

621.317.3
531.7
004.4

Michał BABIUCH
Paweł SCHMIDT
Marek SOŁEK

UKŁAD DO POMIARU WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH I MECHANICZNYCH W „STACJI WIELKICH MOCY”

STRESZCZENIE *Omówiono wdrożony w Laboratorium Badawczym Aparatury Rozdzielczej w IEL Warszawa złożony układ pomiaru, wielkości elektrycznych i mechanicznych, wraz z oprogramowaniem wspomagającym rejestrację i analizę danych. Układ współpracuje z klasycznymi przetwornikami: prądu jak boczniki, przekładniki prądowe, napięcia jak dzielniki przekładniki napięciowe, czujnikami ruchu, przetwornikami ciśnienia, czujnikami naprężeń. Sygnały pomiarowe są separowane za pomocą układów optoelektronicznych i rejestrowane rejestratorem (transient-recorder) ADAM firmy Rene Maurer AG Electronic Instrument. Układ poprzez interfejs HPiB współpracuje z komputerem gdzie dane są obrabiane i analizowane za pomocą programu „WinAdam”.*

mgr inż. Michał BABIUCH

Zakład Wysokich Napięć i Aparatury Rozdzielczej
Instytut Elektrotechniki
ul. M. Pożaryskiego 28 , 04-703 Warszawa
tel. 22 812-23-60, , e-mail: mbabiuch@iel.waw.pl

mgr inż. Paweł SCHMIDT, mgr inż. Marek SOŁEK

Zakład Elektrotechniki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 12 617-34-48, e-mail: pschmidt@agh.edu.pl, somar@agh.edu.pl

1. WSTĘP

Konstruowana współcześnie aparatura elektroenergetyczna jest coraz bardziej zaawansowana technicznie i skomplikowana technologicznie. W trakcie jej eksploatacji mogą wystąpić niekorzystne zjawiska, powodujące nieznaną narażenie dla aparatu powodujące jego uszkodzenia co może dać początek lawinie awarii w systemie. Aby temu zapobiegać konieczne są badania wspomagające konstruktorów i producentów w dążeniu do stworzenia jak najdoskonalszej konstrukcji. Próby mają potwierdzić ostatecznie jakość wykonanej konstrukcji, potwierdzić gwarantowane przez producenta parametry. Badania takie wykonuje się w „stacjach wielkich mocy” zwanych w skrócie „zwarciowniami”. W zwarciowni pod całkowitą kontrolą symuluje się najcięższe stany awaryjne z jakimi możemy się spotkać w rzeczywistym układzie elektroenergetycznym.

Podczas badań zwarciowych aparatury dokładna znajomość zmiennych w czasie przebiegów prądów, napięć, przebiegów mechanicznych jak ruch styków, ciśnień, naprężeń jest konieczna do oceny przydatności badanego aparatu do wypełniania założonych funkcji w systemie. Rejestrowane przebiegi mają najczęściej charakter przejściowy (nieustalony) o częstotliwościach od sieciowej do wysokich i bardzo wysokich oraz o wartościach amplitudy znacznie przekraczających dopuszczalne wartości do bezpośrednich rejestracji przez urządzenia rejestrujące. Sygnały te zostają odpowiednio przekształcone poprzez przetworniki pierwotne jak dzielniki boczniki, przekładniki itp.

Układy pomiarowe zwarciowni, co wynika ze specyfiki laboratorium, muszą pracować w ekstremalnie trudnych warunkach w środowisku występowania dużych poziomów zakłóceń wysokich pól elektrycznych, silnych pól elektromagnetycznych, oraz innych warunków szczególnych.

Jednym z ważniejszych elementów mających wpływ na jakość wykonanych badań jest zastosowanie specjalnego systemu pomiarowego. System pomiarowy musi być wiarygodny jego jakość potwierdzona nie tylko przez odpowiednie komisje akredytujące ale przede wszystkim poprzez zastosowanie nowoczesnych rozwiązań technicznych w tym wspomaganie komputerowego. Ze względu na indywidualne charakterystyczne rozwiązania układów probierczych w różnych zwarciowniach, systemy pomiarowe budowane są we własnym zakresie wg własnych projektów [1, 2, 3, 4, 5].

2. SZCZEGÓLNE OKOLICZNOŚCI I WARUNKI W KTÓRYCH WYKONYWANE SĄ POMIARY W ZWARCIOWNIACH

Badania w warunkach zwarcia związane są z występowaniem szczególnych charakterystycznych ograniczeń i okoliczności, które muszą zostać uwzględnione przy projektowaniu systemu pomiarowego do nich należy:

- konieczność rejestrowania przebiegów jednorazowych w środowisku występowania silnych zakłóceń;
- próba w zwarcia ma charakter zdarzenia jednorazowego i nie może być powtórzona w identycznych warunkach;
- skumulowanie różnych rodzajów zakłóceń jak silne pola magnetyczne (duże prądy zwarcia), wysokie pola elektryczne (wysokie napięcia), zakłócenia od wyładowań iskrowych, łuku łączeniowego itp.;
- konieczność rejestrowania równocześnie kilkunastu przebiegów o różnym poziomie sygnałów pobieranych z różnych przetworników – konieczność eliminacji interferowania się przebiegów;
- duża rozległość (od 70 m, do 130 m) układu probierczego i układu pomiarowego;
- chwilowy wzrost potencjałów odniesienia (ziemi) w różnych punktach układu do poziomu ok. 10 kV.

3. CHARAKTERYSTYKA MIERZONYCH WIELKOŚCI W ZWARCIOWNI

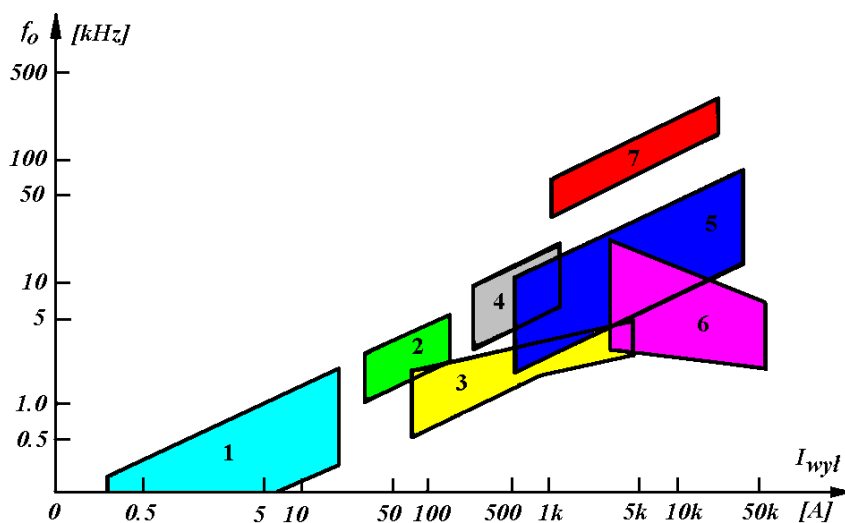
W zwarcia mierzone są i rejestrowane w czasie wielkości **elektryczne** podstawowe jak *prąd, napięcia, impulsy* oraz wielkości **nielektryczne** jak *ciśnienie, droga styków wyłącznika, siły, momenty, naprężenia, temperatura torów prądowych itp.* Prąd mierzony jest najczęściej w trzech fazach dot. to prądu generatora, prądu obciążenia, jak również jednofazowo w próbach specjalnych np. prąd „wstrzykiwany” przy badaniach w układzie syntetycznym. Mierzone napięcia to np.: międzyprzewodowe, napięcia na obciążeniu, powrotne, łuku, generatora pilotującego itp. Sygnały sterujące i impulsy to np. sygnał na „załącz” i „wyłącz” wyłącznika, znacznik utraty styczności styków, impulsy uruchamiający rejestrację, załączniki zwarcia, wyłącznik bezpieczeństwa, iskiernik trygerowany itp.

Z punktu widzenia odpowiedniego doboru układu pomiarowego istotne są następujące cechy sygnału mierzonego:

- zakres częstotliwości;
- zakres wartości amplitudy sygnału;
- impedancja wewnętrzna źródła sygnału.

Zakres częstotliwości w przypadku przebiegów prądowych jest niewielki i można oszacować, że zmienia się od ok. 50 Hz do ok. 5 k Hz.

