

## Roman PARTYKA

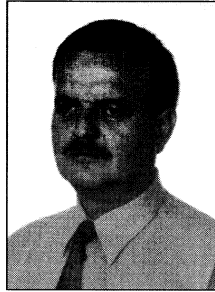
GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF ELECTRICAL AND CONTROL ENGINEERING, DEPARTMENT OF HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY AND POWER ELECTRICAL APPARATUS

# Calculation and measurements of deflection of doors from pressure during fault arc inside M. V. switchgears

Dr inż. Roman PARTYKA

He received his M.Sc. (1972) and Ph.D. (1987) degrees in Electrical Engineering from the Gdańsk University of Technology. At present he is researcher at the Gdańsk University of Technology, Chair of High Voltages and Electrical Apparatus. His area of interest is power engineering, particularly the fault arc in switchboards.

rpartyk@ely.pg.gda.pl



### Abstract

The influence of overpressure with aerial isolation on switchgear doors during fault arc is discussed in the article. Proposals of calculation of deflection and stresses are introduced, for doors under this overpressure. Also model switchgear is introduced in doors, in the results of investigations of experimental stresses during fault arc inside a switchgear compartment. The results of experimental investigations are compared with the results of calculations.

### Streszczenie

W artykule omówiono oddziaływanie nadciśnienia na drzwi rozdzielnic z izolacją powietrzną podczas zwarć łukowych. Nadciśnienia w zależności od mocy zwarć łukowych oraz przekrojów wypływowych reduktorów nadciśnienia pokazano na rys. 1. Przedstawiono propozycję obliczania drgań w drzwiach wg zależności (1) pod wpływem nadciśnienia. Przy obliczaniu drgań powierzchni środkowej drzwi rozdzielnic uwzględniono przebieg ciśnienia wymuszającego wg zależności (5), odzwierciedlający ciśnienia podczas zwarć łukowych wewnątrz rozdzielnic osłoniętych ze szczelinami odciążającymi. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 3 i 4. Przedstawiono też wyniki badań eksperymentalnych naprężeń w drzwiach podczas zwarć łukowych wewnątrz rozdzielnic modelowej. Na podstawie pomiarów naprężeń obliczono maksymalne ugięcia w środku drzwi w zależności od nadciśnienia. Wyniki przedstawiono na rys. 5. Na rys. 6 pokazano oscylogramy z badań. Porównano wyniki obliczeń z wynikami badań laboratoryjnych.

**Keywords:** switchgears, fault arc, short-circuit currents

**Słowa kluczowe:** rozdzielnice, łuk zwarcioowy, prądy zwarcioowe

## 1. Introduction

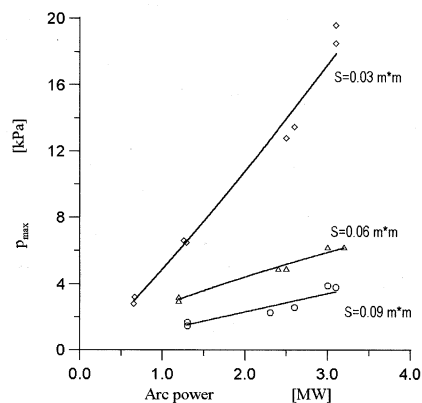
During fault arc inside a switchgear compartment with aerial isolation from high temperature of electrical arc, there follows a fast rise of overpressure. Therefore switchgears should be characterized by suitable mechanical endurance. Covers and doors as well as their fixing should not undergo damage. Covers and doors can not be susceptible to tearing off from switchgear. Rigidity and good fixing of doors, covers and casings, during fault arc short-circuits, is for the safety of people who happen to be in the vicinity of the switchgear - to prevent the outflow of high-temperature ionized gases. The appropriate mechanical endurance of doors and covers also guarantees fire-safety.

Fault arcs are particularly dangerous in high-voltage switchgears due to the large short-circuit energy.

