechodných dějů je nutné sestavit obvodový model vhodný pro výpočet rázových proudů. Na obr. 1 je sestaven náhradní obvod jednofázového modelu PMSG pro řešení přechodových dějů. Při přímém připojení PMSG k síti, uvažujeme úroveň napětí sítě  $U_s$  a svorkové napětí generátoru  $U_0$ . Velikost rázového proudu je přímo úměrná právě rozdílu zmíněných napětí.

Při přímém připojení k síti je obvyklá hodnota napětí na svorkách generátorů s permanentními magnety 1,1 násobek jmenovitého napětí sítě. [1]

$$U_0 = 1.1 \cdot U_s \quad (1)$$

Pro řešení průběhů proudu je dále nutné obvod popsat časovými konstantami, které určují dobu, po které se přechodný proud ustálí na své ustálené hodnotě.

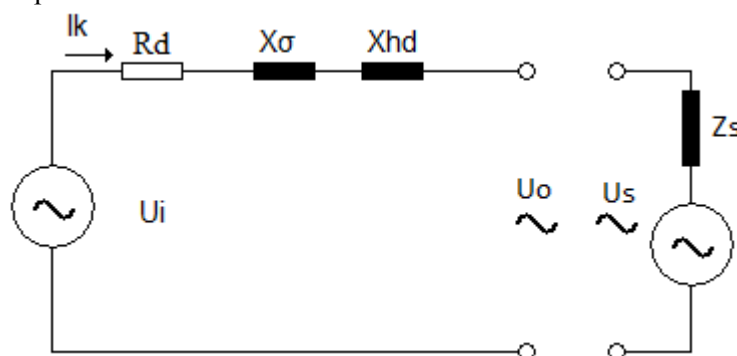
$$\tau = \frac{L_d}{R_d} = \frac{X_d}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_d} \quad (2)$$

$X_{hd}$  [Ω] - hlavní podélná reaktance

$X_\sigma$  [Ω] - náhradní rozptylová reaktance

$R_d$  [Ω] - náhradní odpor podélné větve

$Z_s$  [Ω] - náhradní impedance elektrické sítě.



**Obr.1:** Náhradní obvod pro řešení rázových proudů

Celková reaktance náhradního obvodu:

$$X_d = X_\sigma + X_{hd} \quad (3)$$

Simulované průběhy lze popsat analyticky následujícím způsobem:

Časový průběh rázové složky proudu, kde  $I_{kmax}$  je amplituda rázové složky proudu:

$$I_{k(t)} = I_{kmax} \cdot \sin \omega t \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

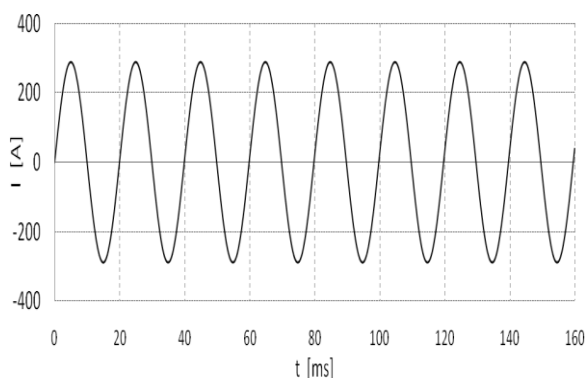
Časový průběh ustáleného proudu, kde  $I_{max}$  je amplituda ustálené složky proudu:

$$I_{(t)} = I_{max} \cdot \sin \omega t \quad (5)$$

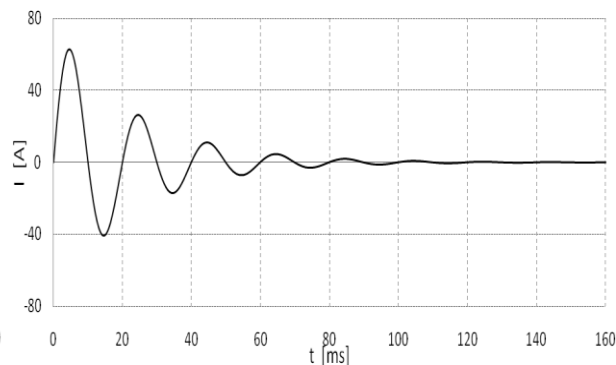
Výsledný průběh proudu během synchronizace je dán součtem rázové složky proudu  $I_{k(t)}$ , a ustálené složky proudu  $I_{(t)}$ . Je důležité zmínit, že rázové hodnoty proudu jsou dále závislé na velikosti  $X_d$  a  $R_d$ . Pro výpočet byly použity následující hodnoty jednofázového generátoru [2]:

$X_d = 0,73 \Omega$  ;  $R_d = 0,1 \Omega$  ;  $P = 125 \text{ kW}$  ;  $U_0 = 440 \text{ V}$  a  $U_s = 400 \text{ V}$   $Z_s = 0 \Omega$  .

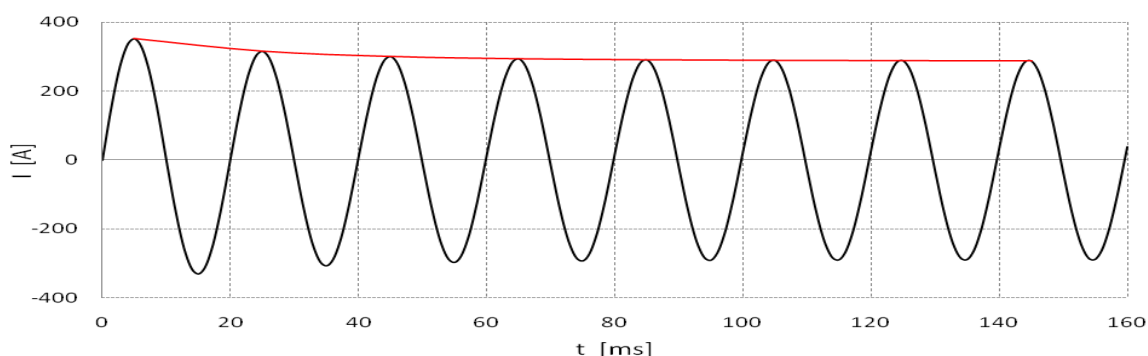
Pokud by případ nedodržení shodnosti obou napětí nastal u elektromagneticky buzeného generátoru, vzniklý rázový proud by byl mnohonásobně větší, jelikož reaktance náhradního obvodu by byla menší z důvodu paralelně připočtených náhradních reaktancí budicího i tlumicího vinutí. To by vedlo ke snížení celkové reaktance obvodu a tím i k nárůstu rázové složky proudu k vyšším hodnotám. Z tohoto důvodu je velice důležité u generátoru s elektromagnetickým buzením dodržet všechny podmínky fázování. Rázové složky proudu by pak dosáhly hodnot, které by vedly k poškození generátoru.



**Obr.2:** Ustálená složka proudu



**Obr.3:** Rázová složka proudu.



**Obr.4:** Výsledný průběh proudu se zvýrazněnou obalovou křivkou proudu.

### 3. ZÁVĚR

Z výpočtu průběhu proudu během přímého připojení PMSG k síti je patrné, že rázová složka proudu zanikne během páté periody a nedosáhne takových hodnot, které by vedly k poškození generátoru. Byl vyřešen průběh proudu u konkrétního PMSG bez tlumicího vinutí. Jako zjednodušující podmínka nebyla uvažována náhradní impedance elektrické sítě. Červenou čarou je znázorněna obalová křivka proudu, jejíž strmost závisí na parametrech náhradního obvodu a na časové konstantě obvodu. Průběh obalové křivky je popsán klesající exponenciální funkcí. V případě zařazení tlumicího vinutí do konstrukce PMSG by proudy dosáhly větších hodnot kvůli menší podélné reaktanci stroje. Na druhou stranu by však zanikly za kratší dobu díky menší časové konstantě náhradního obvodu.

### REFERENCE

- [1] KINNUNEN, Janne . *Direct-on-line axial flux permanent magnet synchronous generator static and dynamic performance*. Lappeenranta, 2007. 170 s. Thesis for the degree of Doctor of Science. Lappeenranta University of technology. ISBN 978-952-214-471-3.
- [2] HRUŠKOVIČ, Ladislav. *ELEKTRICKÉ STROJE*. 1. vydanie. Bratislava : STU, 1999. 497 s. ISBN 80-227-1249-3.