Zakres zmian częstotliwości przebiegów napięciowych jest bardziej złożony i zależy od rodzaju próby, napięcia łączeniowego, wartości łączonego prądu i związany jest głównie ze składową przejściową napięcia powrotnego. Na rysunku 1 podano przykład dot. sieci średniego napięcia ilustrujący jak może się zmieniać częstotliwość napięcia powrotnego w zależności od rodzaju próby i prądu łączeniowego.



Rys.1. Możliwe częstotliwości napięcia powrotnego (f_0) w funkcji wyłączonego prądu (I_{wytl}) występujące w czasie łączenia:

1 - transformatorów nieobciążonych, 2 - dławików gaszeniowych, 3 - silników podczas rozruchu, 4 - dławików kompensacyjnych, 5 - transformatorów ze zwarciami po stronie wtórnej, 6 - zwarć odległych, 7 - zwarć za dławikami.

Graniczne częstotliwości sygnałów napięciowych, napięć powrotnych dla różnych prób łączeniowych można oszacować:

- dla układów łączenia pojemności 1 Hz - 50 kHz;
- łączenia transformatorów do 100 k Hz;
- łączenia dławików do 400 kHz;
- inne próby łączeniowe max do 1 MHz.

Wyjątkowo mogą wystąpić napięcia łączeniowe o częstotliwościach wyższych ok. 10 - 100 MHz np. w przypadku badań rozdzielnic izolowanych SF₆.

Częstotliwość sygnałów sterujących jak również sygnałów mierzonych wielkości nieelektryczne zmienia się od 0 Hz (sygnał stały) do ok. 10 kHz

Wartości amplitudy, poprzez odpowiednie zastosowanie przetworników pierwotnych, dopasowywane są w przypadku sygnałów prądowych do poziomu 1-2 V, w przypadku sygnałów napięciowych i sterujących do poziomu 100 V. Poziom sygnałów przebiegów nie elektrycznych może zmieniać się od 0 V do 20 V. Na bazie zarejestrowanych przebiegów prądu i napięcia muszą być również wyznaczone inne parametry charakterystyczne jak moc, energia całka Joule'a, zastępcza wartość skuteczna itp.

Graniczne parametry częstotliwościowe i amplitudowe tych wielkości nie różnią się od wartości parametrów podstawowych jak podano wyżej.

4. ŹRÓDŁA ZAKŁÓCEŃ W UKŁADZIE PROBIERCZO POMIAROWYM ZWARCIOWNI

Projektując układ pomiarowy konieczne jest rozpoznanie i uwzględnienie ewentualnych źródeł zakłócających sygnał mierzony. Źródłem zakłóceń może być obwód należący do układu probierczo-pomiarowego lub obwód sąsiadujący z nim. Szkodliwe sprzężenia mogą być typu:

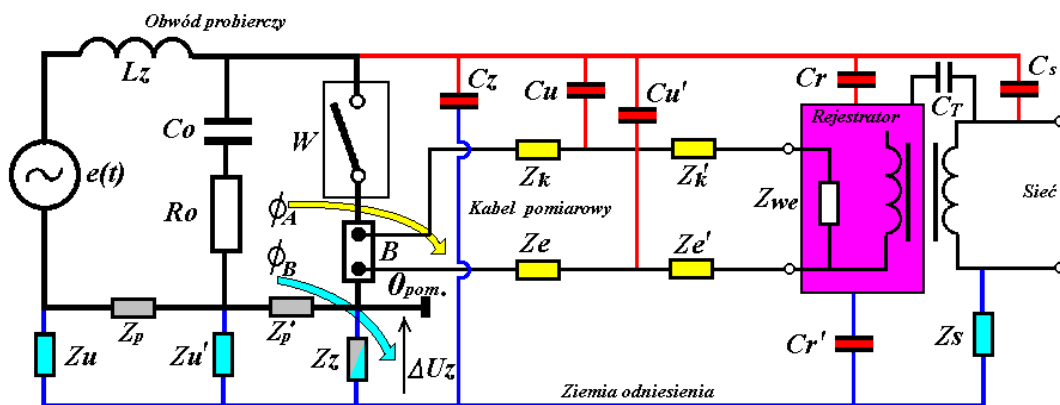
- pojemnościowego, generujące zakłócający sygnał proporcjonalny do pochodnej napięcia ($di=Adu/dt$),
- indukcyjne, generuje szkodliwy sygnał proporcjonalny do pochodnej prądu ($du=Bdi/dt$),
- poprzez wspólną impedancję, szczególnie impedancję uziemienia.

Na rysunku 2 przedstawiono reprezentatywny dla badań w zwarciozni układ probierczo-pomiarowy ilustrujący w ogólny sposób podstawowe źródła zakłóceń.

Istnieją ogólne zasady ograniczenia lub eliminacji zakłóceń do których należy:

- a) budowa obwodu probierczego i systemu uziemień o możliwie małej impedancji wspólnej, głównie małej indukcyjności (*skuteczny system ekwi-potencjalizacji osiągnany poprzez: krótkie taśmowe przewody, siatki uzie-*

- miające, stosowanie wzmacniaczy pomiarowych różnicowych w przypadku pomiarów wielokanałowych),*
- ekranowanie elektrostatyczne, przyrządu pomiarowego (rejestratora) ograniczające wpływ sprzężeń pojemnościowych, *stosowanie kabli ekranowanych również ekranowanych wielokrotnie,*
 - ekranowanie obwodów zasilających, filtracja napięć zasilających oraz separacja transformatorowa od sieci z odpowiednim ekranowaniem,
 - pełna izolacja przyrządu rejestrującego od przetwornika pierwotnego (źródła sygnału pomiarowego) poprzez zastosowanie łącza optoelektronicznego – najskuteczniejszy sposób eliminacji zakłóceń elektromagnetycznych w złożonym układzie pomiarowym,
 - właściwy dobór przyrządów rejestrujących niewrażliwych na zakłócenia z pełną eliminacją prądów pasożytniczych z wnętrza układów elektronicznych – dobrym rozwiązaniem jest stosowanie przyrządów specjalizowanych wyposażonych na wejściu w różnicowe wzmacniacze pomiarowe.



Rys.2. Schemat powstawania zakłóceń w układzie probierczo-pomiarowym stosowanym w zwarciowni do prób wyłączników WN.

Oznaczenia:

$e(t)$, L_z , C_o , R_o - elementy układu probierczego; Z_u , Z_u' - impedancje (ew. błędne połączenia, pojemności) pomiędzy obwodem probierczym a ziemią odniesienia; Z_p , Z_p' - impedancje dodatkowe obwodu probierczego, Z_z - impedancja wspólna (sprzężeń) Z_k, Z_k', Z_e, Z_e' - impedancje szeregowo przewodu sygnałowego i ekranu kabla pomiarowego B - bocznik; ϕ_A - strumień magnetyczny (sprzężenia indukcyjne) skojarzony z pętlą pomiarową; ϕ_B - strumień skojarzony z oczkiem ekran-„ziemia odniesienia”; C_u, C_u' - pojemności sprzężeń do pętli pomiarowej, C_r, C_r' - pojemności sprzężeń rejestratora, C_T - pojemność sprzężeń transformatora zasilającego, O_{pom} - ziemia pomiarowa, ΔU_z - różnica potencjałów pomiędzy „ziemią pomiarową a „ziemią odniesienia”.