## 2. Overpressure inside switchboards during fault arc

Heating of the air in the surroundings of an electrical arc during a fault in the switchgear follows quickly inside, and causes further

the growth of thrust. Pressure during short-circuit may be reduced by relieving arrangements installed on the roof of the switchgear. Such an outflow of gases in a safe direction does eliminates the threat to persons in the vicinity of the switchgear. Arrangements relieving the pressure can also be inside the switchgear. The maximum values and oscillations of overpressure depend on the short-circuit power, the volume of air inside the switchgear and on the inside cross-section of the relieving channel. Regarding the results of short-circuits, the duration was within 0.1 sec. The author guided the investigations of the experimental overpressures in model switchgear with a volume  $V=0.96 \text{ m}^3$  [1]. Selected results of these investigations are introduced in fig. 1.



**Fig. 1.** Overpressure (maximal values)  $p_{max}$  inside a switchgear in dependence of arc power; volume  $V=0.96 \text{ m}^3$ ,  $S$  - cross section of overpressure relief devices

**Rys. 1.** Nadciśnienie (wartości maksymalne)  $p_{max}$  wewnątrz rozdzielnic w zależności od mocy łuku; objętość  $V=0,96 \text{ m}^3$ ,  $S$  - przekrój szczelin odciążających

## 3. Calculation of vibrations and deflection of median surface in doors

The width cubicles of switchgears as well as practical apparatus affect the dimensions of the doors. For example, in switchgears with cubicles about 550 mm wide, the doors will be 520 mm wide, and 160...1200 mm high. The thickness of sheet metal is 2 mm. All sides are bent at a height of 20 mm. Due to high pressures, the doors are additionally strengthened. Strengthening of doors is constructed as a truss with four U-profiles. Calculations were executed for strengthened doors with the dimensions 520 mm x 480 mm.

The calculated stiffness of doors is  $D=8.54 \text{ kNm}$ , and superficial mass density  $\bar{\rho}=24 \text{ kg / m}^2$ .

For calculation of the deflection  $w$  of doors, the equation (1) was used [2]:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{D}{\bar{\rho}} \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = \frac{p(t)}{\bar{\rho}} \quad (1)$$

In equation were accepted initial conditions was:

$$w(x, y, 0) = 0, \quad \left. \frac{\partial w(x, y, t)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0 \quad (2)$$

Additional research on free oscillations of doors shows that one should consider the boundary condition, similarly as for plates with edges simply-supported:

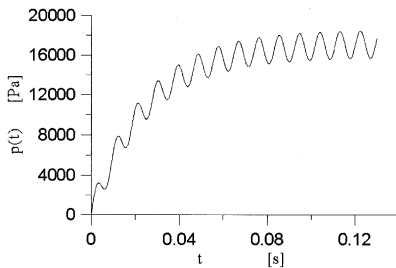
$$w(a, y, t) = 0, \quad \left. \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x^2} \right|_{x=a} = 0 \quad (3)$$

$$w(x, b, t) = 0, \quad \left. \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial y^2} \right|_{y=b} = 0 \quad (4)$$

The results of investigations of pressure on the ground were considered in calculations of the model of overpressure (5):

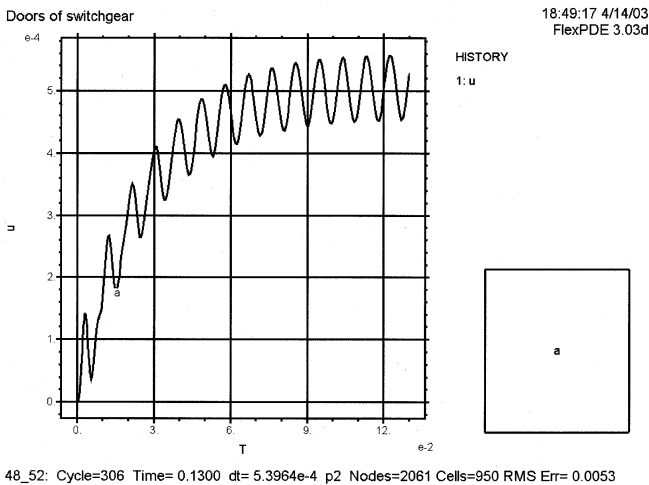
$$p(t) = 17300 \left( 0.08 \sin(680t) + \left( 1 - e^{-\frac{t}{0.025}} \right) \right) \quad (5)$$

The overpressure is equal in every point of the plane of doors. Oscillations of the model of overpressure were shown in fig. 2.



