

The background of the slide is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

REDUÇÃO DE TRANSITÓRIOS CAUSADOS POR MANOBRAS DE BANCOS DE CAPACITORES

NOME: MIRIÃ DAVIES DOS SANTOS

PROF. DR.: JOSÉ PISSOLATO

INTRODUÇÃO

- OS PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE OS DISTÚRBIOS TRANSITÓRIOS DECORRENTES DE MANOBRAS DE BANCOS DE CAPACITORES FORAM REALIZADOS NA DÉCADA DE 1950 (SICKLE E ZABORSKY, 1951; SCHULTZ ET AL, 1959).
- COM O FORMA DE REDUZIR OS CUSTOS E OTIMIZAR O DESEMPENHO, AS CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZAM BANCOS DE CAPACITORES COMO ALTERNATIVA PARA CORRIGIR O FATOR DE POTÊNCIA POR CONSEQUÊNCIA TRANSMITIR MAIOR POTÊNCIA ATIVA E REGULAR A TENSÃO.
- BANCOS DE CAPACITORES SÃO MANOBRADOS DIARIAMENTE PARA REAGIR ÀS CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO DO SISTEMA.
- E ESSAS MANOBRAS EM BANCOS DE CAPACITORES PODEM ACARRETAR EM SEVERAS CONDIÇÕES DE TENSÃO E CORRENTE AOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA, CAUSANDO TRANSITÓRIOS DE FREQUÊNCIAS ELEVADAS QUE PODEM SE PROPAGAR PELO SISTEMA E CAUSAR OS MAIS DIVERSOS DANOS.

OBJETIVOS

- ANALISAR POR MEIO DE *SOFTWARE ATP DRAW* AS MUDANÇAS DE TRANSITÓRIOS CAPACITIVOS, DEMONSTRANDO ASSIM COMO OS PROBLEMAS NESSE CAMPO AFETAM DIRETAMENTE O BOM FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS.
- VERIFICAR E ANALISAR POR MEIO DE SIMULAÇÃO OS EFEITOS DO TRANSIENTE NAS VARIÁVEIS TENSÃO, CORRENTE E FREQUÊNCIA PARA COMPARAR AOS RESULTADOS ALGÉBRICOS OBTIDOS COM OS SIMULADOS;
- ILUSTRAR FORMAS DE ATENUAR OS SURTOS TRANSITÓRIOS CAPACITIVOS BEM COMO MENSURAR SEUS EFEITOS;

MÉTODOS DE CONTROLE DE TRANSITÓRIO EM BANCO DE CAPACITORES

- REATOR SÉRIE LIMITAR DE *INRUSH*;
- RESISTÊNCIA DE CHAVEAMENTO (RESISTOR DE PRÉ-INSERÇÃO);
- PONTOS DE ONDA DE CHAVEAMENTO (CHAVEAMENTO CONTROLADO);
- APLICAÇÃO DE PARA-RAIOS;
- DIVIDIR O BANCO CAPACITORES EM TAMANHOS MENORES

ALTERNATIVAS PARA LIMITAÇÃO DOS SURTOS DE MANOBRAS EM BANCOS DE CAPACITORES

Alternativa	Vantagem	Desvantagem
Indutância Fixa	<ul style="list-style-type: none">- Não há necessidade de qualquer controle durante a manobra- Fácil instalação- Eficiente para limitar correntes de <i>outrush</i> devido às faltas	<p>Necessidade de espaço extra para instalação</p> <p>Aumento das perdas</p>
Resistor de Pré- Inserção	<ul style="list-style-type: none">- Utilizado apenas quando se realiza o chaveamento- Não apresenta perdas	<ul style="list-style-type: none">- Mecanismo complexo- A resistência deve ser selecionada com cuidado- Não é eficiente para todos os tamanhos de bancos de capacitores- Não é eficiente para limitar correntes de <i>outrush</i> devido às faltas
Indutor de Pré- Inserção	<ul style="list-style-type: none">- Utilizado apenas quando se realiza o chaveamento- Não apresenta perdas e fácil instalação- Não há necessidade de espaço extra para instalação e baixo custo	<p>Não é eficiente para limitar correntes de <i>outrush</i> devido às faltas</p>
Chaveamento Controlado	<ul style="list-style-type: none">- Fácil instalação- Não há necessidade de espaço extra para instalação- Relativamente barato- Possivelmente adaptável aos dispositivos de chaveamento existentes	<p>Não é eficiente para limitar correntes de <i>outrush</i> devido às faltas</p>

MANOBRAS EM BANCOS CAPACITORES

ENERGIZAÇÃO DE UM BANCO DE CAPACITORES ISOLADO

Provoca sobretenção transitória na ordem de 2 PU com uma frequência natural de oscilação.

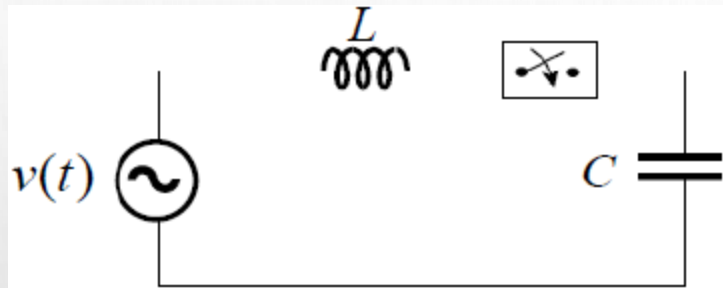


Figura 10: Energização de um banco de capacitores isolado.

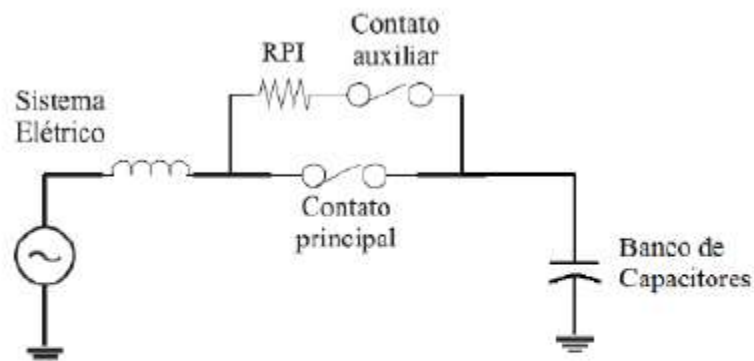


Figura 11: Modelo do resistor de pré-inserção.

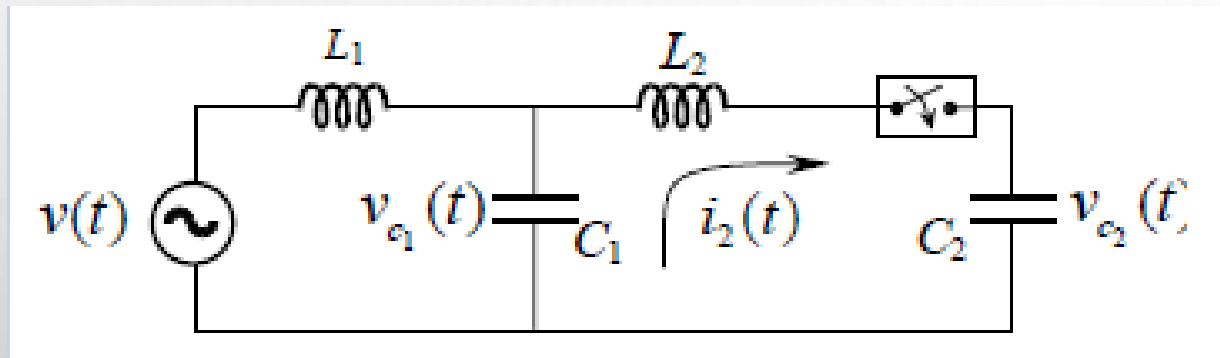
$$i_{maxpico}(t) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * \sqrt{\frac{C}{L}} * E_{linha} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L_{eq} * C_{eq}}} \quad (2)$$

MANOBRAS EM BANCOS CAPACITORES

ENERGIZAÇÃO EM BACK TO BACK

Envolve a energização de um banco de capacitor quando o banco que está em operação passa a descarregar para energizar o outro banco provocando excessivas correntes de energização e irush.



$$i_{maxpico} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * E * \sqrt{\frac{C1 * C2}{L2 * (C1 + C2)}} \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{\frac{L2 * C1 * C2}{(C1 + C2)}}} \quad (4)$$

$$fn = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{(1/LC - 1/4(R/L - 1/\tau C)^2)} \quad (5)$$

SOBRETENSÕES DE MANOBRA

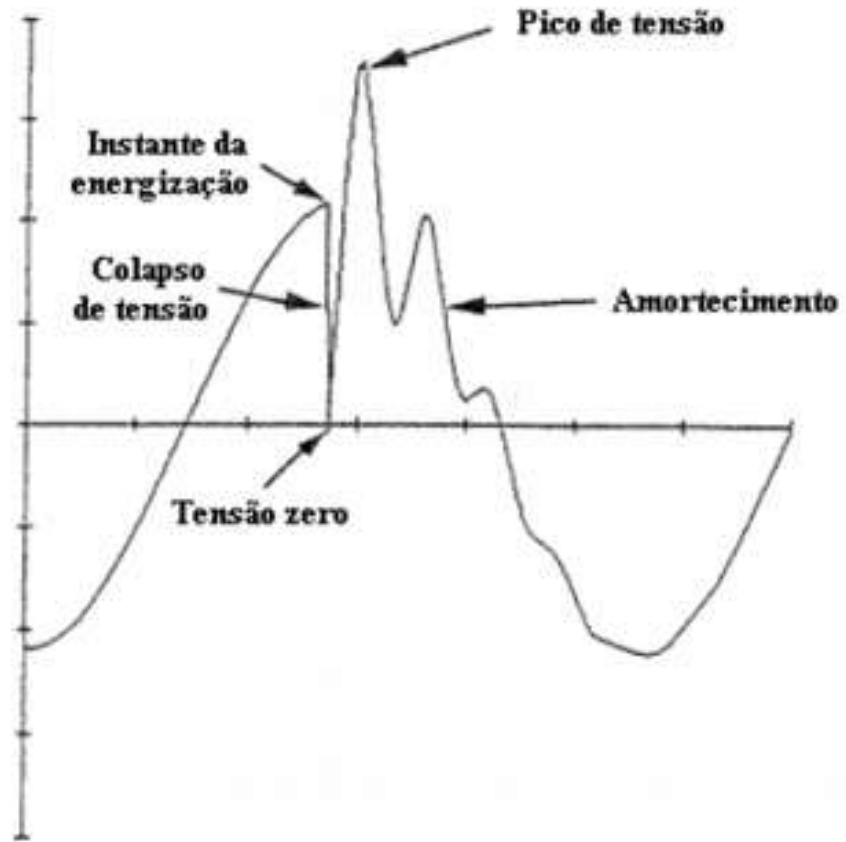


Figura 13 : Representação da tensão no banco de capacitores no instante da energização.