5. PODSTAWOWE WYMAGANIA STAWIANE UKŁADOM POMIAROWYM W ZWARCIOWNI - - POSTULATY PROJEKTOWE

Na podstawie powyższego można sformułować wymagania, będące jednocześnie podstawowymi założeniami do wykonanego projektu, jakie powinien spełniać złożony układ pomiarowy przebiegów w zwarciozni następująco:

1. Układ powinien umożliwić przeprowadzenie pomiarów i dokonanie oceny zachowanie się aparatu badanego szczególnie w trakcie występowania procesów przejściowych, z równoczesną możliwością rejestracji tych procesów.
2. Powinien zapewniać wymaganą przez odpowiednie normy dokładność pomiaru wielkości elektrycznych (np. prądu, napięcia, mocy, energii...) i nie-elektrycznych (np. temperatury, ciśnienia, naprężeń...).
3. Układ powinien charakteryzować się takimi właściwościami dynamicznymi aby wiernie odtwarzać przebiegi, rejestrować z dopuszczalnym błędem jednocześnie przebiegi podstawowe jak i przejściowe o dużych częstotliwościach
4. Układ nie powinien pozwalać na wnikanie zakłóceń w obwody pomiarowe i wzajemne interferowanie się sygnałów.
5. Układ powinien być zdolny do pomiaru dużych prądów i napięć a jednocześnie charakteryzować się taką liniowością aby można było zarejestrować sygnały o znacznie mniejszych amplitudach (np. przebiegi w okolicy zera prądu czy powtórne zapłony łuku...).
6. Powinien umożliwiać weryfikację jakości pomiarów poprzez łatwą możliwość sprawdzania (wzorcowania).
7. Układ musi charakteryzować się odpowiednią wysoką stabilnością i być odporny na zmienne warunki środowiskowe z jakimi spotykamy się w zwarciozni (próby w różnych warunkach atmosferycznych na wolnym powietrzu).
8. Przyłączenie do układu przetworników o różnych parametrach (np. bocznika do pomiaru prądów od kilku [A] do setek [kA]) nie powinno istotnie zmieniać mierzonych przebiegów ani innych warunków pomiarowych i probierczych.
9. System powinien pozwalać na pomiar różnicowy wielkości (np. napięć skrajzonych, międzystykowych) pomiędzy odpowiednim punktami obwodu, do takiej pracy musi być przystosowany przetwornik pierwotny , system przesyłania sygnałów jak również rejestrator.
10. Stopień rozbudowania układu, jego nowoczesność muszą być uzasadnione technicznie ale jednocześnie powinien zostać sensownie uwzględniony aspekt ekonomiczny.

6. ZASTOSOWANY UKŁAD OPTOELEKTRONICZNY

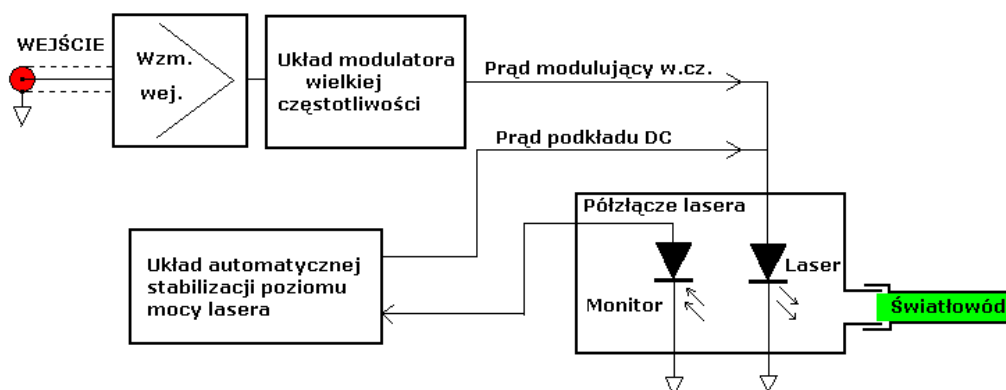
Jak już wspomniano najskuteczniejszym sposobem eliminacji zakłóceń w złożonym układzie pomiarowym jest radykalne odcięcie (separacja) źródeł sygnału pomiarowego od źródeł potencjalnych zakłóceń (szczególnie spowodowanych wspólną impedancją) poprzez zastosowanie układów optoelektronicznych. Przerwanie połączeń elektrycznych, które tradycyjnie były połączone lub silnie sprzężone z obwodami o różnych potencjałach szczególnie ważne jest w rozległym systemie pomiarowo-badawczym zwarciowni.

Podstawowym kryterium zastosowania systemów optoelektronicznych jest taki dobór układów aby zapewnić wymaganą, optymalną charakterystykę przetwarzania sygnału wejściowego w wyjściowy. W laboratorium podstawowo zastosowano system transmisji sygnałów analogowych zmodulowanych częstotliwościowo. Aktualnie opracowywane są kanały specjalne o cyfrowej transmisji sygnałów. System według założeń i wymagań opracowanych w IEL/LAR [6] został wykonany przez specjalistów Instytutu Elektroniki AGH.

W skład systemu pomiarowego wchodzi następujące elementy (funkcjonalne moduły):

- laserowa głowica nadawcza;
- głowica odbiorcza;
- gradientowa linia światłowodowa;
- zasilacze separacyjne.

Struktura blokowa nadajnika została przedstawiona na rys.3.



Rys.3. Schemat blokowy nadajnika optycznego.

Podstawowym elementem nadajnika, warunkującym dokładność i jakość transmisji światłowodowej, jest zastosowanie wysokiej jakości lasera półprze-

wodnikowego typu 1A194ST firmy GCA pracującego na fali 850 nm. Przy znamionowych parametrach zasilania do światłowodu wprowadzana jest moc optyczna ok. $950\mu\text{W}$.

Układy elektroniczne nadajnika spełniają zasadnicze funkcje:

- dopasowania wejścia sygnałowego i ukształtowania odpowiedniego sygnału modulującego w.cz.;
- automatycznej stabilizacji poziomu mocy lasera;
- zabezpieczenie lasera przed uszkodzeniami od strony sygnałów i zasilania.

Lasery półprzewodnikowe jest elementem progowym. Do jego prawidłowej pracy konieczne jest spolaryzowanie prądem przekraczającym wartość progową, indywidualną dla każdej sztuki, zależną od temperatury itp. W układzie zastosowano rozbudowaną kompensację termiczną

W połączeniu lasera znajduje się lokalna fotodioda (MONITOR), optycznie sprzężona z tylnym zwierciadłem struktury lasera. Sygnał monitora został wykorzystany jako informacja o poziomie emisji. Układ automatycznej stabilizacji poziomu mocy działając w systemie sprzężenia zwrotnego reguluje prądem podkładu w taki sposób aby średnia wartość mocy emitowanej była stabilizowana na określonym poziomie. Modulacja sygnałem ma postać klasycznej modulacji intensywności (IM) i polega na dodaniu do prądu podkładu prądu przemiennego proporcjonalnego do sygnału wejściowego. Układ modulatora wielkiej częstotliwości zapewnia odpowiednie warunki modulacji tak, że nominalnemu sygnałowi sinusoidalnie zmiennemu odpowiada sinusoidalnie zmienne światło $\sim 950\mu\text{W}_{\text{p-p}}$. W układach nadajnika wprowadzono również system podwójnych zabezpieczeń przed uszkodzeniem lasera zarówno w torze zasilania jak i w torze sygnałowym.

Wykonano 14 sztuk niezależnych modułów nadawczych (7 napięciowych 7 prądowych). Poszczególne moduły są niezależnie zasilane i wzajemnie od siebie izolowane (poziom izolacji $> 2000\text{ V}$). Wszystkie moduły umieszczono w metalowej ekranowanej obudowie („głowica nadawcza”), która została usytuowana w pobliżu przetworników pierwotnych komór badawczych w korytarzu szynowym maszynowni. Moduły nadawcze są bezobsługowe i nie zawierają żadnych elementów regulacyjnych.

Podstawowe parametry modułów nadawczych:

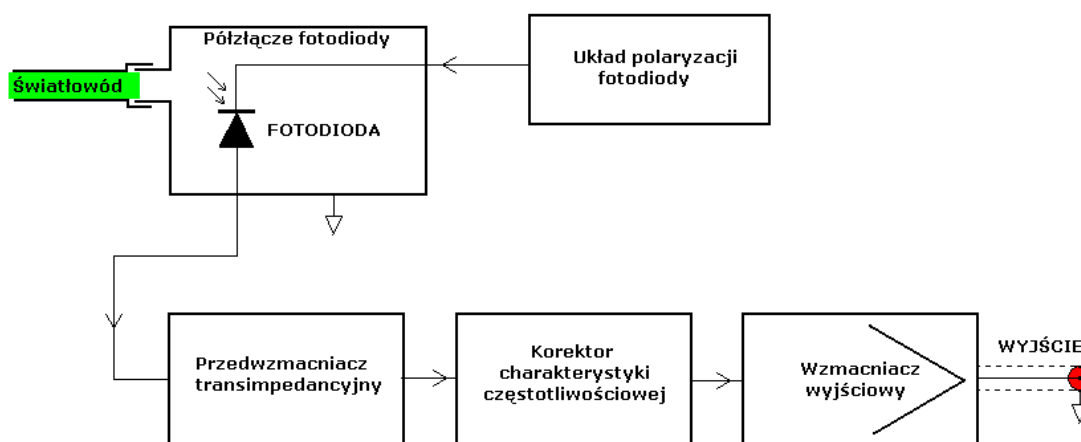
kanały napięciowe:

- nominalny sygnał wejściowy $280\text{ V}_{\text{p-p}}$,
- oporność wejściowa $350\text{ k}\Omega$,
- pasmo przenoszenia $0\div 1\text{ MHz}$,
- liniowość 3% (dla sygnału nominalnego),
- zakres temperatur pracy $10\div +30\text{ }^\circ\text{C}$.

kanały prądowe:

- nominalny sygnał wejściowy $8 V_{p-p}$,
- oporność wejściowa $10 k\Omega$,
- pasmo przenoszenia $0 \div 1 MHz$,
- liniowość 3% (dla sygnału nominalnego),
- zakres temperatur pracy $10 \div +30 ^\circ C$.

