



Universidade Federal do ABC



Seminário Nacional de Produção e  
Transmissão de Energia Elétrica

# Desenvolvimento de método para determinar os parâmetros de geradores de ímãs permanentes

GRUPO II - GPT

Walter Evaldo Kuchenbecker





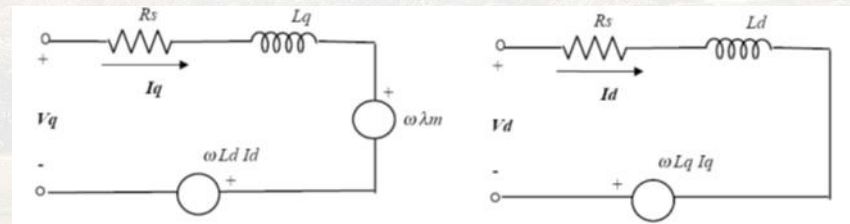




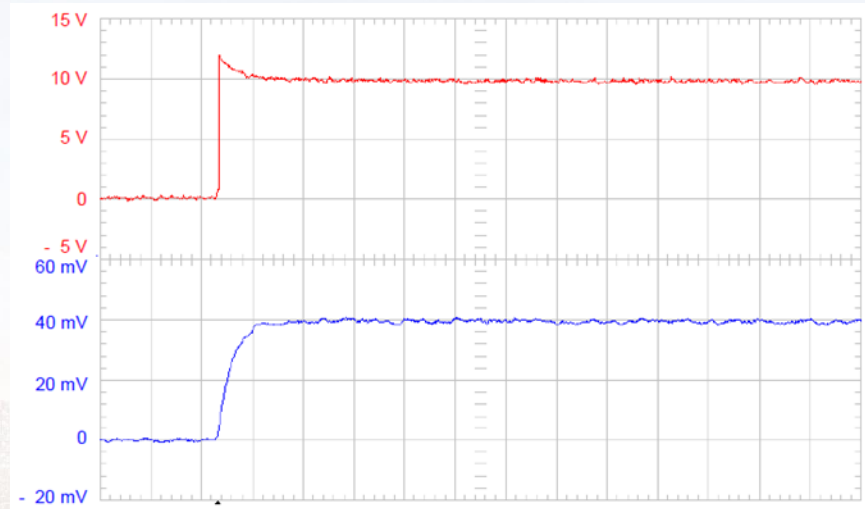
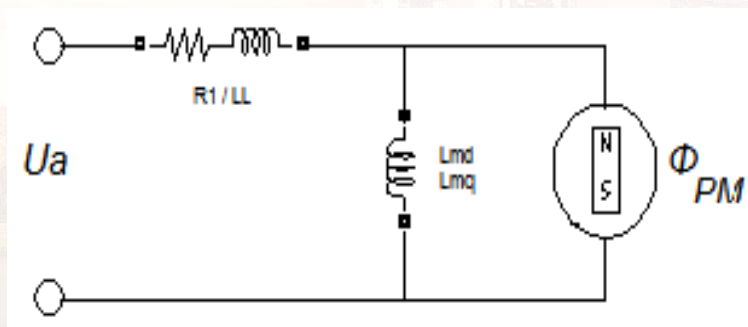
## Quais as dificuldades de se ensaiar uma máquina síncrona a ímãs permanentes de grande potência?

- ✓ Há limitações de potência nas instalações, tanto elétrica quanto mecânica;
- ✓ Os ensaios normalizados não são aplicáveis, pois a máquina possui fluxo fixo no rotor;
- ✓ As correntes de curto são altas pois as reatâncias são baixas, o que limita ainda mais o uso dos ensaios normalizados
- ✓ Os geradores eólicos de ímãs apresentam características de tensão e frequência não usuais.