METODOLOGIA

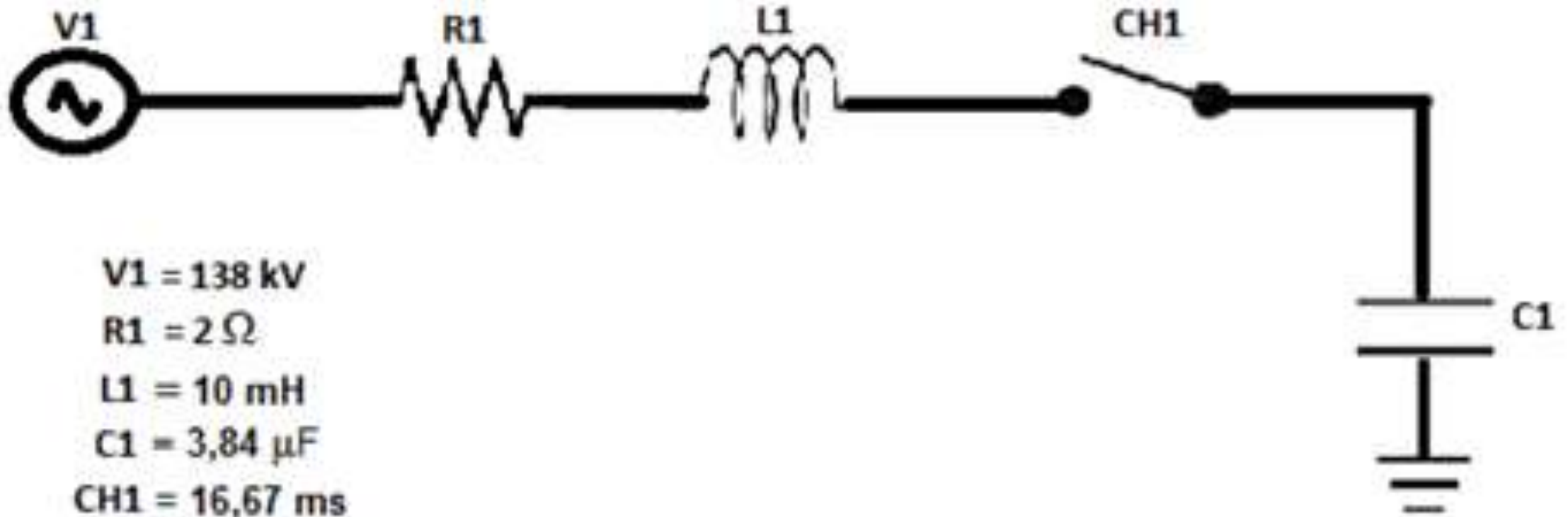
- MONTAGEM DO CIRCUITO
- CONFIGURAÇÃO DOS PARÂMETROS ADEQUADOS DE SIMULAÇÃO PARA QUE O *SOFTWARE* POSSA DAR A SOLUÇÃO NUMÉRICA COM MAIOR CORREÇÃO POSSÍVEL.
- TRATAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS
- DE MODO GERAL, FORAM FEITAS AS ESCOLHAS DE ENCONTRAR UMA SOLUÇÃO DE REGIME NO DOMÍNIO DO TEMPO COM PASSO DE SIMULAÇÃO DE 1 MICRO SEGUNDO.
- TEMPO DE SIMULAÇÃO VARIANDO ENTRE 80A 100 MILI SEGUNDOS, COM MÉTODO DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA TRAPEZOIDAL.

SIMULAÇÕES

- SIMULAÇÃO 1: ENERGIZAÇÃO DE BANCO CAPACITORES ISOLADOS;
- SIMULAÇÃO 2: CIRCUITO TRIFÁSICO DE ENERGIZAÇÃO BACK TO BACK;
- SIMULAÇÃO 3: ENERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR LIMITADOR;
- SIMULAÇÃO 4: ENERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR DE PRÉ-INSERÇÃO;
- SIMULAÇÃO 5: CIRCUITO TRIFÁSICO PARA CHAVEAMENTO CONTROLADO

SITUAÇÃO 1: ENERGIZAÇÃO DE BANCO CAPACITORES ISOLADOS

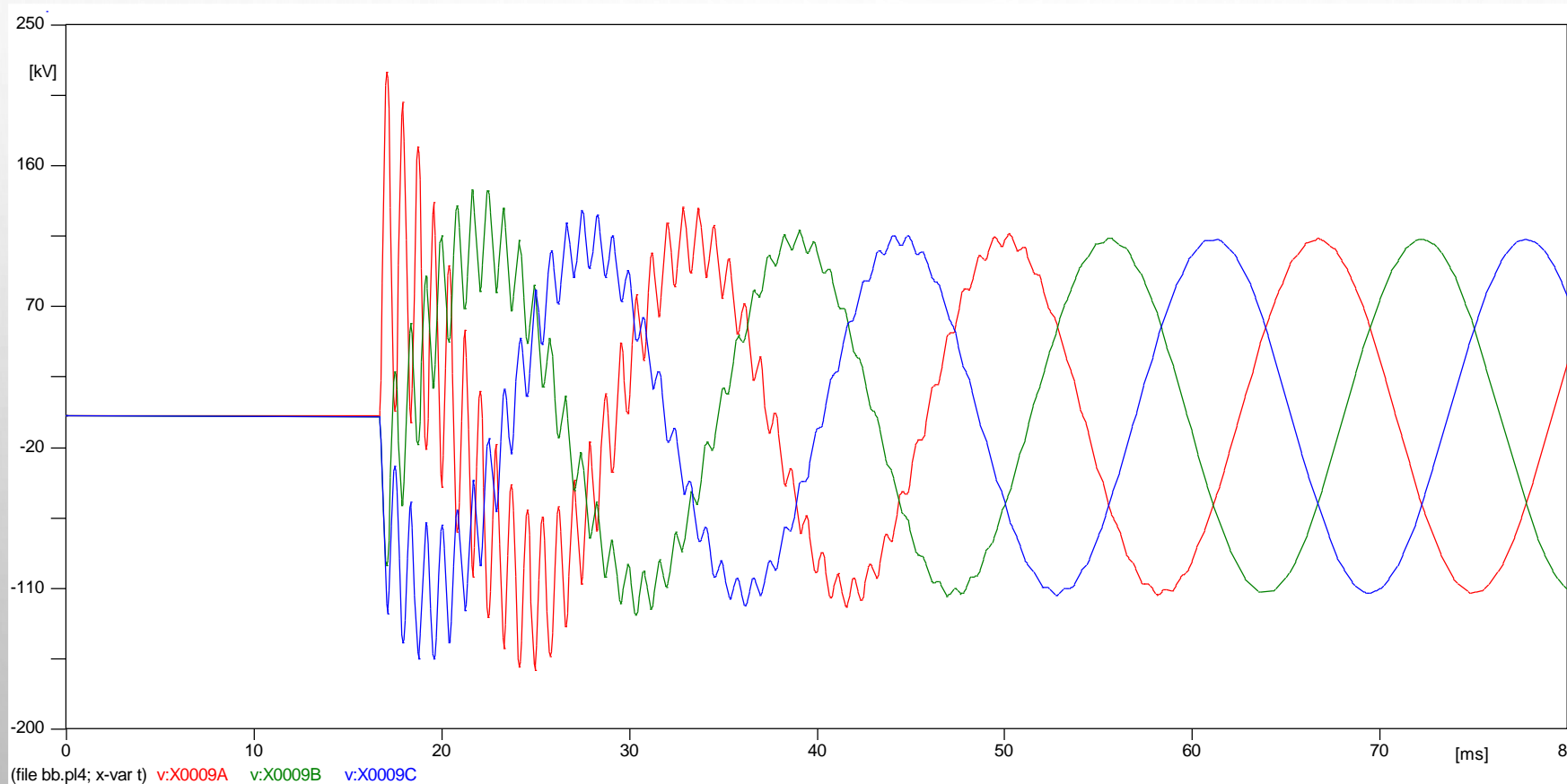
A abertura da chave vai acontecer no pior caso, no ponto de máxima tensão e vai ser assim para os demais circuitos



CIRCUITO PARA ENERGIZAÇÃO DE BANCO CAPACITORES ISOLADO

SIMULAÇÃO 1: ENERGIZAÇÃO DE BANCO CAPACITORES ISOLADOS

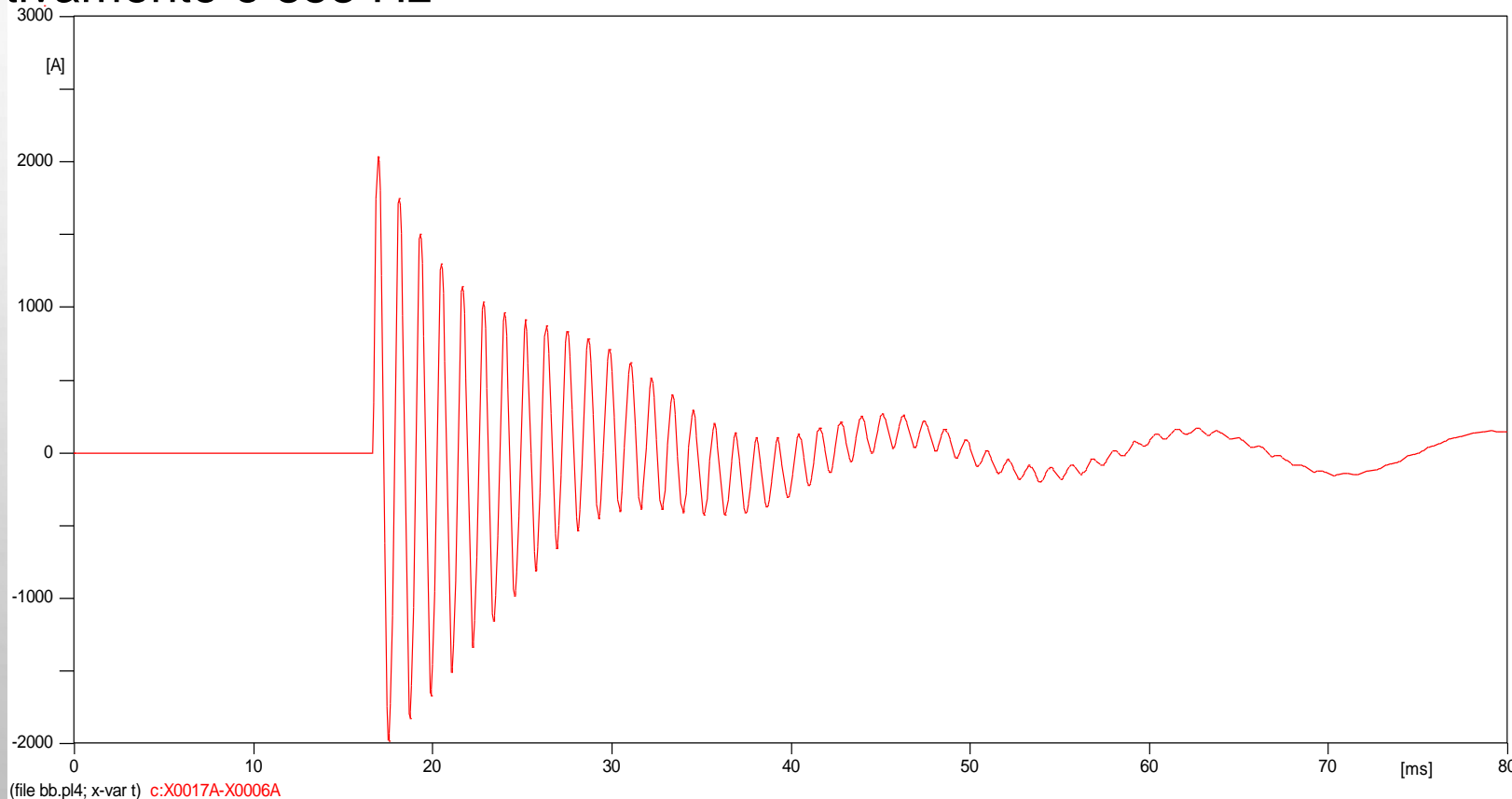
A tensão de pico encontrada na simulação é 220KV esse surto pode alcançar até 2 pu da tensão nominal;