Strukturę blokową odbiornika przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Schemat blokowy odbiornika optycznego.

Jako fotodetektora użyto fotodiody typu SD217ST firmy GCA.

Czułość fotodetektora wynosi $0.54 A/W$. Przy poziomie $950 \mu W$ mocy optycznej na wejściu fotodetektora otrzymuje się prąd sygnału ok. $480 \mu A$.

Zespoły elektroniczne odbiornika stanowią trzy bloki:

- blok przedwzmacniacza transimpedancyjnego;
- korektor charakterystyki częstotliwościowej;
- wzmacniacz wyjściowy.

Blok przedwzmacniacza transimpedancyjnego jest przetwornikiem prądu fotodiody na napięcie, które jest doprowadzone do wzmacniacza wyjściowego poprzez korektor charakterystyki częstotliwościowej kompensujący nierównomierność tej charakterystyki dla całego zestawu nadajnik-odbiornik. Współczynnik konwersji całego odbiornika definiowany jako stosunek zmiennego napięcia wyjściowego do zmiennej mocy wejściowej wynosi ok. $890 V/W$.

Wykonano 14 szt. identycznych modułów, które umieszczono w metalowej ekranowanej kasecie typu EURO-3U. Wszystkie moduły zasilane są z jednego separowanego źródła. Kaseca odbiorcza została zamontowana na stanowisku w pobliżu rejestratora w „nastawni głównej” zwarciowni.

Podstawowe parametry modułów odbiorczych:

- sygnał wejściowy *wiązka światła podczerwonego 850 nm*;
- nominalny sygnał wyjściowy $20 V_{p-p}$ (*regulowany*);
- składowa stała $0V$ (*ustawiana*);
- pasmo przenoszenia $0 \div 1$ MHz;
- oporność wyjściowa 200Ω ;
- liniowość 3% (*dla sygnału nominalnego*);
- zakres temperatur pracy $10 \div +30$ °C.

Układy modułu odbiorczego umożliwiają w każdym z bloków dokonanie niezbędnych regulacji i ustawień. Może zostać ustawione „zero” (poziom składowej stałej) oraz „czułość” (wzmocnienie odbiornika, wartość transmitancji układu).

Nadajniki i odbiorniki optyczne zostały połączone kablem światłowodowym składającym się z wiązki 14 kabli gradientowych $62.5/125 \mu m$ o długości 75 m.

7. UKŁAD REJESTRATORA I STEROWANIA KOMPUTEROWEGO

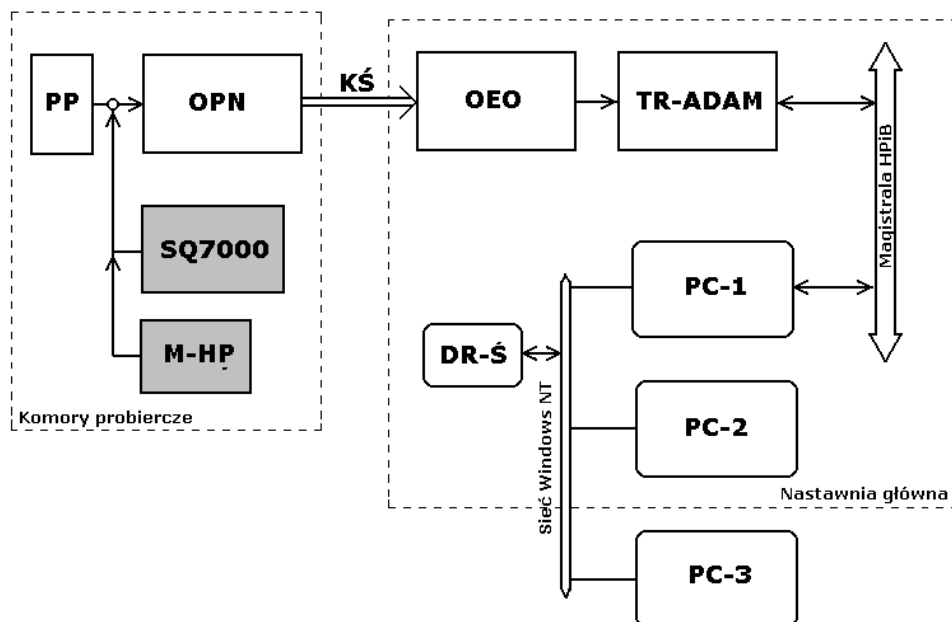
Układ pomiarowo sterujący zastosowany w Laboratorium Zwarciovym LAR/IEL składa się z następujących funkcjonalnych bloków:

- przetworniki pierwotne sygnałów pomiarowych;
- blok opto nadajników;
- wiązka kabli światłowodowych;
- blok opto odbiorników;
- rejestrator (transient recorder „Adam”);
- magistrala HPiB (IEEE 488);
- 3 komputery PC (pomiarowy główny, rezerwowy przygotowania badań, nadzorujący i buforowania danych) pracujące w lokalnej sieci Windows NT;
- układ kalibrujący (kalibrator SQ7000, mulimetr HP34401A);
- oprogramowanie systemu (program „WinAdam”).

Uproszczony blokowy schemat systemu przedstawiono na rys.5.

Obok układu optoelektronicznego (omówionego wyżej) bardzo ważnym elementem systemu jest rejestrator. Zastosowano Transient Recorder typu ADAM (**A**nalog **D**ata **A**cquisitions **M**emory) firmy Rene Maurer AG Electronic Instruments, Switzerland [7,8] . Jest to rejestrator szesnastokanałowy o modułowej budowie umożliwiający skorzystanie z dowolnych modułów (wzmacniaczy

wejściowych, przetworników analogowo - cyfrowych) spośród wielu oferowanych przez firmę.



Rys.5. Schemat blokowy systemu pomiarowego w zwarciowni IEL.

Oznaczenia:

PP - przetworniki pierwotne, **OPN** - blok optoelektronicznych nadajników, **OEO** - blok optoelektronicznych odbiorników, **KŚ** - wiązka kabli światłowodowych, **TR-ADAM** - rejestrator, **PC-1** - główny komputer pomiarowy, **PC-2** - komputer przygotowania badań, **PC-3** - komputer nadzorujący i buforowania danych, **SQ7000** - kalibrator, **M-HP** - multimetr kontrolujący (dodatkowo) sygnał kalibrujący.

Zainstalowany w zwarciowni TR wyposażony jest we wzmacniacze wejściowe różnicowe (16 szt) o następujących parametrach :

- zakres napięciowy **0.1 V_{p-p} - 100 V_{p-p}** (regulowany w 31 krokach),
- ofset **-100% +100%** (regulowany co 1%),
- dokładność **< 0.5%**,
- liniowość **± 0.2%**,
- dryft temperaturowy **± 0.2⁰/₁₀₀ /⁰C**,
- pasmo przenoszonych częstotliwości (-3 dB) **DC- 15 MHz**,
- sprzężenie AC-AC, DC-DC, AC-GND, DC-GND,
- oporność wejściowa **1 MΩ/40 pF**,
- napięcie maksymalne **± 200 V_{p-p}**.