**Fig. 2.** Overpressure model according to formula (5); maximum amplitude  $p_{max} = 18.5$  kPa  
**Rys. 2.** Model nadciśnienia odpowiednio do wyrażenia (5); amplituda maksymalna  $p_{max} = 18,5$  kPa

The results of calculations of deflection in the centre of doors and the median surface of doors are introduced in fig. 3 and 4. The calculations were executed on the basis of the finite elements method (FEM).



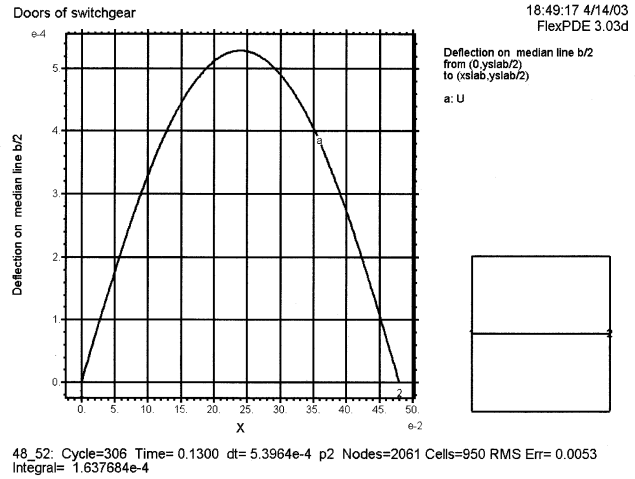
**Fig. 3.** Results of calculation of deflection  $w$  of strengthened doors by overpressure  $p(t)$  according to (5)  
**Rys. 3.** Wyniki obliczeń ugięcia  $w$  w drzwi wzmocnionych przy nadciśnieniu  $p(t)$  wg formuły (5)

### 4. Results of laboratory tests

It model switchgear, with a volume  $V=0.96$  m<sup>3</sup> and overpressure relief device with cross-section  $S=0.03$  m<sup>2</sup>, laboratory tests of stresses in doors during fault arcs were executed. The strengthened doors had dimensions 480 mm x 520 mm and were fixed to the construction by four screws. Computed stiffness was  $D=8.54$  kNm. Stresses were measured by 2 stuck strain gauges at the center of the doors at an angle of  $\varphi = \arctg \sqrt{\nu}$  to the  $x$  co-ordinate ( $x$  - parallel to the shorter edge,  $\nu$  - Poisson ratio). Half-bridge measurement system was applied. It the maximum deflection in the centre of the doors calculation was performed on the basis of formula (6):

$$w_{max} = \frac{0.1896 a^2 \sigma_{max} (1 + 1.61 \beta^3)}{E h (1 + 2.21 \beta^3)} \quad (6)$$

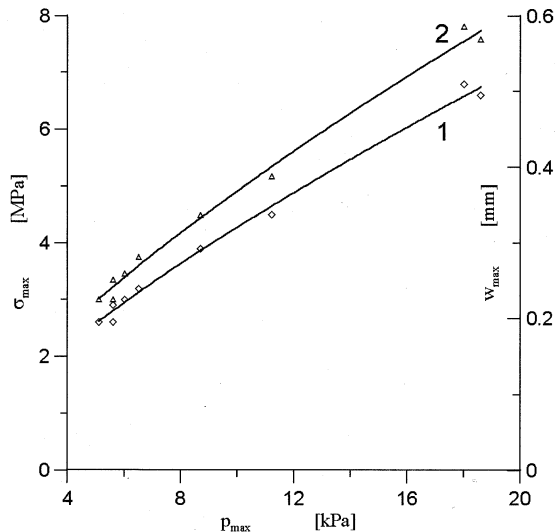
where:  $\sigma_{max}$  - the maximum values of stresses from measurements,  $a$  - shorter edge;  $a=480$  mm,  $\beta=0.923$ ,  $E$  - Young's modulus;  $E=2.1 \cdot 10^{11}$  Pa,  $h$  - thickness of sheet metal;  $h=2$  mm.