- ✓ **Desenvolvimento de um ensaio de aplicação de um degrau de tensão CC por bateria nos terminais de saída da máquina;**
- ✓ **Posicionamento no fluxo máximo ( $L_d$ ) ou fluxo mínimo ( $L_q$ ) determinado pela aplicação CC entre dois terminais do estator.**



- ✓ **Degrau aplicado com o rotor travado nas posições de fluxo máximo ( $L_d$ ) ou fluxo mínimo ( $L_q$ ).**



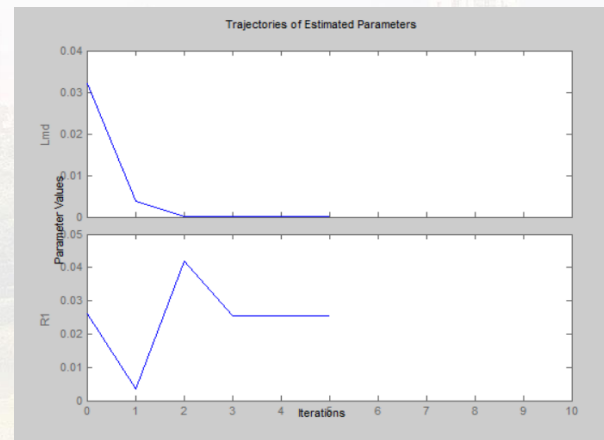
### Linha vermelha – Tensão da bateria

**Linha azul – Corrente da bateria**

$$Ld = Ll + Lmd$$

$$Lq = Ll + Lmq$$

- ✓ A tensão e a corrente experimentais são inseridas numa rotina no Matlab (“*Parameter Estimation*”).
- ✓ Os parâmetros iniciais são os do projeto da máquina;
- ✓ O sistema busca o melhor conjunto de parâmetros que minimiza o erro.