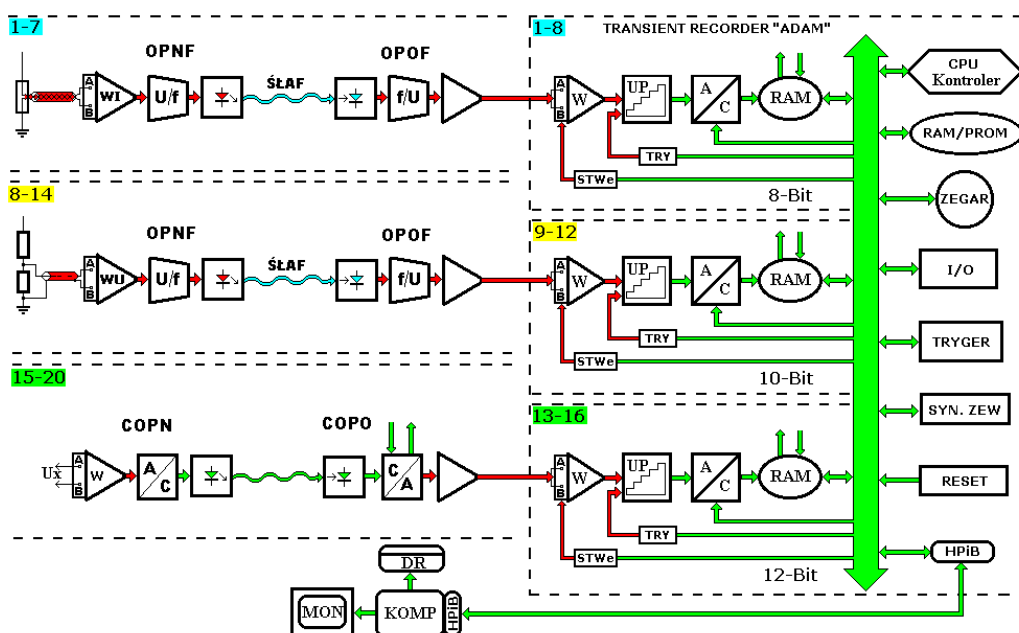
Każdy wzmacniacz posiada 7 stopniowy wskaźnik poziomu sygnału, 2 wskaźniki sygnalizujące przesterowanie na "+" i "-", wskaźnik aktualnie nastawionego zakresu oraz nastawionego ofsetu. Wzmacniacz może być obsłu-

giwane za pomocą przycisków manualnie (nastawiane zakres, offset rodzaj sprzężenia, wybór aktywnego wejścia A+ B-, A-GND , B-GND itp.) jak również zdalnie poprzez interfejs HPiB.

Przewidując potrzeby w zakresie rejestracji przebiegów podczas różnych prób jak również biorąc pod uwagę czynnik ekonomiczny, rejestrator wyposażono w następujące przetworniki A/C :

- 9 przetworników ADC1008 o rozdzielczości 8 bitów ;
- 3 przetworniki ADC1010 o rozdzielczości 10 bitów
- 4 przetworniki ADC1012 o rozdzielczości 12 bitów.

Bardziej szczegółowo zastosowany system pomiarowy i wariant docelowy przedstawiono na rys.6



Rys.6. System pomiarowy zastosowany i wariant docelowy.

Oznaczenia:

1-7 - kanały prądowe, 8-14 - kanały napięciowe, 15-20 - projektowane uniwersalne kanały cyfrowe, **OPNF** - nadajnik optoelektroniczny, **OPOF** - odbiornik optoelektroniczny, **SŁAF** - wiązka kabli światłowodowych, **COPN** - cyfrowy opto nadajnik, **COPO** - cyfrowy opto odbiornik, **WI**, **WU** - wzmacniacze wejściowe dopasowujące głowicy nadawczej, **U/f** - przetwornik napięcie/częstotliwość, **f/U** - przetwornik częstotliwość /napięci, **W** - wzmacniacz różnicowy rejestratora, **UP** - układ próbkujący, **A/C** - układ analogowo cyfrowy, **RAM** - pamięć, **STWe** - układ sterowania wejściem wzmacniaczy różnicowych, **TRY** - układ sterowania przetwornikiem A/C i trygerowania, **HPiB** - magistrala, karta, **KOMP** - komputer PC główny, **DR** - drukarka, **MON** - monitor.

Wszystkie przetworniki próbkowane są wspólną częstotliwością 10 MHz. Każdy z kanałów posiada własny przetwornik A/C, pamięć o pojemno-

ści 65536 * 16 bit (słów) oraz wyprowadzone układy cyfrowe I/O (wejście „20 PIN”, wyjście „26 PIN”). Do rejestratora może zostać podłączony zewnętrzny zegar próbkujący (TTL).

Trygerowanie rejestratora może następować od przebiegu wewnętrznego (DC, AC +,- lub +/-) lub od sygnału zewnętrznego (TTL „+”, „-”) lub poprzez interfejs przy sterowaniu zdalnym. Istnieje również możliwość zastosowania 100% pre-triggera i 250% post-triggera równocześnie dla wszystkich kanałów.

Do rejestratora, poprzez analogowe wyjście, możliwe jest przyłączenie zewnętrznego monitora jak również drukarki. Kasowanie parametrów rejestratora umożliwia funkcja „Reset”.

8. OPROGRAMOWANIE SYSTEMU

Istotnym, bardzo ważnym, składnikiem systemu pomiarowego jest jego, w pełni autorskie, oprogramowanie (program „**WinAdam**”) będące efektem czteroletniej pracy i doświadczeń pracowników Instytutu Elektrotechniki oraz pracowników Zakładu Elektrotechniki AGH. Pierwsza wersja oprogramowania została zainstalowana w Laboratorium Badawczym Aparatury Rozdzielczej IEL w 1996 r.

Główne zadania opracowanego oprogramowania w kolejności są następujące:

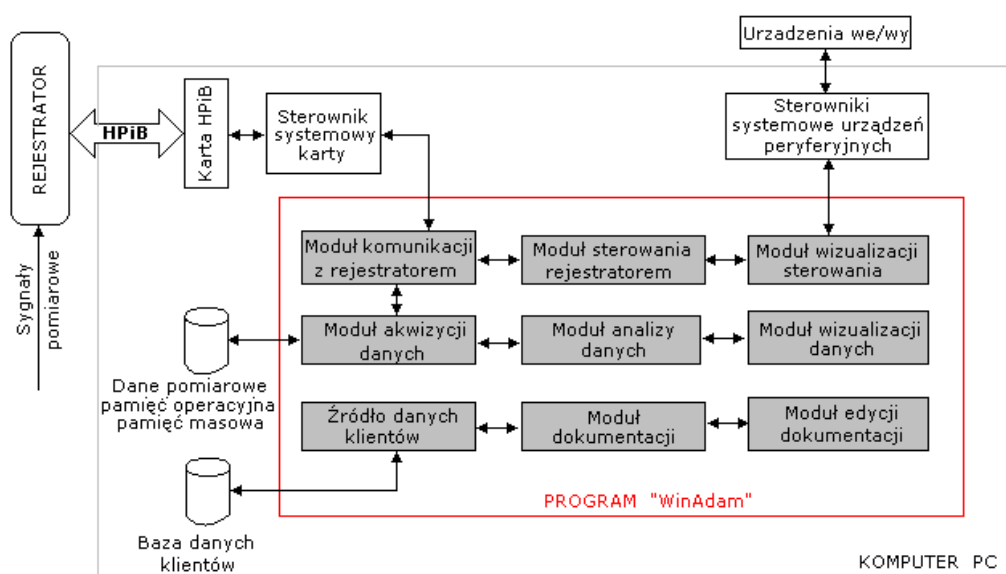
- utworzyć nową lub dopisać do bazy klientów nowy rekord, (dane o kliencie i wykonywanej próbie);
- ustawić parametry systemu pomiarowego, ustawić rejestrator;
- przejść w tryb oczekiwania na zdarzenie trygerujące i wyzwolić pomiar, lub wykryć wyzwolenie zewnętrzne;
- poczekać na zakończenie próby i odczytać dane z pamięci rejestratora;
- zapamiętać dane w pamięci masowej PC;
- wyświetlić dane na ekranie komputera;
- dokonać szybkich pomiarów istotnych dla próby parametrów;
- umożliwić analizę danych i określenie parametrów charakterystycznych dla próby zwarciowej;
- przygotować oscylogram do wydruku.

Oprogramowanie jako jedno z niewielu udostępnia jednocześnie funkcje ustawienia rejestratora wykonania rejestracji, akwizycji i archiwizacji danych oraz rozbudowane narzędzia do numerycznej obróbki i analizy danych, działające zarówno w fazie rejestracji (np. filtrowanie, funkcje kalkulatora całkowanie mnożenie, dodawanie itd. operujące na kanałach), jak i po wykonaniu rejestracji.