**Fig. 4.** Results of calculation of deflection  $w$  on median line  $b/2$  of strengthened doors by overpressure  $p(t)$  according to (5), for time  $t=0.13$  sec.  
**Rys. 4.** Wyniki obliczeń ugięcia  $w$  na linii środkowej  $b/2$  drzwi wzmocnionych przy nadciśnieniu  $p(t)$  wg formuły (5), dla czasu  $t=0,13$  s

The overpressures and short-circuit powers by fault arcs were also measured.

The results of investigations are shown in fig. 5.



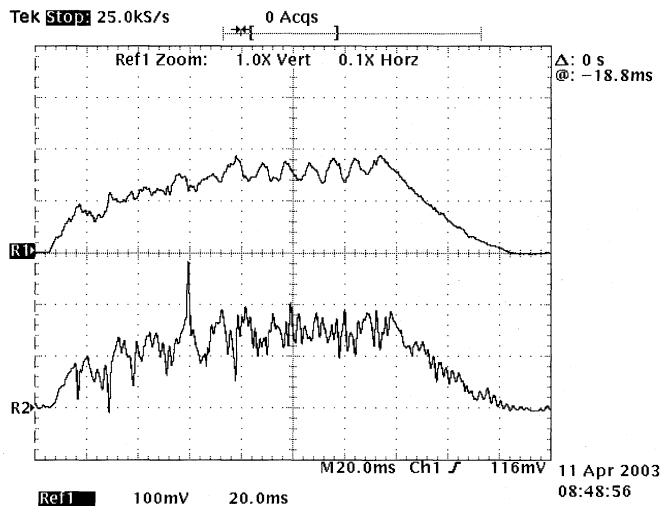
**Fig. 5.** Results of measurements of maximum stresses  $\sigma_{max}$  (1) and calculations of maximum deflections  $w_{max}$  (2) in dependence of  $p_{max}$  for strengthened doors of 480 mm x 520 mm  
**Rys. 5.** Wyniki pomiarów maksymalnych naprężeń  $\sigma_{max}$  (1) i obliczeń maksymalnych ugięć  $w_{max}$  (2) w zależności od  $p_{max}$  dla drzwi wzmocnionych 480 mm x 520 mm

In fig. 6, the records from laboratory tests are shown.

### 5. Conclusions

- The introduced computational methods can be practical for calculation of maximum stresses in switchgear doors during fault arcs. The differences between the results of calculations and the results of measurements was up to 5 %.
- Maximum amplitude and frequency of oscillation of model overpressure should be adapted to the character of the overpressure during short-circuits with electrical arc inside the switchboard.
- The boundary conditions obtained in calculations for doors in switchboards are proper and conformable with the results of investigations of eigenfrequency doors.

The author has the pleasure to acknowledge that the described investigations were carried out in the frames of project nr 8T 10A 059 21, sponsored by the Polish Committee of Scientific Research.



**Fig. 6.** Measurement records of overpressure (R1) inside the switchgear and stresses (R2) in strengthened doors of 480 mm x 520 mm; maximum overpressure  $p_{\max} = 18.5$  kPa, maximum stress  $\sigma_{\max} = 6.6$  MPa (maximum deflection  $w_{\max} = 0.57$  mm), arc power  $P_{\text{arc}} = 3$  MW, cross section of overpressure relief device  $S = 0.03$  m<sup>2</sup>

**Rys. 6.** Oscylogramy nadciśnienia w rozdzielni (R1) i naprężeń (R2) w drzwiach wzmocnionych 480 mm x 520 mm; maksymalne nadciśnienie  $p_{\max} = 18,5$  kPa, maksymalne naprężenie  $\sigma_{\max} = 6,6$  MPa (maksymalne ugięcie  $w_{\max} = 0,57$  mm), moc łuku  $P_{\text{arc}} = 3$  MW, przekrój szczeliny odciążającej  $S = 0,03$  m<sup>2</sup>

## References

- [1] R. Partyka: The disturbance arc in M. V. switchboards with pressure reducing devices. 8<sup>th</sup> Int. Symp. SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN POWER SYSTEMS, Brussel (Belgium) 1992.
- [2] Drgania i fale /pod red. S. Kaliskiego. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1986.