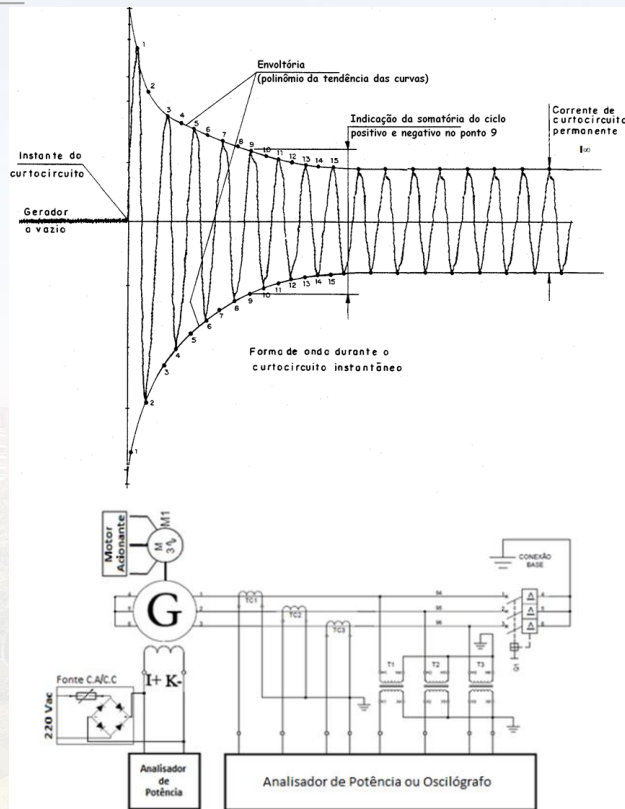


Universidade Federal do ABC



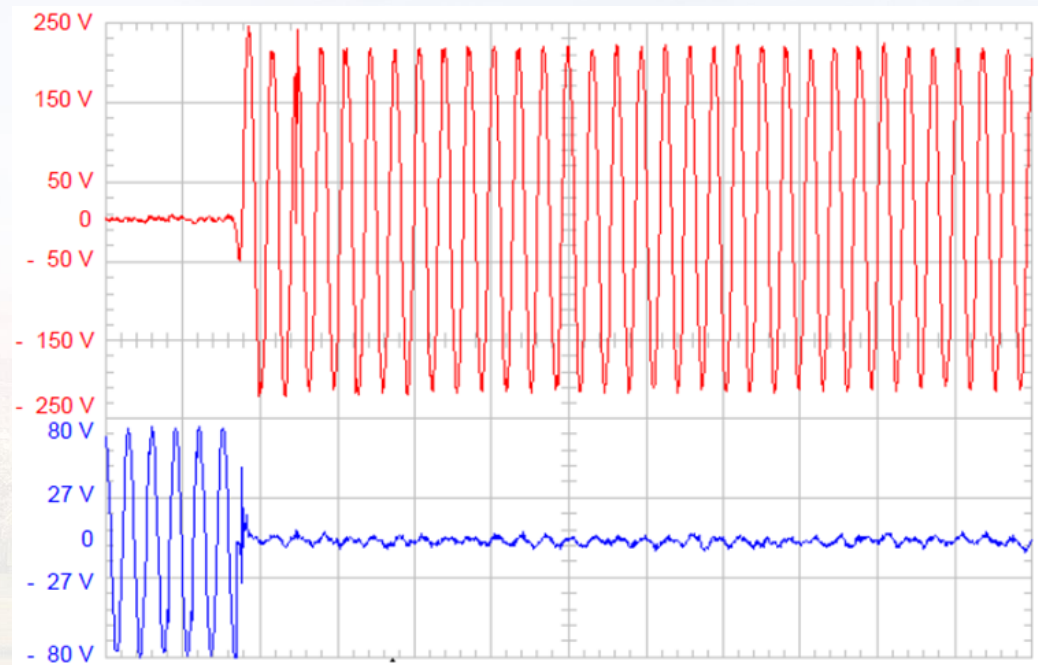
# MÉTODO DO CURTO CIRCUITO INSTANTÂNEO

- ✓ Este método foi aplicado neste protótipo com intuito de validar os resultados com o método proposto da degrau de tensão;
- ✓ Método tradicional normalizado aplicado em geradores convencionais;
- ✓ O ensaio determina indutâncias não saturadas, por causa das limitações mecânicas dos laboratórios;
- ✓ No caso de geradores a ímãs permanentes, o campo magnético é fixo pelo fluxo constante dos ímãs, por isso inviável neste tipo de máquina;