Oprogramowanie umożliwia import oraz eksport danych w następujących formatach: TXT, DADiSP oraz w formatach pochodnych jak LECROY, HP, GOERZ. Pozwala to na wykorzystanie aparatu analizy danych systemu do obróbki zewnętrznych danych zarejestrowanych przy pomocy dowolnych rejestratorów lub kart pomiarowych umożliwiających eksport danych do formatów wymienionych. Daje to również możliwość wykorzystania zarejestrowanych i obróbianych danych w niezależnych programach mających odpowiednie filtry importu, takich jak DADiSP Microsoft Excel, Grapher, MatLab itp.

Zastosowane algorytmy cechują się elastycznością i są oparte o nowoczesne technologie analizy przebiegów takich jak zastosowanie odwrotnej notacji polskiej, zaawansowanych algorytmów filtracji cyfrowej, aproksymacji itp.

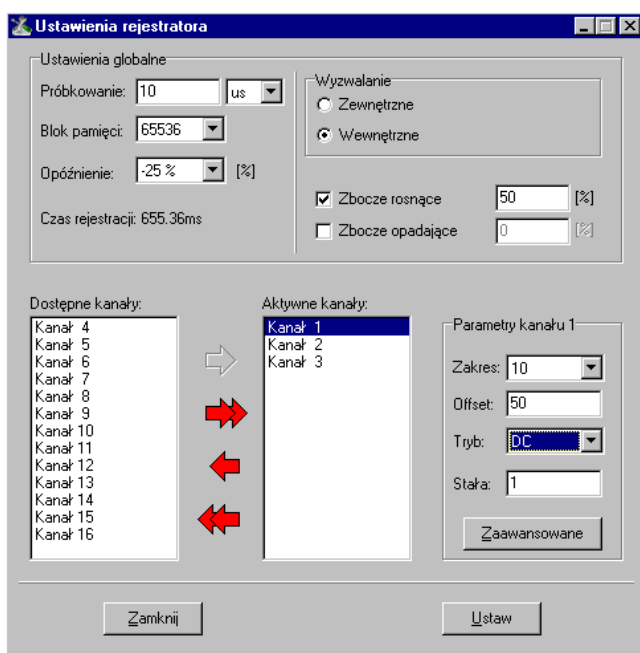
Aplikacja została napisana dla środowiska WINDOWS 98/NT w Delphi 4.0 i charakteryzuje się budową warstwową. Warstwa pierwsza służąca do pobierania danych składa się z modułów komunikacji z rejestratorem, akwizycji danych pomiarowych i bazy danych klientów. Spełnia ona zadania związane z niskopoziomą obróbką danych (*back-end*). Warstwa środkowa służąca do przetwarzania danych składa się z modułów sterowania rejestratorem, analizy danych i dokumentacji. Zadaniem jej jest przetworzenie danych do postaci gotowej do wizualizacji oraz wykonanie na danych wymaganych przez użytkownika operacji. Spełnia ona zadania warstwy pośredniczącej między interfejsem użytkownika a danymi (*business-rules*).



Rys.7. Schemat blokowy oprogramowania „WinAdam”.

Ostatnia warstwa umożliwia komunikację użytkownika z aplikacją oraz aplikacji z peryferiami. Do warstwy tej należą moduły wizualizacji sterowania, wizualizacji danych oraz edycji dokumentacji. Warstwę tą można określić jako interfejs użytkownika (*front-end*).

MODUŁ KOMUNIKACJI Z REJESTRATOREM



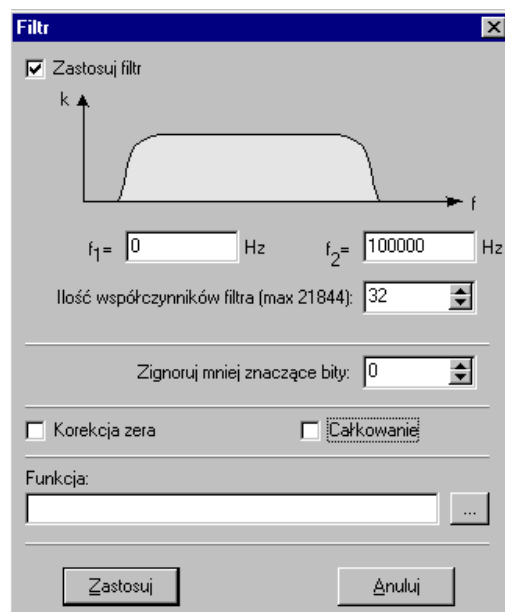
Rys.8. Fragment interfejsu użytkownika „ustawienia rejestratora”.

Moduł komunikacji pozwala na sterowanie rejestratorem w zakresie ustawienia czasu próbkowania, rozmiaru bufora bloku pamięci przeznaczony na zarejestrowane dane (*wielkość tego bloku można zmieniać w zakresie od 128-65536 próbek*), rodzaju wyzwalania rejestratora (*wewnętrzne lub zewnętrzne, zboczem narastającym lub opadającym*), uaktywnienie kanałów biorących udział w procesie rejestracji i ustawienie ich parametrów (*zakres napięciowy offset, skalę – mnożnik określający ile razy sygnał jest mniejszy lub większy od rzeczywistych wartości pomiarowych, tryb pracy – AC, DC, GND*) rys.8.

Ponadto po zarejestrowaniu próby dane podczas pobierania z rejestratora mogą zostać automatycznie poddane operacjom takim, jak (rys.9): korekcja zera, całkowanie (przydatne przy pomiarach prądu za pomocą przekładników bezrdzeniowych), filtrowanie oparte na filtrze typu FIR, jak i tzw. filtracja bitowa – polegającej na zerowaniu najmniej znaczących bitów w zarejestrowanych danych, przydatna przy pracy z układami, które wprowadzają zbyt duże szумы własne na poziomie kilku najmniej znaczących bitów przetwornika.

Komunikacja z rejestratorem odbywa się poprzez interfejs HP-IB. Komendy sterujące [8, 9] rejestratorem wysyłane są w postaci tekstowej i są odpowiednio interpretowane przez rejestrator.

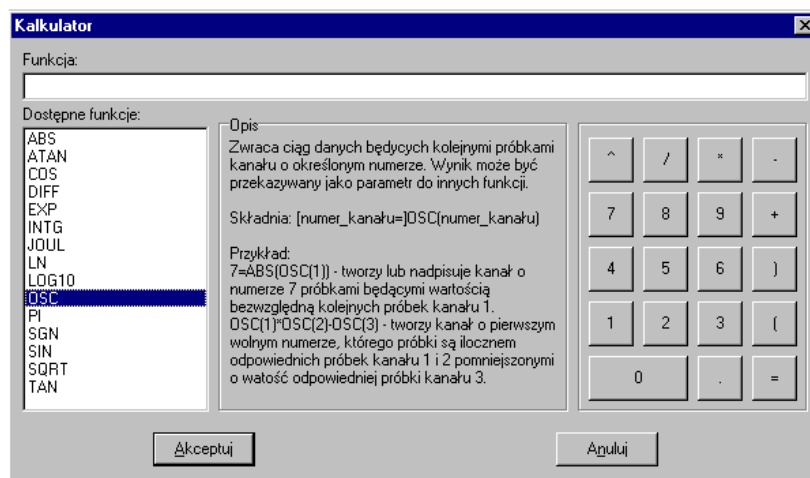
Interfejs użytkownika stanowi odzwierciedlenie paneli sterujących rejestratora, przez co obsługa urządzenia z poziomu oprogramowania jest intuicyjna i nie wymaga dodatkowego przeszkolenia operatora. Ustawienie może odbywać zatem zarówno z poziomu oprogramowania jak i przy pomocy paneli sterujących rejestratora. Dodatkowo oprogramowanie umożliwi ustawienie szeregu parametrów niemożliwych do ustawienia manualnie na panelach sterujących dotyczy to globalnych ustawień rejestratora związanych z czasem próbkowania, przydziałem pamięci, wyzwalaniem rejestracji itp.



Rys.9. Interfejs użytkownika - „ustawienia zaawansowane kanału”.