**Tytuł:** Obliczanie i pomiary ugięcia drzwi od ciśnienia podczas zwarć łukowych wewnątrz rozdzielnic średnionapięciowych

Artykuł recenzowany

## RECENZJE

Kazimierz Wiatr

# Akceleracja obliczeń w systemach wizyjnych

Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003

W chwili obecnej obserwuje się stały wzrost zastosowań systemów wizyjnych w sterowaniu, monitorowaniu, badaniach naukowych. Związane jest to z ciągłym wzrostem mocy obliczeniowej komputerów. Jednak i tak w wielu zastosowaniach w szczególności w robotyce moc ta nie jest wystarczająca do realizacji bardzo szybkich i precyzyjnych ruchów robota. W systemach takich istnieje konieczność budowy rozwiązań dedykowanych, będących najczęściej systemami wieloprocesorowymi, o dużych mocach obliczeniowych.

Pojęcie akceleracji obliczeń obejmuje szeroki zakres zagadnień związanych z wbudowywaniem do systemów komputerowych urządzeń przyspieszających ich pracę i zwiększających w ten sposób osiągnięte moce obliczeniowe. Konieczność stosowania akceleracji obliczeń związana jest z dwoma rodzajami obliczeń: w bardzo szybkich systemach czasu rzeczywistego lub w obliczeniach na wielkiej liczbie danych. Systemy wizyjne czasu rzeczywistego spełniają jednocześnie oba te kryteria. W omawianej książce zaprezentowano metody akceleracji obliczeń w systemach wizyjnych.

Po krótkim wprowadzeniu w problematykę systemów wizyjnych w rozdziale 2 zdefiniowano pojęcie akceleracji obliczeń oraz sprecyzowano wymagania szybkiego przetwarzania danych obrazowych w systemach wizyjnych czasu rzeczywistego.

W rozdziałach 3 i 4 omówiono operacje przetwarzania obrazów, odpowiednio bezkontekstowe i kontekstowe, uwzględniając w ten sposób wielkość otoczenia przetwarzanego piksela obrazu uwzględnianego w realizowanych obliczeniach. W rozdziałach tych zamieszczono jednocześnie opis specjalizowanych metod realizacji obliczeń związanych z tymi operacjami. Autor wprowadza pojęcie procesora sprzętowego do skrótego określenia specjalizowanych procesorów sprzętowych, których wewnętrzna architektura umożliwia wykonywanie tylko jednej funkcji obliczeniowej, gwarantując w zamian bardzo krótki czas ich realizacji.

W rozdziale 5 przytoczono szereg przykładowych rozwiązań modułów pozyskiwania i akwizycji obrazów, znanych pod nazwą *frame grabberów*, w tym wyposażonych w specjalizowane procesory sprzętowe, zapewniające bardzo krótki czas realizacji wybranych operacji wizyjnych.

W rozdziale 6 przedyskutowano przydatność różnych architektur wieloprocesorowych w budowie systemu wizyjnego o wysokich parametrach czasowych. Zaprezentowano klasyczną klasyfikację architektur komputerowych, wprowadzoną przez Flynn'a i dokonano wyboru architektury MISD (ang. *Multiple Instruction stream Single Data stream*), jako najbardziej efektywnej w przetwarzaniu dużych bloków danych wizyjnych.

W kolejnym rozdziale Autor przytoczył szereg opracowanych i przetestowanych w ramach prowadzonych badań procesorów sprzętowych implementowanych w układach programowalnych FPGA: procesor filtracji medianowej, procesor obliczający histogram, procesor LUT (ang. *Look Up Table*), procesor logiczny, konwolwer i procesor morfologiczny. Implementacja procesorów sprzętowych w układach programowalnych FPGA może być wspomagane nowoczesnymi narzędziami projektowania, wykorzystującymi programowanie w językach wysokiego poziomu. W rozdziale 8 zaprezentowano pakiet AuToCon (ang. *Automated Tool for Convolution processor design*) do automatycznej generacji kodu VHDL procesora konwolucji. Przedstawiono także metody parametryzacji szybkości pracy procesorów i użytych zasobów układów FPGA.