TENSÃO TRANSITÓRIA DE BANCO CAPACITORES ISOLADO

SIMULAÇÃO 1: CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO DO BANCO CAPACITORES ISOLADO

Corrente máxima de pico foi de 2035,9 A e a Frequência encontrada na simulação de 853,97 Hz
E os Teóricos calculados para corrente máxima de pico foi 2102 A e para a frequência transitória são respectivamente e 853 Hz

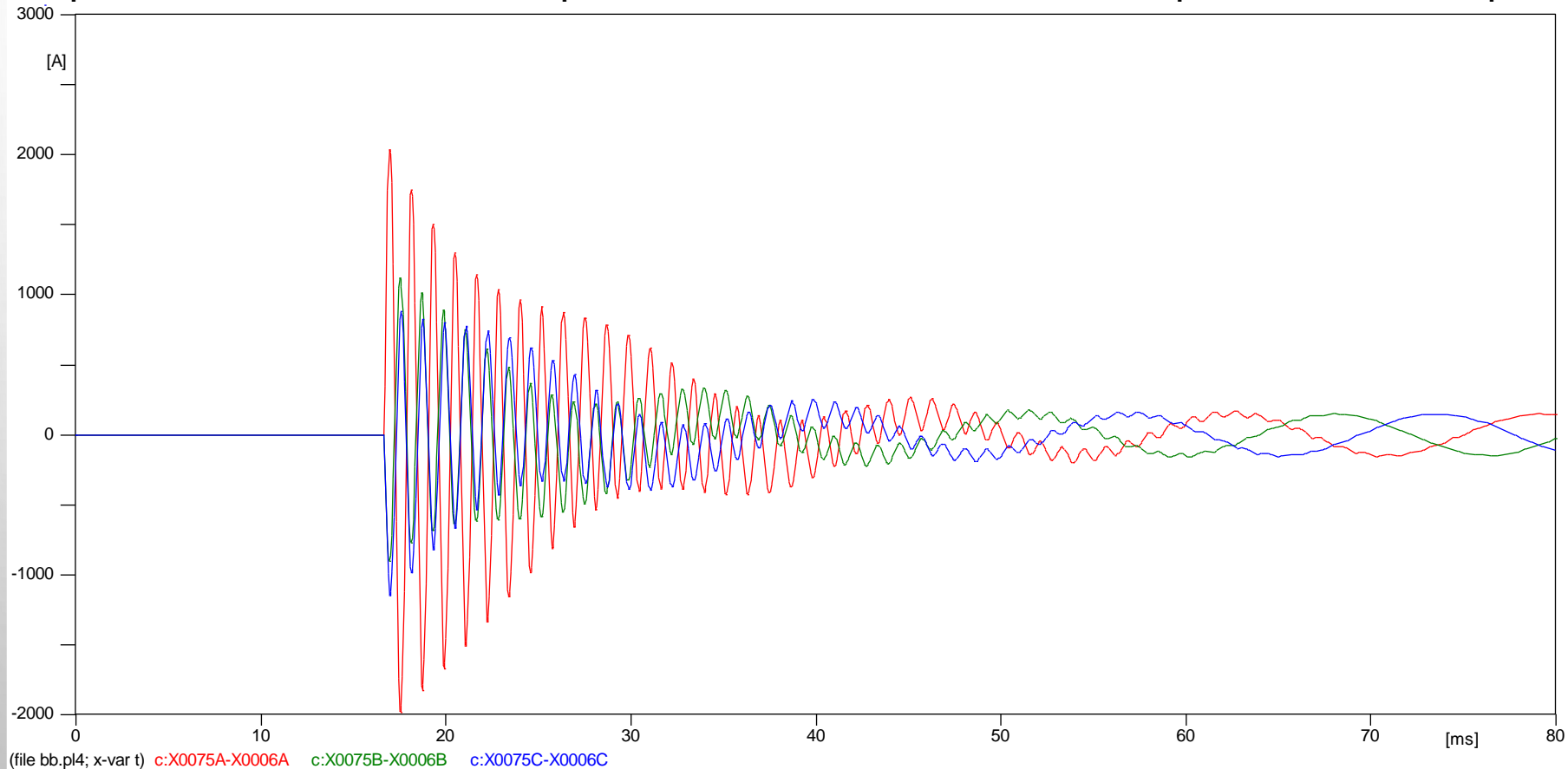


CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO DE BANCO CAPACITORES ISOLADO

CIRCUITO DE ENERGIZAÇÃO DE BANCO CAPACITORES ISOLADO

Os valores simulados e calculados estão bem próximos com variação de 3,2% para corrente e de 1% para frequência.

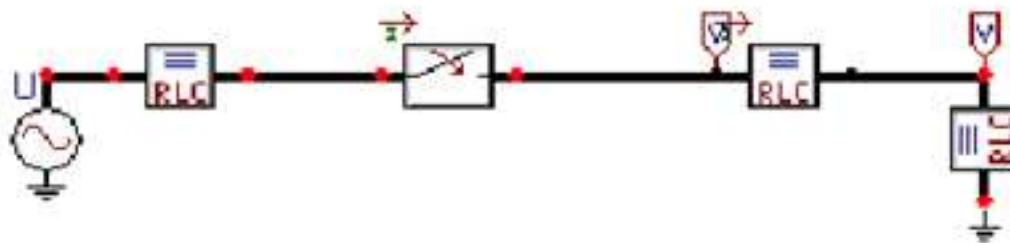
No que diz respeito a tensão o valor de pico da sobretensão foi de 1,92 pu, dentro do esperado para este caso.



CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO TRIFÁSICA DE BANCO CAPACITORES ISOLADO

SIMULAÇÃO 2: ENERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR LIMITADOR CORRENTE

Após um tempo de 6ms o contato principal ele vai se fechar, curto circuitando o resistor e trazendo o banco a tensão de plena fonte

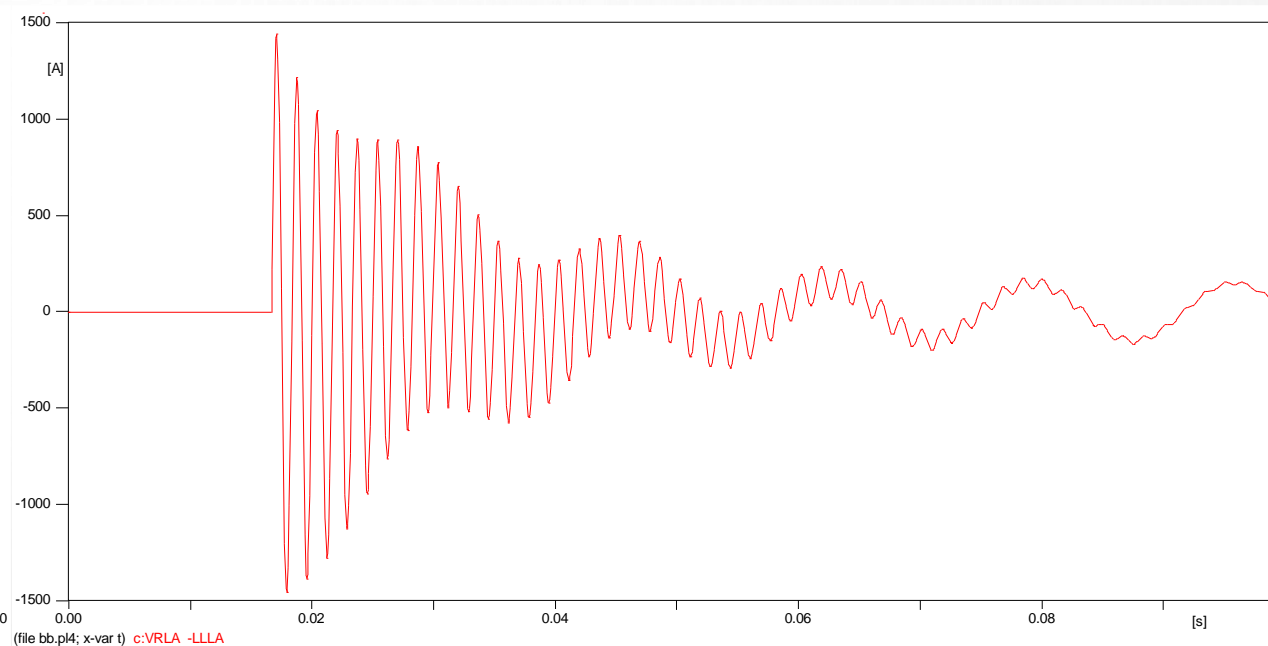
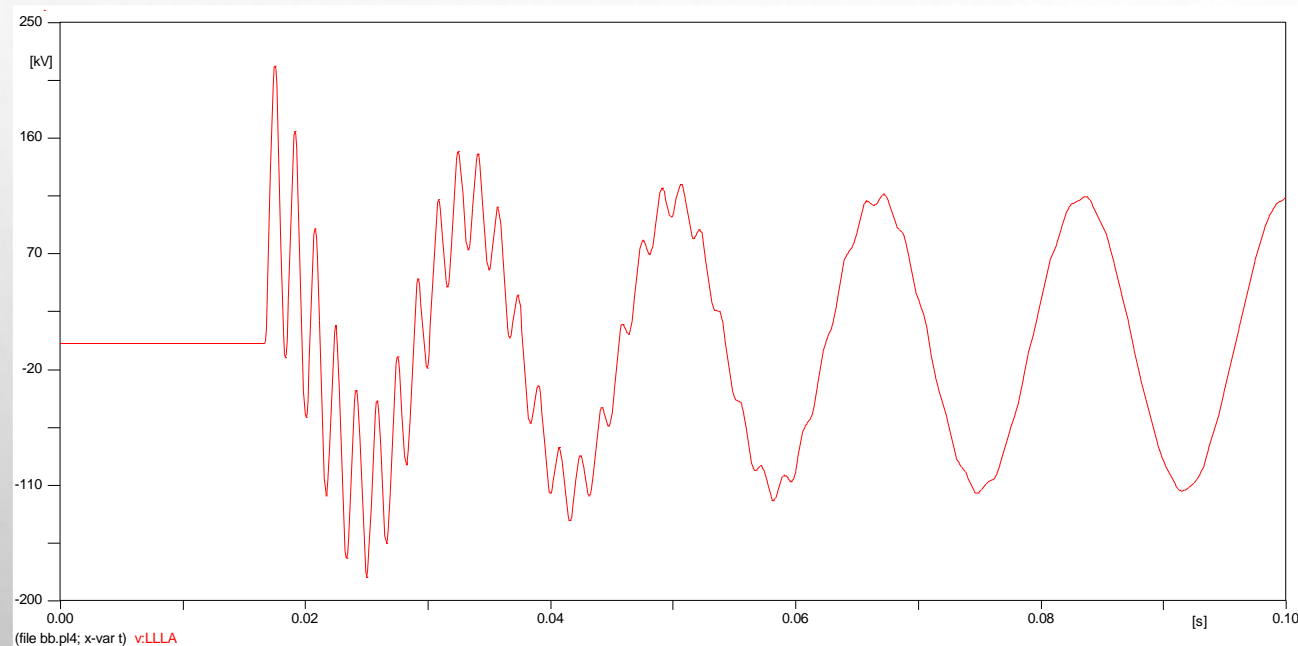


V1 = 138 kV
R1 = 2 Ω
L1 = 10 mH
C1 = 3,84 μ F
CH1 = 16,67 ms
RL1 = 0,5 Ω e 10 mH

CIRCUITO TRIFÁSICO PARA ENERGERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR LIMITADOR

Resultado: Energização de banco de capacitores com Resistor Limitador

TEMPO A CORRENTE DE PICO MÁXIMA DO TRANSITÓRIO NESTE CASO É DE 1440 A E A FREQUÊNCIA É DE 597 HZ COM O VALOR DA TENSÃO TRANSITÓRIA ATINGINDO SEU MÁXIMO EM 216 KV.