MODUŁ ANALIZY DANYCH

Zadaniem modułu analizy jest odpowiednie przetworzenie zarejestrowanych oraz wyznaczenie na ich podstawie istotnych dla próby wartości. Oprogramowanie udostępnia rozbudowany aparat matematyczny umożliwiający przeprowadzanie na zarejestrowanych przebiegach podstawowych działań matematycznych dodawanie, mnożenie (kanałów przez siebie lub przez wartości liczbowe), logarytmowanie, potęgowanie, całkowanie oraz różniczkowanie.



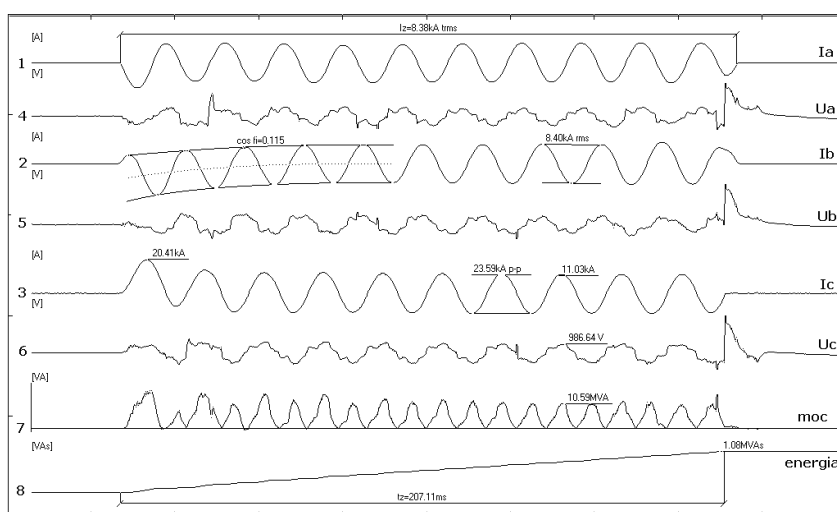
Rys.10. Interfejs użytkownika - „kalkulator”.

Działania te mogą być przeprowadzane zarówno na pojedynczym kanale, jak na kilku kanałach jednocześnie. Ponadto można utworzyć nowy kanał, który będzie zawierał wygenerowane dane. Operacje te przeprowadzane są na rzeczywistych próbkach.

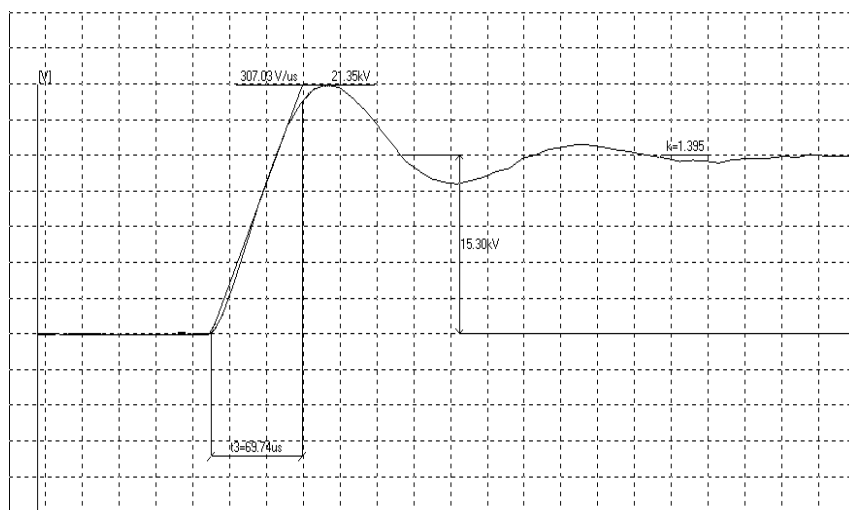
Dostęp do działań matematycznych umożliwia rozbudowany kalkulator (rys.10).

Mechanizm działania tego modułu opiera się na analizie wprowadzonego łańcucha znaków. W celu skrócenia czasu wykonywania operacji na danych łańcucha ten jest konwertowany do odwrotnej notacji polskiej, dzięki czemu analiza łańcucha znaków odbywa się tylko raz.

a)



b)

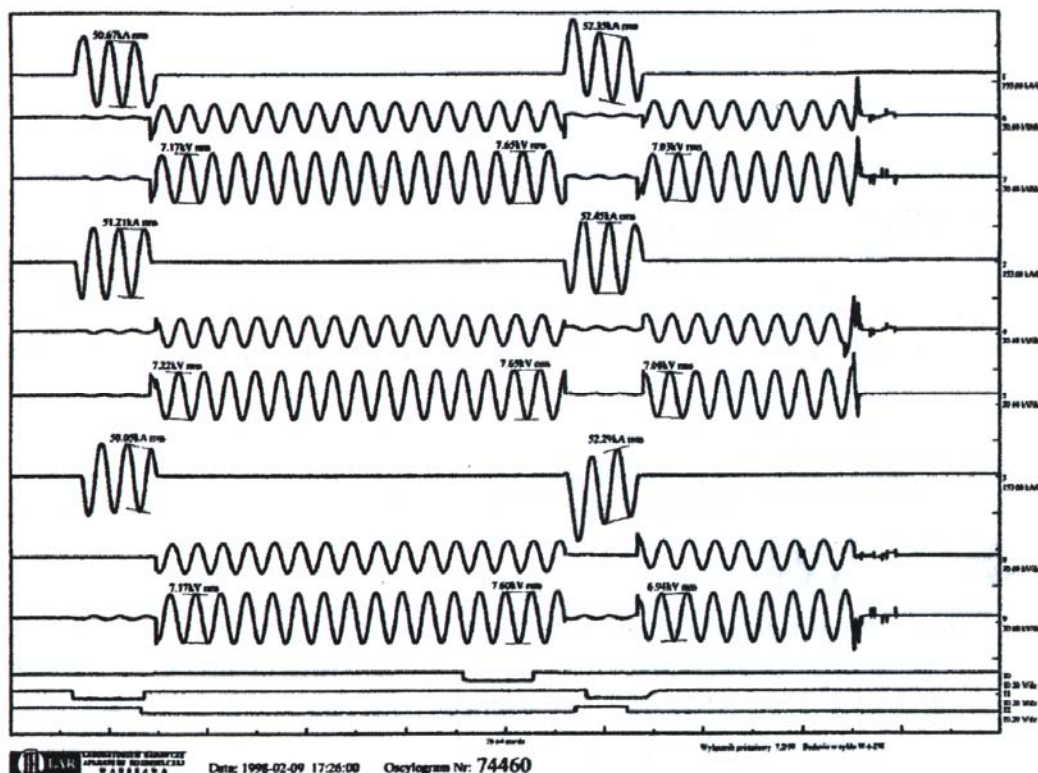


Rys.11. Przykłady ilustrujące możliwości wyznaczania charakterystycznych parametrów przebiegów zwarciovych: a) wyznaczenie parametrów prądowych i napięciowych na przykładzie oscylogramu z prób łukochronności (wartość skuteczna, szczytowa, zastępcza I_z , wartość $p-p$, współczynnik obwodu $\cos(\phi)$ wyznaczony na podstawie obwiedni prądu zwarciovego, przebieg mocy i energii łuku), b) określenie parametrów napięcia powrotnego (stromość, czas t_3 , amplituda, współczynnik szczytu k).

Ponadto moduł analizy danych umożliwia zbudowanie uśrednionej tablicy próbek wykorzystywanych przy prezentacji danych na ekranie i wydrukach. Moduł ten pozwala również na obliczenia związane z próbkami konkretnego kanału takimi jak wyznaczanie obwiedni przebiegu zwarciovego w oparciu o różne algorytmy aproksymacji, obliczanie przedziałów czasu, wartości próbek, wartości skutecznych i innych parametrów potrzebnych do opisu przebiegu zwarciovego. Z możliwości obliczeniowych korzysta moduł wizualizacji danych wykorzystując obliczone wartości do opisów przebiegów na ekranie i wydrukach (rys.11).

MODUŁY WIZUALIZACJI DANYCH

Wizualizacja danych stanowi ostatni etap ich obróbki. W przypadku opisywanej aplikacji moduły warstwy *front-end* zapewniają również interakcję użytkownika z aplikacją. Dane prezentowane są na ekranie w postaci przebiegów czasowych. Użytkownik może rozszerzać, bądź zawężać widoczne okna czasowego przebiegów, przy czym istnieje możliwość niezależnego grupowania kanałów w celu synchronizacji ich czasu, amplitudy oraz offsetu. Użytkownik może również opisywać przebiegi na szereg różnych sposobów, wyznaczając parametry istotne z punktu widzenia próby.