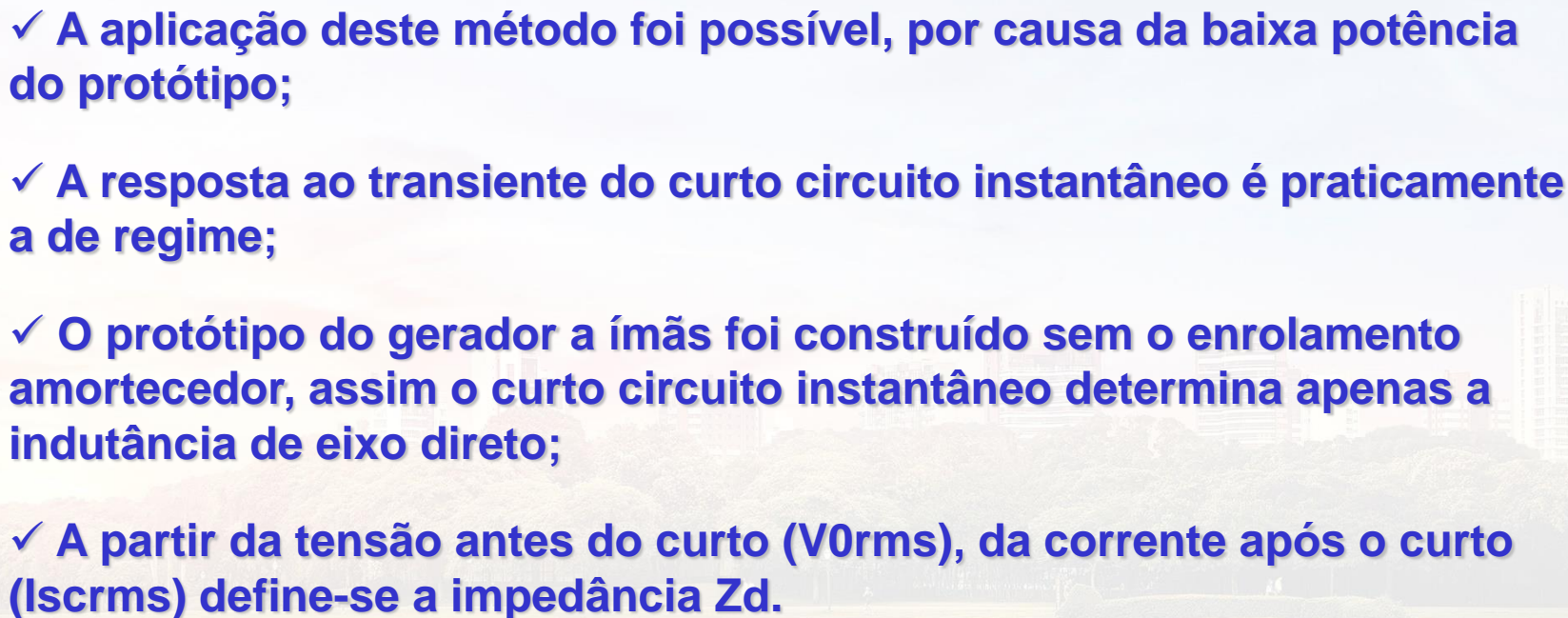


<b>Parâmetros</b>	<b>Medições</b>
<b>Tensão antes do curto</b>	<b>29,67 V</b>
<b>Corrente permanente</b>	<b>515 A</b>
<b>Resistência ôhmica</b>	<b>0,028 mΩ</b>
<b>Indutância Ld</b>	<b>0,1335 mH</b>





## MÉTODO DO CURTO CIRCUITO INSTANTÂNEO



- ✓ Este método foi aplicado para validar os resultado da indutância em quadratura, pois o curto determina apenas de eixo direto;
- ✓ Método normalizado que determina as indutâncias subtransitórias  $L''_d$  e  $L''_q$ ;
- ✓ Também precisa ser posicionado em fluxo máximo e mínimo de acordo com a indutância a ser determinada;
- ✓ O PMSG não possui enrolamentos rotóricos, nem gaiola de amortecimento, então o ensaio determina as indutâncias  $L_d$  e  $L_q$ .



## COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Parâmetros	Métodos	Resultados
<b>Eixo direto <math>L_d</math></b>	<b>Degrau de tensão CC</b>	<b>0,137 mH</b>
	<b>Curto-circuito instantâneo</b>	<b>0,133 mH</b>
	<b>Rotor posicionado</b>	<b>0,128 mH</b>
<b>Eixo em quadratura <math>L_q</math></b>	<b>Degrau de tensão CC</b>	<b>0,188 mH</b>
	<b>Rotor posicionado</b>	<b>0,234 mH</b>

- ✓ As indutâncias de eixo direto  $L_d$  são equivalentes nos três métodos, assim o degrau de determina este parâmetro com precisão;
- ✓ Os ímãs do PMSG produzem um fluxo muito alto do eixo direto, por isso  $L_d$  não é influenciado pelas variações das correntes dos diferentes ensaios;



Parâmetros	Métodos	Resultados
Eixo direto $L_d$	Degrau de tensão CC	0,137 mH
	Curto-circuito instantâneo	0,133 mH
	Rotor posicionado	0,128 mH
Eixo em quadratura $L_q$	Degrau de tensão CC	0,188 mH
	Rotor posicionado	0,234 mH

- ✓ A indutância  $L_q$  do PMSG é influenciada pelo nível de saturação;
- ✓ A corrente aplicada que define as indutâncias de eixo em quadratura em PMSG;
- ✓ O degrau de tensão CC determina a indutância  $L_q$  de maneira mais versátil, somente o componente de tensão.


- ✓ O método do degrau de tensão CC proposto é capaz de determinar com precisão a indutância de eixo direto  $L_d$ ;
- ✓ A diferença do resultado do curto circuito instantâneo é de 2,3% e do rotor posicionado é de 6,9%;
- ✓ O método proposto permitiu medir a indutância  $L_q$  em condições de correntes mais próximas a nominal.

## WALTER EVALDO KUCHENBECKER

 (11) 2191-6863

 (11) 99592-3066

 [Walter.k@ufabc.edu.br](mailto:Walter.k@ufabc.edu.br)  
[Walterk@weg.net](mailto:Walterk@weg.net)

 [www.ufabc.edu.br](http://www.ufabc.edu.br)  
[www.weg.net](http://www.weg.net)