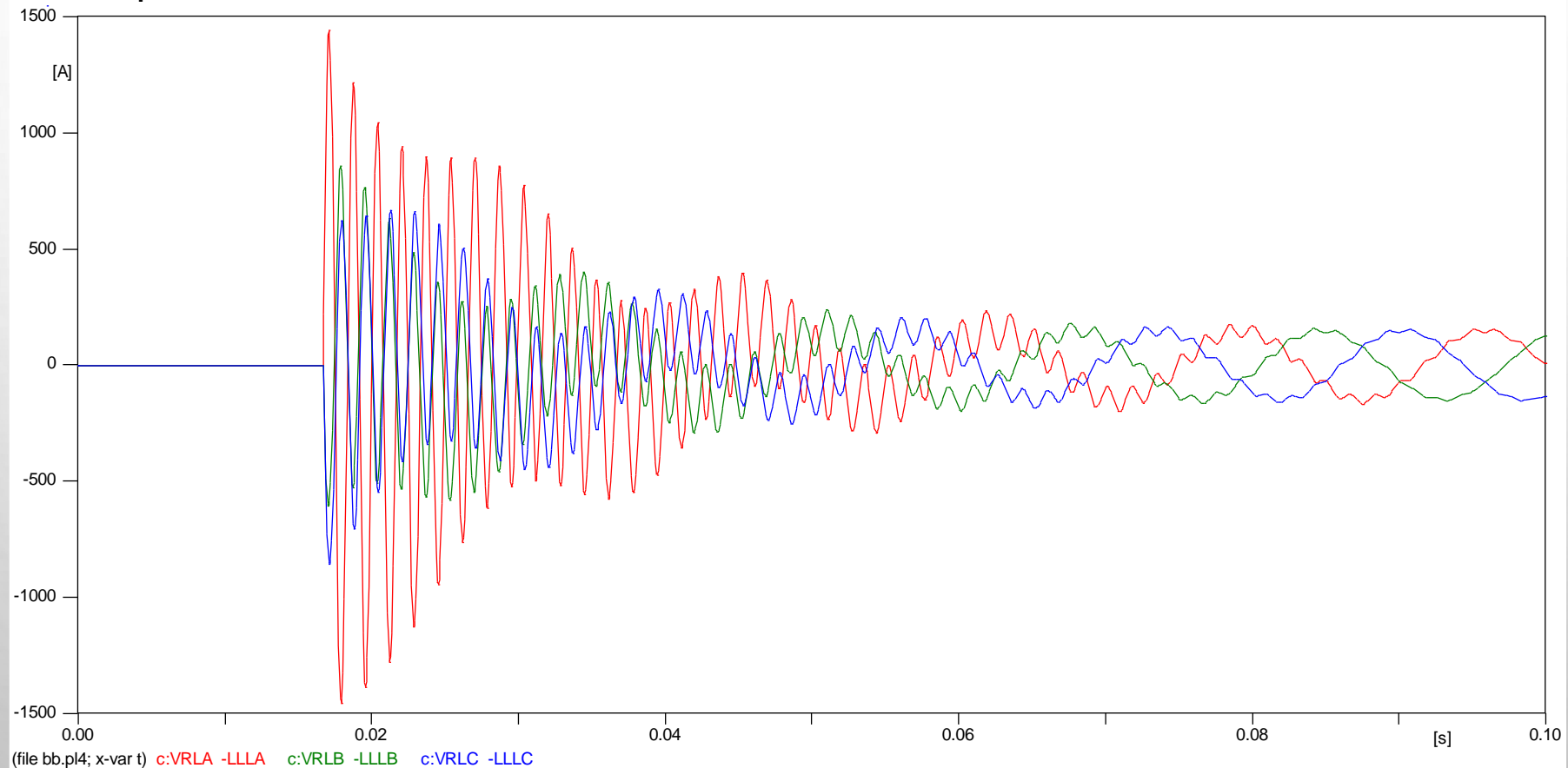


TENSÃO PARA ENERGIZAÇÃO COM REATOR LIMITADOR

CORRENTE PARA ENERGIZAÇÃO COM REATOR LIMITADOR

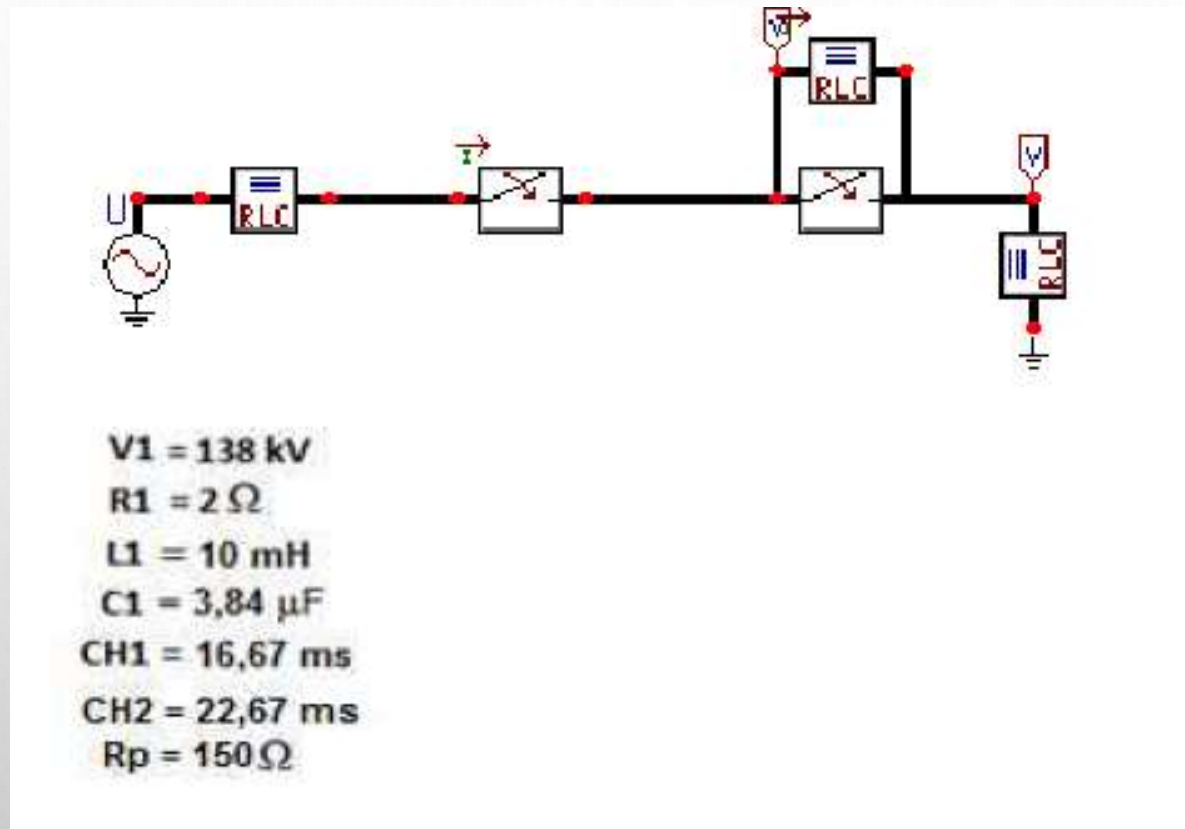
RESULTADO: ENERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR LIMITADOR

Podemos Verificar com a inserção do resistor Limitador uma redução de corrente 30% da corrente inrush e 30 % da frequência do transitório.



CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO TRÍFÁSICA COM REATOR LIMITADOR

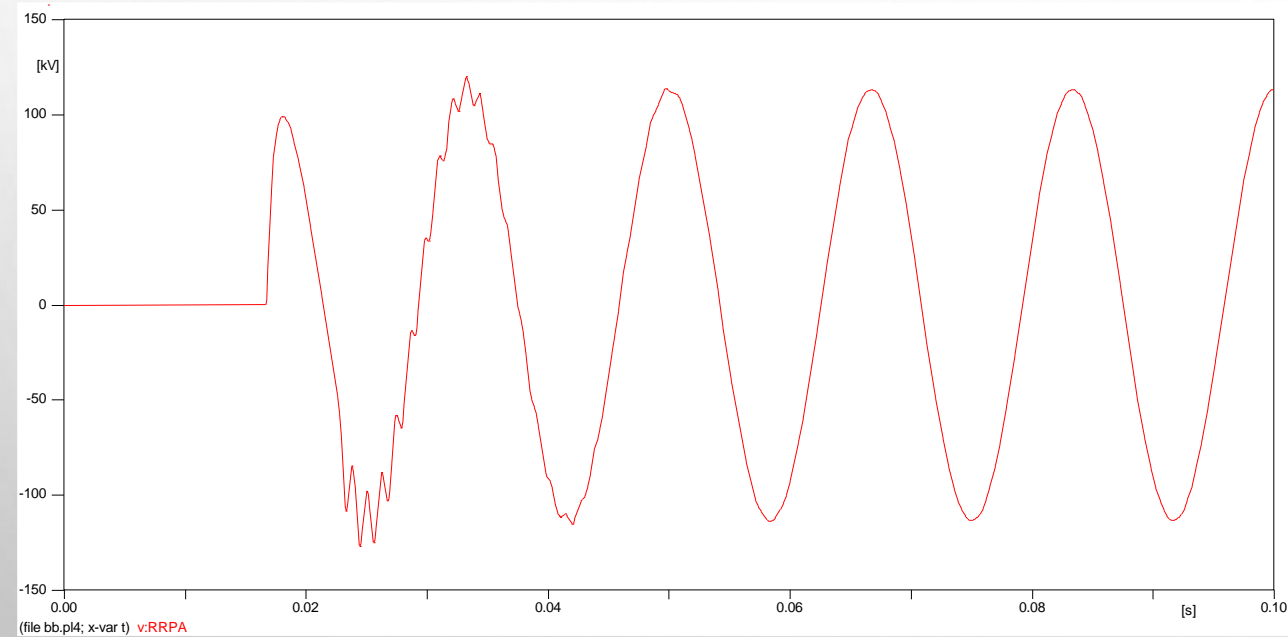
Simulação 3: Energização de banco de capacitores com Resistor de Pré-inserção.