Rys.12. Przykładowy, załączany do dokumentacji, oscylogram z prób zwarciovych.

Wszelkie operacje na przebiegach odbywają się intuicyjnie przy zastosowaniu technik „przeciągnij i upuść” (*drag and drop*), systemów podpowiedzi (*hint*) oraz menu kontekstowych.

Wygląd i położenie przebiegów wyświetlanych na ekranie odpowiada wyglądowi wydruków oscylogramów. Zastosowana tutaj technika WYSIWYG (*What You See Is What You Get*) umożliwia sprawne i precyzyjne przygotowanie dokumentacji próby. Na uwagę zasługuje fakt, że wszystkie operacje matematyczne przeprowadzane są na rzeczywistych próbkach przebiegu, natomiast ich prezentacja graficzna odbywa się na wartościach uśrednionych, zależnych od rozdzielczości urządzenia wyjściowego (monitor, drukarka).

MODUŁY DOKUMENTACJI

Moduły dokumentacji stanowią połączenie między danymi pomiarowymi, danymi klientów a drukarką. Ich zadaniem jest przygotowanie i wydrukowanie dokumentacji z wybranych prób. Dokumentacja ta obejmuje zarówno opis ogólny badanego urządzenia, zaleconych pomiarów danych klienta, jak również oscylogramy poszczególnych prób.

9. KIERUNKI ROZWOJU SYSTEMU POMIAROWEGO I OPROGRAMOWANIA

Obecnie trwające prace dotyczące systemu pomiarowego mają na celu jego rozwój w kierunku rozszerzenia właściwości dynamicznych a w przypadku oprogramowania jego udoskonalanie i wzbogacanie o nowe funkcje i możliwości. Planowane jest rozszerzenie systemu optoelektronicznego o nowe szybkie kanały z zastosowaniem cyfrowej techniki przesyłania sygnału i wyposażenie układu w rejestrator o większej częstotliwości próbkowania i większej pamięci kanałów pomiarowych.

W zakresie oprogramowania zamierza się przeprowadzić optymalizację kodu, przyspieszenie czasochłonnych procedur przetwarzania danych oraz rozszerzenie aplikacji o nowe funkcje pozwalające na bardzo szybką jakościową analizę próby. Specyfika badań prowadzonych w laboratorium wymaga bardzo szybkiego procesu wyznaczenia parametrów próby, opisu oscylogramu i przygotowania go do wydruku.

10. WNIOSKI

1. Przedstawiony system pomiarowy, wdrożony do eksploatacji w IEL/LAR, sprawdził się w trudnych rzeczywistych warunkach laboratorium zwarciovego. Kilkuletnia eksploatacja, systematycznie rozwijanego systemu, potwierdziła słuszność przyjętych rozwiązań. Zastosowanie komputerowo wspomaganých układów pomiarowych zdecydowanie przyspieszyło i unowocześniło proces wykonywania pomiarów w konsekwencji podniosło jakość wykonywanych badań. System spełnia aktualne potrzeby laboratorium, jednak przewidując przyszłe potrzeby na nowe badania, wobec rozwoju nowych konstrukcji aparatury elektroenergetycznej, która musi być badana, powinien być i będzie nadal rozwijany i modernizowany.

2. Opracowane oprogramowanie pokazuje, że możliwe jest funkcjonalne połączenie funkcji pomiarowej z analizą i dystrybucją danych. Standardem jest, że aplikacja dołączana do urządzenia pomiarowego spełnia jedynie zadania pobierania danych a ich analiza oraz przygotowywanie dokumentacji wiąże się z zakupem dodatkowego oprogramowania. Współpraca wielu aplikacji pochodzących od niezależnych producentów może być uciążliwe i czasochłonne. W przypadku prób zwarciovych czas przetworzenia zarejestrowanych danych odgrywa niejednokrotnie bardzo ważną rolę. Zaproponowane rozwiązanie połączenia w jednej, dedykowanej aplikacji części pomiarowej, bogatego aparatu matematycznego oraz części dokumentacyjnej umożliwia sprawne przeprowadzenie prób.

Struktura programu jego moduły i bloki są na tyle uniwersalne, że mogą zostać wykorzystane w innych aplikacjach obsługujących rejestratory czy karty pomiarowe.

LITERATURA

1. S. Rovelli, Easca, A. Caccia Dominioni, A.R. Tiramani „Requirements and performance of the new CESI High Power Facilities” IEEE T PAS- No7, vol 102, 1983.
2. P.Gatti, R.Malewski, J.P.Riu, L.van der Sluis „Measuring and Data Processing system for High Power Laboratory” Elektra No 139, 1991r.
3. H.H.Mensing „Neues Meßsystem für Hochleistungsprüfungen im IPH” REPORT-Mitteilungen des Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik” GmbH 1995.01 Berlin.
4. S.Jankowicz, M Babiuch „Sprawozdanie z wyjazdu służbowego do IREQ - Montreal” 1989.09.17-1989.09.24, Warszawa 1989.

5. M.Babiuch „Sprawozdanie z praktyki w Zwarciowni ABB-Baden” 1991.03.15-1991.09.15, Warszawa 1992.
6. M. Babiuch „Opracowanie systemu pomiaru prądu i napięcia w Laboratorium Zwarciowym NAR/IEL z zastosowaniem separacji optoelektronicznej i rejestracji cyfrowej”. Dok. Tech. Nr 5521/NAR/95.
7. „ADAM TRANSIENT RECORDER” , operator’s notes. - Maurer Instruments AG, Switzerland.
8. „IEEE 488 INTERFACE” , operating manual. - Maurer Instruments AG , Switzerland.
9. „Using the HP-IB Interface and Command Library” - Hewlett-Packard Company.

Rękopis dostarczono, dnia 24.07.2001 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Henryk Sibilski

SYSTEM FOR MEASURING ELECTRICAL
AND MECHANICAL VALUES
IN THE HIGH-POWER LABORATORY

M. BABIUCH, P. SCHMIDT, M. SOŁEK

SUMMARY *Complex measuring system for measuring electrical and mechanical values, implemented in the Short Circuit Laboratory of Switchgear Apparatus in Electrotechnical Institute, Warsaw, is discussed along with hardware assisting data recording and analysis. The circuit cooperates with classical converters: shunts and current transformers, voltage transformers, motion-sensors, pressure-sensors, stress-sensors. The measuring signals are separated by opto-electronic system and recorded by transient-recorder ADAM, made by Rene Maurer Electronic Instruments. The circuit is cooperating with computer by interface HPiB where data are treated and analyzed by means of program WinAdam.*

Mgr inż. Michał Babiuch urodził się w 1947 r. Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej ukończył w 1972 r. W latach 1972 do 1977 pracował na politechnice Częstochowskiej. Od 1977 pracuje w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie gdzie zajmuje się badaniami aparatury elektroenergetycznej wysokiego napięcia w tym szczególnie komputerowymi technikami pomiarowymi w laboratorium zwarciovym. Jest autorem lub współautorem kilkunastu publikacji i referatów w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych, krajowych i zagranicznych oraz patentu. Kilka nagród w konkursie na najlepszą pracę naukowo-badawczą w IEL.



Mgr inż. Marek Sołek urodził się w 1972 r. W latach 1992...1997 studiował na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, kierunek Elektrotechnika, specjalność Metrologia. Studia ukończył w 1997 r. z wyróżnieniem. Od 1997 r. pracuje na AGH na Wydziale EAlIE w Zakładzie Elektrotechniki. Jest autorem lub współautorem publikacji w materiałach konferencyjnych. Prowadzi prace naukowo-badawcze w zakresie miernictwa przemysłowego. Nagroda w konkursie na najlepszą pracę naukowo-badawczą w IEL.

Mgr inż. Paweł Schmidt urodził się w 1973 r. W latach 1992...1997 studiował na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, kierunek Elektrotechnika, specjalność Metrologia. Studia ukończył w 1997 r. Od 1997 r. pracuje na AGH na Wydziale EAlIE w Zakładzie Elektrotechniki. Jest autorem lub współautorem publikacji w materiałach konferencyjnych. Prowadzi prace naukowo-badawcze w zakresie miernictwa przemysłowego. Nagroda w konkursie na najlepszą pracę naukowo-badawczą w IEL.