W kolejnym rozdziale omówiono metody optymalizacji implementacji

w układach FPGA: algorytm zachłanny, przeszukiwanie wyczerpujące, przeszukiwanie ograniczone, symulowane wyżarzanie i programowanie genetyczne.

W rozdziale 10 przedstawiono sprzętowe rozwiązanie obliczania estymatorów ruchu, a w rozdziale 11 architekturę wieloprocesorową z procesorami DSP do realizacji obliczeń wyższych poziomów przetwarzania i analizy obrazów. Przedstawiono także wyniki działania programu do segmentacji obrazu i lokalizacji obiektów, obliczania ich powierzchni oraz dekodowania ich kształtu.

W rozdziale 12 zaprezentowane najnowsze możliwości sprzętowe związane z dynamiczną rekonfigurowalnością: metody rekonfiguracji, metody optymalizacji procesu rekonfigurowania układów FPGA oraz efektywność stosowania systemów rekonfigurowalnych, szczególnie z uwzględnieniem stosowania systemów statycznie rekonfigurowalnych CTR (ang. *Compile Time Reconfiguration*) i dynamicznie rekonfigurowalnych RTR (ang. *Run Time Reconfigurable*).

W rozdziale 13 zaprezentowano szereg przykładowych rozwiązań platform CCM (ang. *Custom Computing Machines*) o zróżnicowanym stopniu integracji obliczeniowej danej platformy z procesorem głównym systemu, począwszy od silnie zintegrowanego koprocatora, a skończywszy na rozbudowanym modułowym systemie rekonfigurowalnym.

Nowoczesne projektowanie złożonych systemów obliczeniowych to zintegrowane projektowanie sprzętu i oprogramowania. Metoda ta znana pod nazwą *Hardware/Software CoDesign* podejmuje to wyzwanie formułując przesłanki dla poszczególnych elementów składowych systemu cyfrowego. W rozdziale 14 zaprezentowane przykładowe rozwiązania w tym zakresie. Integracja sprzętu i oprogramowania to nie tylko projektowanie metodą *Hardware/Software CoDesign*, ale także integracja całego sprzętu w jednym układzie SoC (ang. *System on Chip*). W rozdziale 14 omówiono najnowsze układy programowalne serii Virtex II Pro firmy Xilinx.

Wykaz literatury obejmuje 532 pozycje, w tym ponad 30 prac własnych Autora.

Monografia z jednej strony jest wynikiem wieloletnich prac badawczych autora, a z drugiej przeglądem nowoczesnej wiedzy z zakresu szybkich systemów wizyjnych. Zawiera nowatorski, wyjątkowo bogaty, aktualny materiał, dotyczący rozwiązań sprzętowych, służących do przyspieszania procedur obliczeniowych w systemach wizyjnych, implementowanych głównie w układach FPGA. W książce na przykładzie systemów wizyjnych, pracujących w trybie czasu rzeczywistego, zaprezentowano nowoczesne metody akceleracji obliczeń w systemach przeznaczonych do przetwarzania dużych ilości danych. Wiele uwagi poświęcono procesorom, architekturze ich połączeń, a także strukturom wieloprocesorowym.

Autor z jednakową wagą traktuje problemy sprzętowe, algorytmiczne i programowe, przez co praca ma charakter interdyscyplinarny, a przedstawione metody projektowania są bardzo nowoczesne i mające zastosowanie nie tylko w projektowaniu systemów wizyjnych, ale wszędzie tam gdzie jest konieczność realizacji złożonych algorytmów w możliwie krótkim czasie.

Tą bardzo aktualną pozycję literatury polecam badaczom, inżynierom i studentom, którzy zmuszeni są w swoich zastosowaniach projektować i wykonywać układy obliczeniowe o bardzo dużej wydajności. Moim zdaniem książka ta jest pozycją cenną i potrzebną, gdyż pokazuje jak można w sposób efektywny rozwiązywać bardzo złożone problemy projektowania układów sterowania i monitorowania.

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl  
Akademia Górniczo-Hutnicza