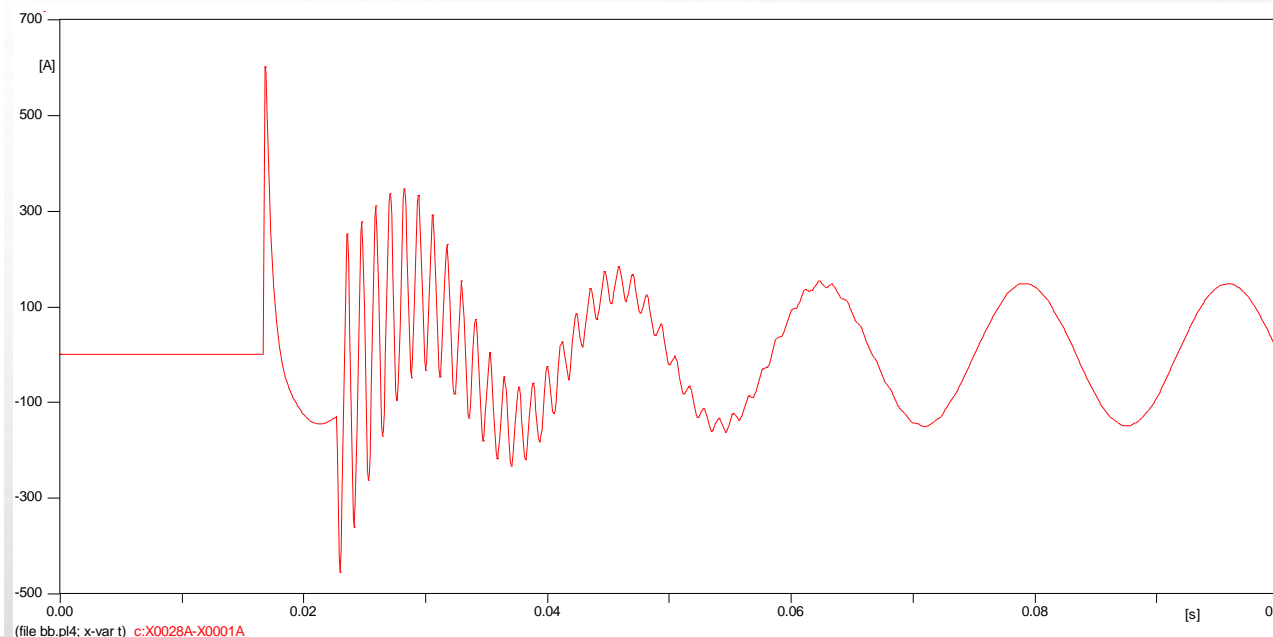
CIRCUITO TRIFÁSICO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESITOR DE PRÉ INSERÇÃO

RESULTADO: ENERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR DE PRÉ-INSERÇÃO.

- A CORRENTE DE PICO MÁXIMA TRANSITÓRIA SIMULADO É DE 602 A E UMA FREQUÊNCIA 813 HZ COM UMA TENSÃO TRANSITÓRIA EM TORNO DE 1PU. E AINDA POR MEIO DA EQUAÇÃO (5) OBTIVEMOS UM VALOR DE 849 HZ COM DESVIO DE 5% ENTRE VALORES CALCULADOS E SIMULADOS. QUANTO A TENSÃO PRATICAMENTE NÃO HOUE O PICO DE TENSÃO, O QUE RESPALDA A EFETIVIDADE DO MÉTODO PARA ATENUAR AS SOBRETENÇÕES.



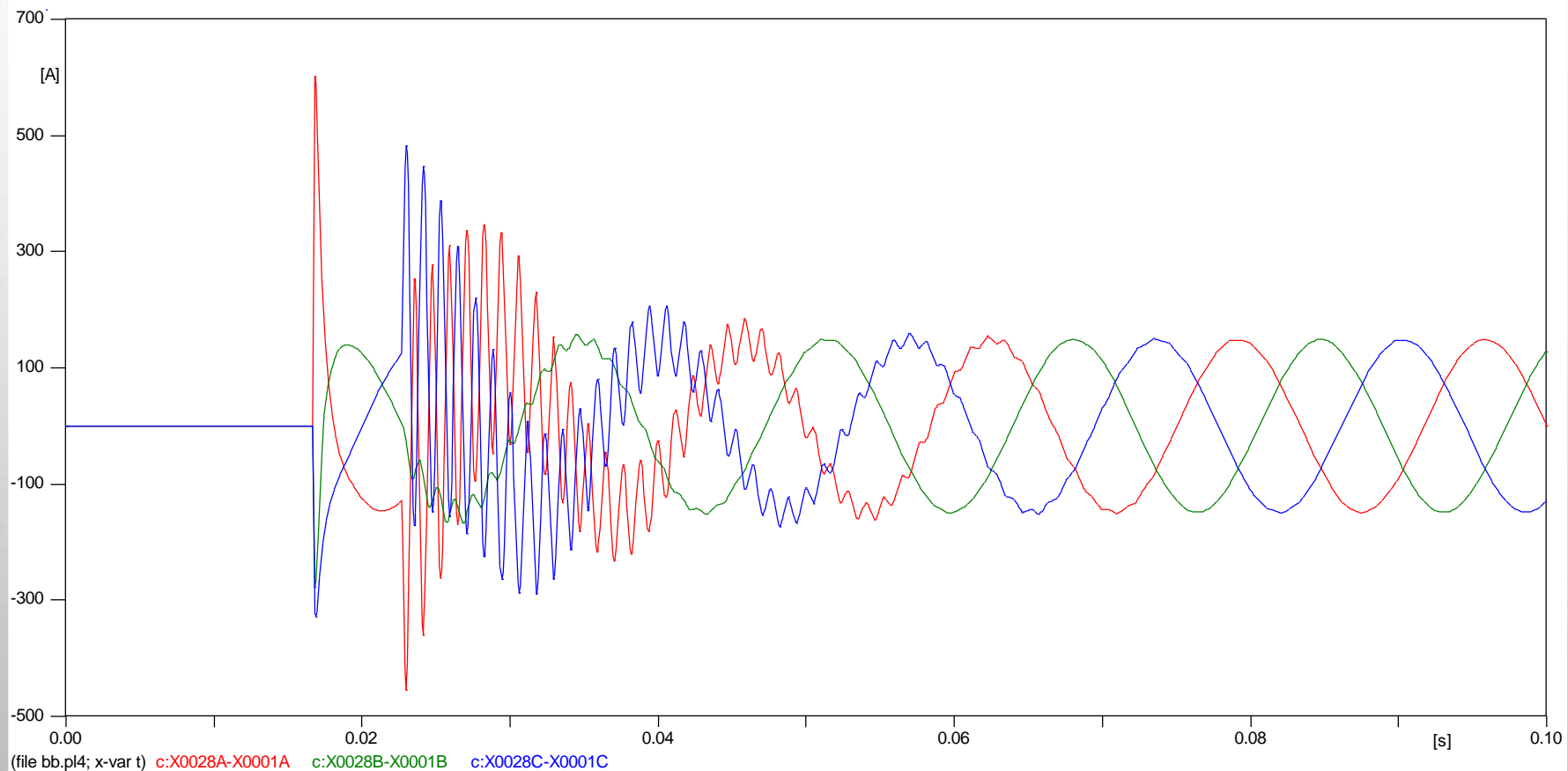
TENSÃO DE ENERGIZAÇÃO COM RESISTOR DE PRÉ INSERÇÃO



CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO COM RESISTOR DE PRÉ INSERÇÃO

RESULTADO: ENERGIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES COM RESISTOR DE PRÉ-INSERÇÃO.

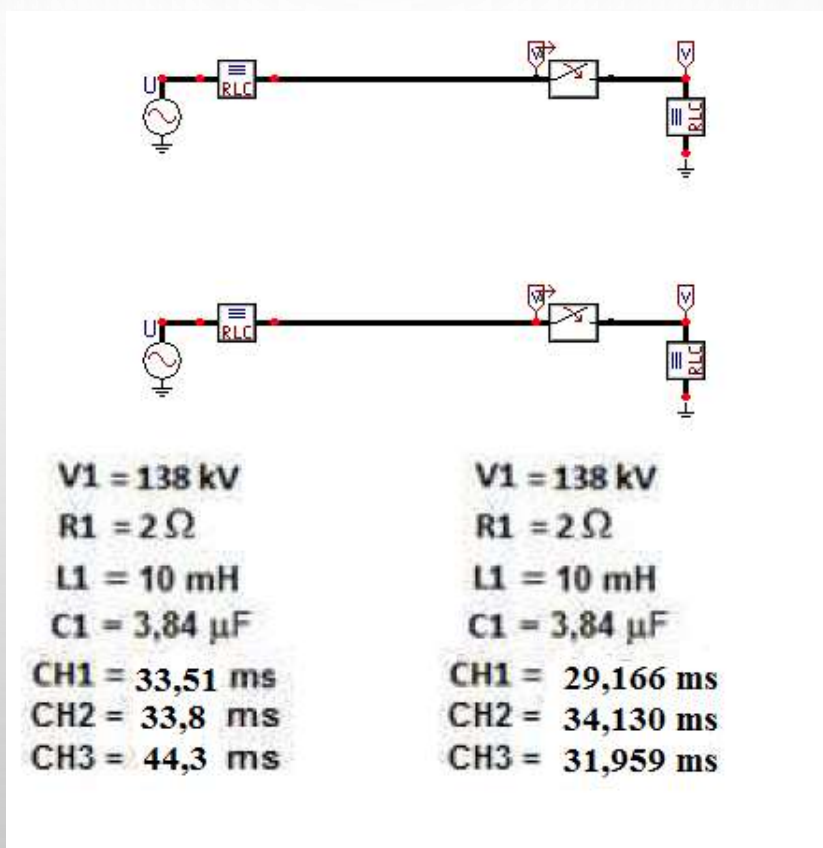
Com a presença do resistor de pré-inserção a corrente transitória teve uma redução de quase 70% e a frequência em 4%. Esse método que tem por objetivo atenuar sobretensões de manobra.



CORRENTE TRIFÁSICA COM RESISTOR DE PRÉ-INSERÇÃO

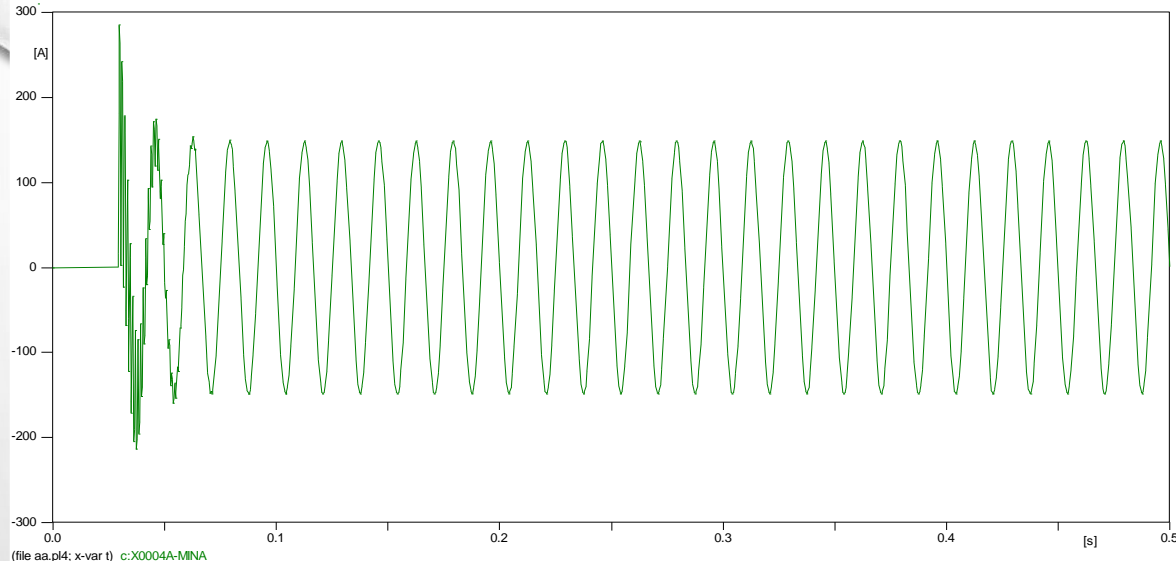
SIMULAÇÃO 4: CIRCUITO TRIFÁSICO PARA CHAVEAMENTO CONTROLADO

É FEITO ATRAVÉS DO CONTROLE DO TEMPO DE FECHAMENTO DA CHAVE QUE REPRESENTA UM DISJUNTOR NO CIRCUITO



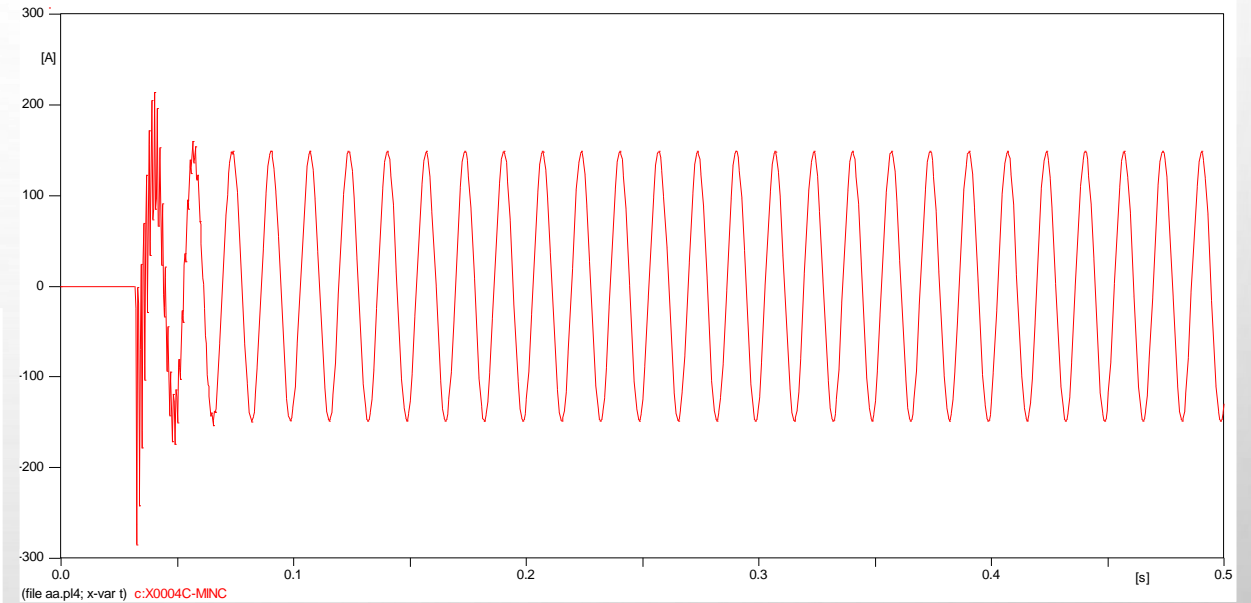
CIRCUITO TRIFÁSICO PARA CHAVEAMENTO CONTROLADO

RESULTADO: Circuito trifásico para chaveamento controlado

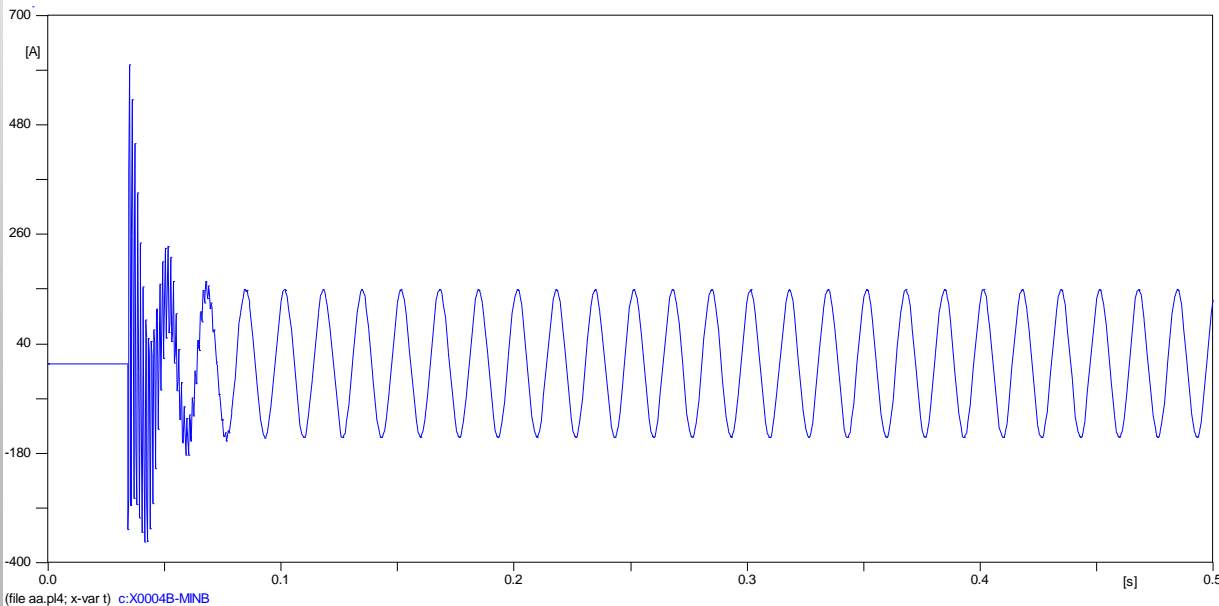


CORRENTE NA FASE A CHAVEADA

O pico de corrente transitória foi de 285 A muito menor se comparado aos 2035,9 A da energização direta no pico da onda de tensão.



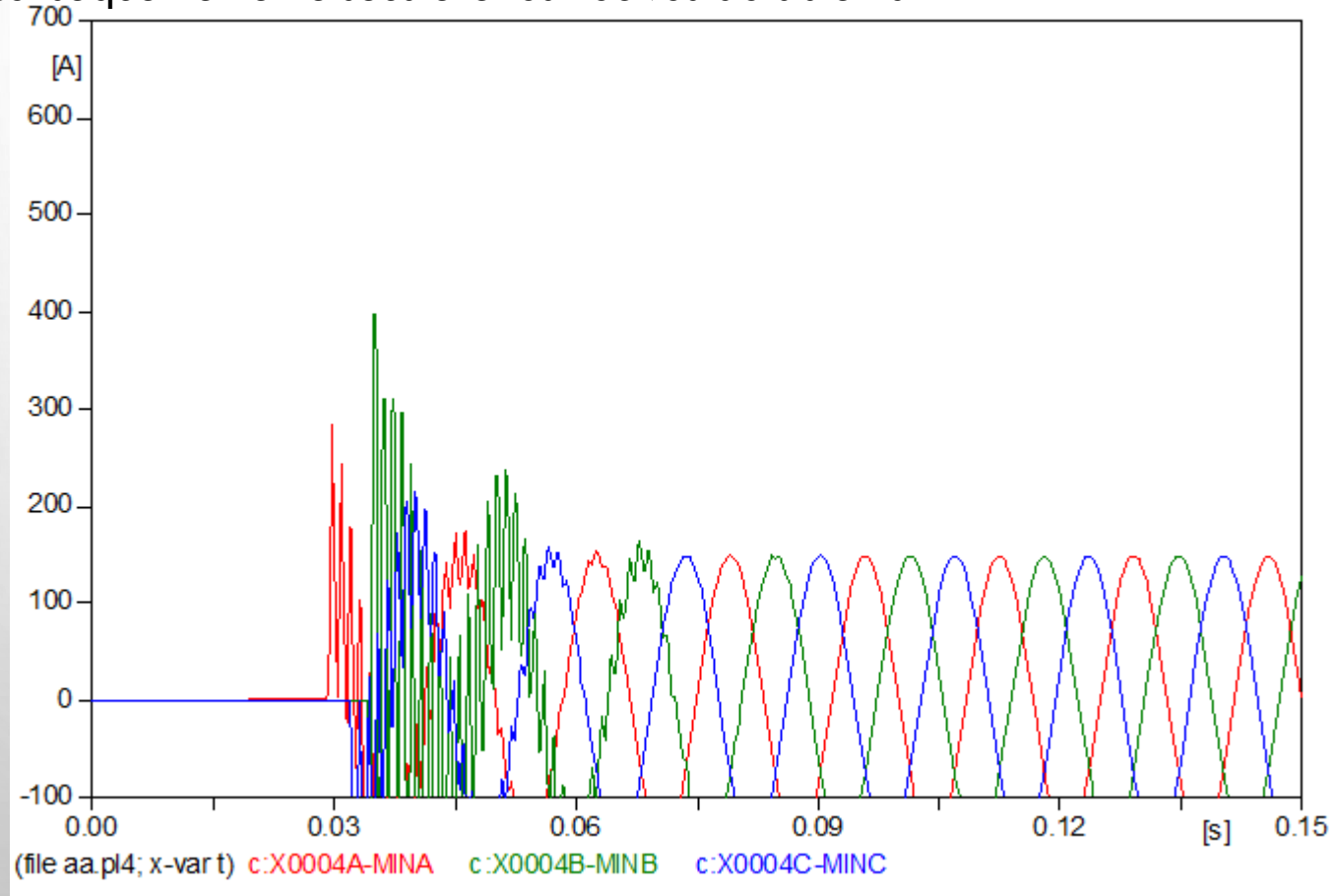
CORRENTE NA FASE C CHAVEADA



CORRENTE NA FASE B CHAVEADA

RESULTADO: CIRCUITO TRIFÁSICO PARA CHAVEAMENTO CONTROLADO

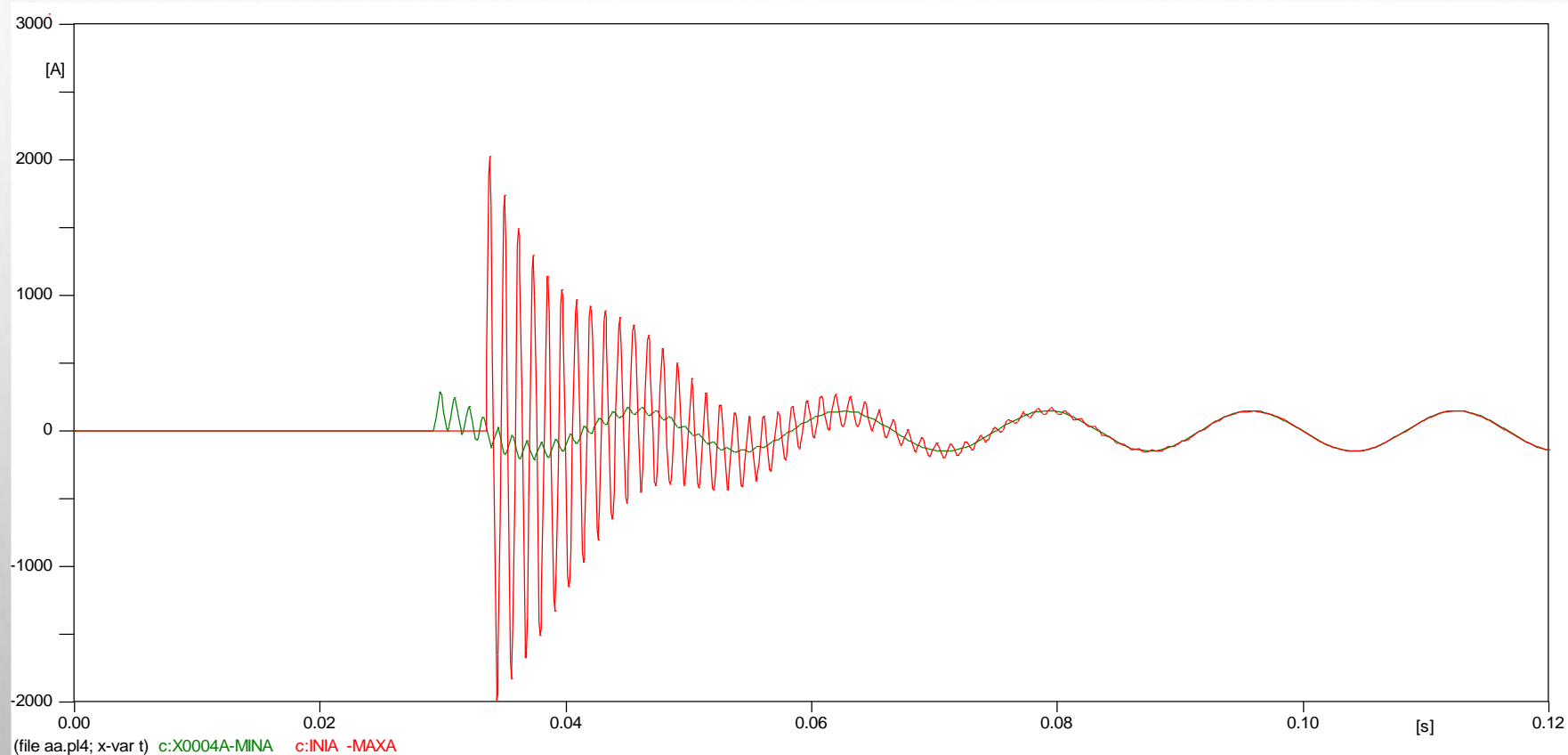
É o método com mais efetividade demonstrada, tendo em vista que a corrente transitoria diminui e conseqüentemente seus efeitos nocivos ao sistema.



CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO TRIFÁSICA COM CHAVEAMENTO CONTROLADO

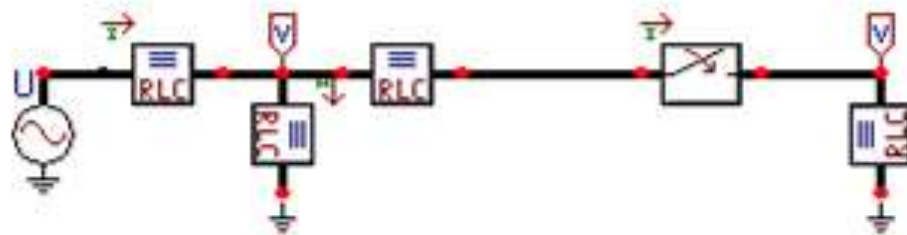
RESULTADO: CORRENTE DE MÁXIMA E MINIMA DE FECHAMENTO

O transitório se extinguir muito mais rápido com o pico do *inrush* representando 1,91 pu da corrente nominal.



CORRENTE DE MÁXIMA E MINIMA DE FECHAMENTO

SITUAÇÃO 2 : CIRCUITO TRIFÁSICO DE ENERGIZAÇÃO BACK TO BACK

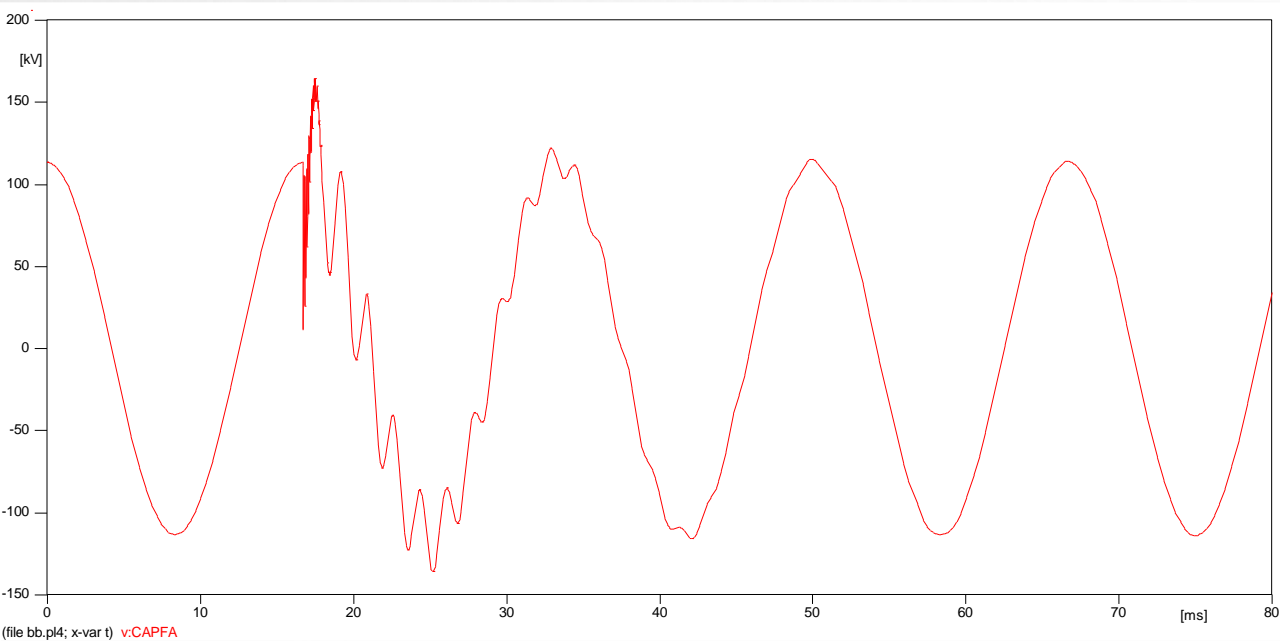


V1 = 138 kV
R1 = 2 Ω
R2 = 50 m Ω
L1 = 10 mH
L2 = 0,1 mH
C1 = C2 = 3,84 μ F
CH1 = 16,67 ms

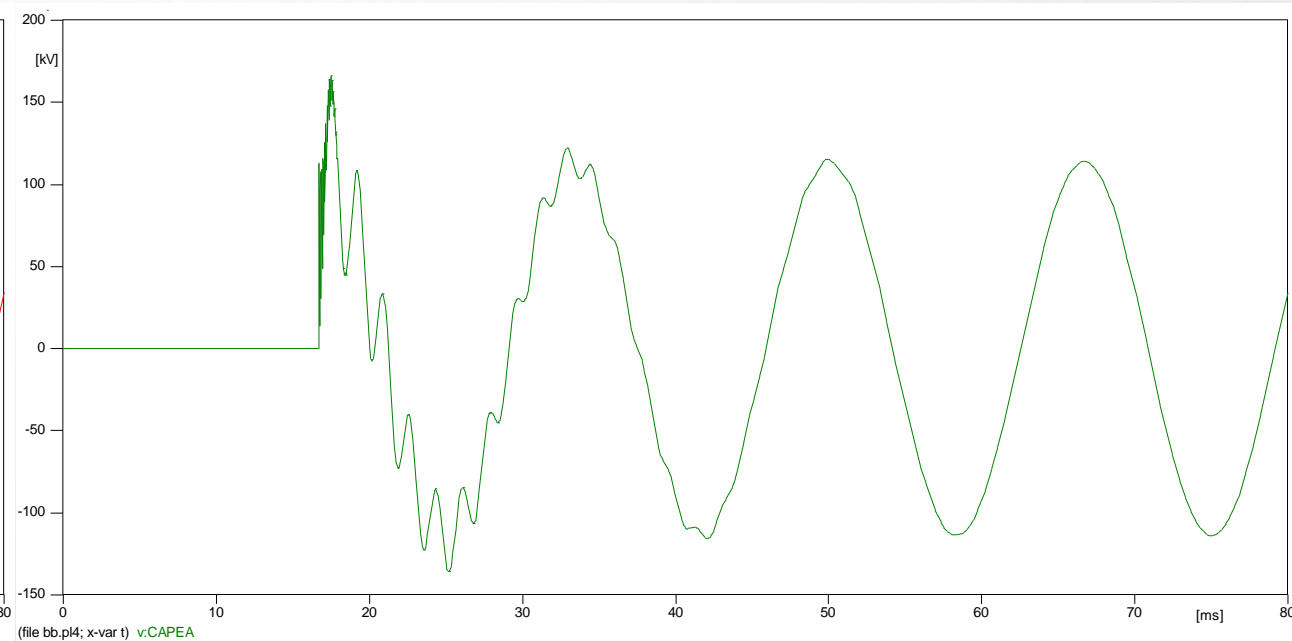
CIRCUITO PARA ENERGIZAÇÃO BACK-TO-BACK

Resultado: Circuito trifásico de Energização Back to Back

O TRANSITÓRIO NOS CAPACITORES APRESENTOU UMA TENSÃO 165,97KV, EQUIVALENTE A UMA SOBRETENSÃO DE 1,47 PU EM RELAÇÃO A TENSÃO DO BARRAMENTO.



(file bb.pl4; x-var t) v:CAPFA



(file bb.pl4; x-var t) v:CAPEA

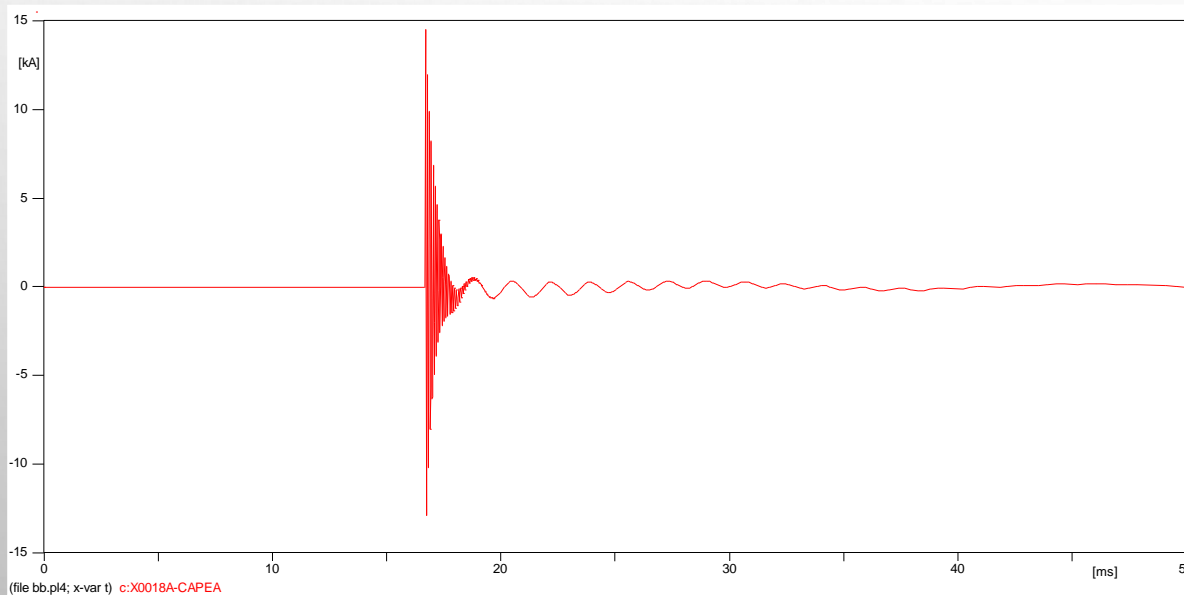
TENSÃO NO CAPACITOR ENERGIZADO

TENSÃO NO CAPACITOR CHAVEADO

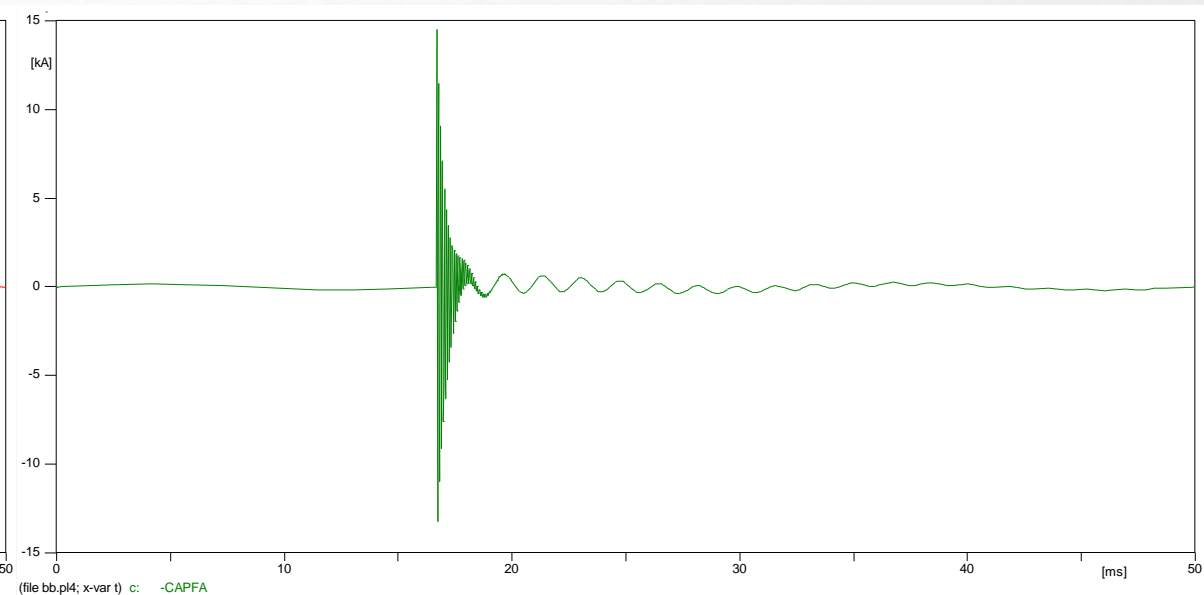
RESULTADO: Circuito trifásico de Energização Back to Back

TRANSITÓRIO DE CORRENTE FOI ENCONTRADO POR MEIO DE SIMULAÇÃO UM PICO MÁXIMO DE 14521 A E UMA FREQUÊNCIA $f = 12246\text{HZ}$

E OS VALORES CALCULADOS PARA CORRENTE MÁXIMA DE PICO E PARA A FREQUÊNCIA TRANSITÓRIA SÃO RESPECTIVAMENTE DE 14863 A E 12065 HZ.



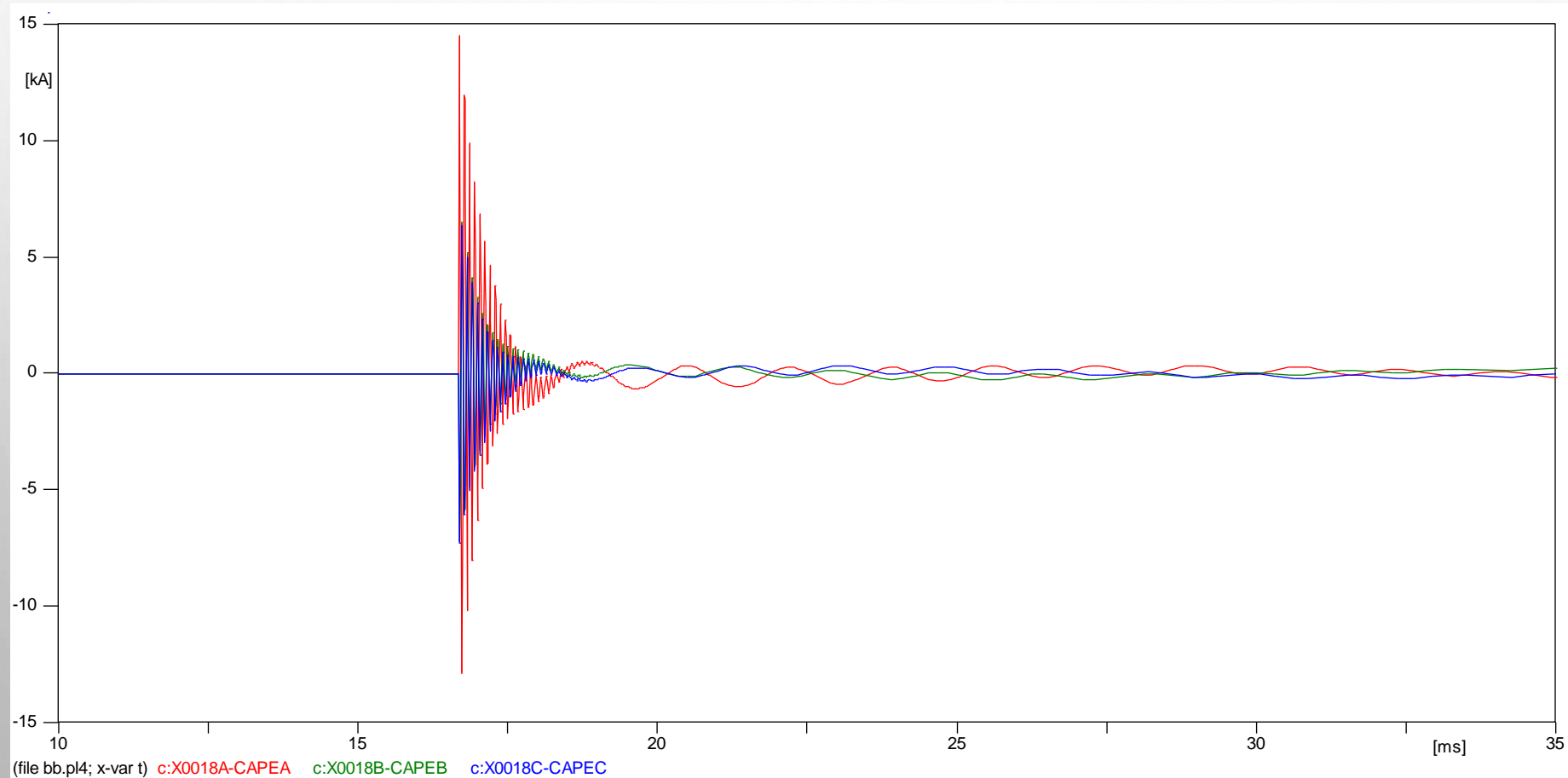
CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO BACK- TO-BACK
ANTES DE SER CHAVEADA



CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO BACK- TO-BACK
CHAVEADA

CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO TRIFÁSICA *BACK- TO- BACK*

- ANALISANDO OS VALORES CALCULADOS E SIMULADOS OBTIVEMOS UM DESVIO DE 2,35 % PARA A CORRENTE E DE 1,47 % PARA A FREQUÊNCIA.



CONCLUSÃO

- OS RESULTADOS OBTIDOS POR SIMULAÇÃO FORAM COMPATÍVEIS COM OS OBTIDOS A PARTIR DAS EXPRESSÕES MATEMÁTICAS DEDUZIDAS E DOS RESULTADOS REPORTADOS NA LITERATURA.
- OS MÉTODOS DE MITIGAÇÃO MAIS USUAIS PARA O FENÔMENO CITADO, QUE FORAM: RESISTOR DE PRÉ-INSERÇÃO, REATOR LIMITADOR, CHAVEAMENTO CONTROLADO.
- A EFICIÊNCIA DAS TÉCNICAS DE ATENUAÇÃO DO COMPORTAMENTO TRANSITÓRIO APRESENTA REDUÇÕES SIGNIFICATIVAS NA CORRENTE DE *INRUSH*, SOBRETENSÕES E FREQUÊNCIA TRANSITÓRIA.

REFERÊNCIAS

- (1) MENESES, D. A. V. A. ESTUDO DE SURTOS DECORRENTES DE MANOBRA EM BANCOS DE CAPACITORES TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO. CAMPINA GRANDE - PB, 2010. 47P. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.
- (2) PAMPLONA, P. M. F. JUNIOR, F.D. NEVES, A. L. W. SOBRETENSÕES TRANSITÓRIAS DECORRENTES DE MANOBRAS DE BANCOS DE CAPACITORES. DISPONÍVEL EM<[HTTPS://DOCPLAYER.COM.BR/55954452-SOBRETENSOES-TRANSITORIAS-DECORRENTES-DE-MANOBRAS-DE-BANCOS-DE-CAPACITORES.HTML](https://docplayer.com.br/55954452-sobretensoes-transitorias-decorrentes-de-mano-bras-de-bancos-de-capacitores.html) > ACESSO EM 21 DE JUNHO DE 2022.
-
- (1) MOURA, D.P. F. D., DANTAS, C. M. K. R., NEVES, A. L. W, ACO, JUNIOR, F. D. ESTUDOS DE SURTOS DECORRENTES DE MANOBRAS EM BANCOS DE CAPACITORES- PROCEDIMENTOS COMPUTACIONAIS E MEDIDAS MITIGATÓRIAS. DISPONÍVEL EM <[HTTP://WWW.SWGE.INF.BR/ANAIS/SBSE2012/PDFS/ARTIGOS/96708.PDF](http://www.swge.inf.br/anaais/sbse2012/pdfs/artigos/96708.pdf) > ACESSO 21 DE JUNHO DE 2022