

Politechnika Lubelska

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

**Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń**

Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

Ćwiczenie nr 6

**Badanie przetworników prądowych stosowanych  
w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej**

## **1. Cel ćwiczenia**

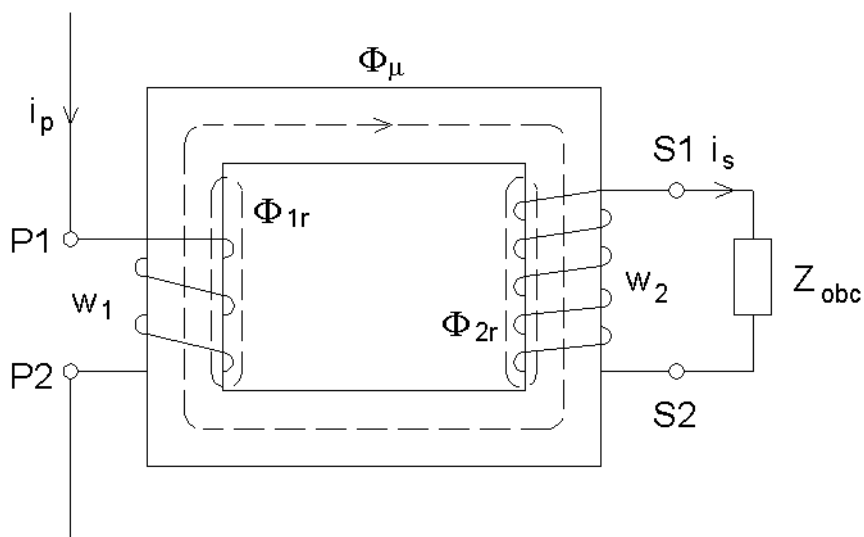
Celem ćwiczenia jest poznanie i wykonanie pomiarów podstawowych parametrów przetwor-  
ników prądowych stosowanych w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej.

## **2. Wstęp**

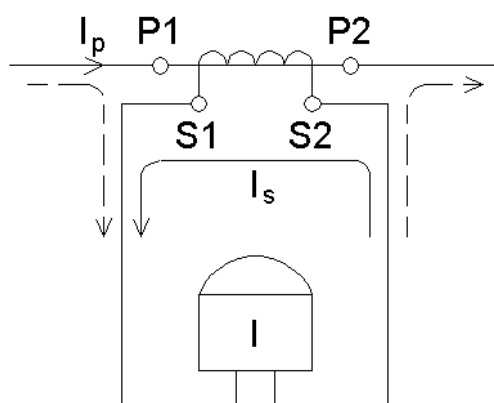
Przekładnik jest to przetwornik przeznaczony do zasilania przyrządów pomiarowych, mierni-  
ków, przekaźników i innych podobnych aparatów. Przekładnik prądowy nazywamy urządze-  
nie w którym prąd wtórny, w normalnych warunkach pracy, jest praktycznie proporcjonalny  
do prądu pierwotnego, a jego faza różni się od fazy prądu pierwotnego o kąt, który jest bliski  
zeru w przypadku odpowiedniego połączenia. Jedynym celem instalowania tych urządzeń jest  
umożliwienie pomiaru prądów pierwotnych. Od przekładników pomiarowych wymaga się  
dużej dokładności transformacji, jednak w wąskim zakresie zmian wielkości pierwotnej.  
Przekładniki takie muszą pracować dokładnie w normalnych warunkach pracy systemu elek-  
troenergetycznego. Od przekładników zabezpieczeniowych, których właściwą rolą jest do-  
starczenie informacji o prądach i napięciach właśnie w stanach awaryjnych, wymagania do-  
kładności transformacji w zakresie znamionowych prądów i napięć są znacznie bardziej tole-  
rancyjne. Natomiast żąda się utrzymania dostatecznie dobrej dokładności transformacji przy  
zwarciach w systemie elektroenergetycznym, a więc w warunkach znacznych przetężeń prą-  
dowych oraz znacznych obniżen napięcia.

## **3. Zasada działania przekładników prądowych**

Na rys. 3.1 podano schemat zasady działania przekładnika prądowego w powszechnie stoso-  
wanym wykonaniu indukcyjnym. Przekładnik ten zawiera rdzeń magnetyczny, na którym jest  
nawinięte uzwojenie pierwotne i wtórne. Końce uzwojenia pierwotnego są oznaczone literami  
P1, P2, natomiast końce uzwojenia wtórnego odpowiednio literami S1, S2. Litery P1 i S1  
oznaczają początki uzwojeń - pierwotnego i wtórnego, a litery P2 i S2 - końce uzwojeń pier-  
wotnego i wtórnego, nawiniętych w tym samym kierunku.



Rys. 3.1. Schemat zasady działania przekładnika prądowego [16]



Rys. 3.2. Schemat rozplywu prądów w obwodach przekładnika prądowego

Przy tak dobranych oznaczeniach prąd wtórny, płynący przez uzwojenie przekładnika prądowego w kierunku od zacisku S2 do S1, jest w fazie z prądem pierwotnym, płynącym od zacisku P1 do P2. Gdyby przekładnia przekładnika prądowego wynosiła 1:1, to prąd pierwotny zachowywałby się tak, jakby przechodził z obwodu pierwotnego do wtórnego zgodnie ze strzałką kreskową na rys. 3.2. Przy dowolnej przekładni, nierównej 1, można przeliczyć prądy wtórne na stronę pierwotną lub odwrotnie przez pomnożenie lub podzielenie przez przekładnię zwojową [2]. Przepływ strony pierwotnej  $I_p w_1$  i wtórnej  $I_s w_2$  wywołują strumienie magnetyczne skojarzone z uzwojeniami. W obwodzie jak na rys. 3.1 można wyróżnić strumień  $\Phi_\mu$  zamykający się w rdzeniu magnetycznym, wspólny dla obydwu uzwojeń, oraz strumienie rozproszenia  $\Phi_{1r}$  oraz  $\Phi_{2r}$  przenikające wyłącznie przez uzwojenia odpowiednio  $w_1$  i  $w_2$ .

#### 4. Błędy przekładnika prądowego

Schemat zastępczy przekładnika prądowego oraz odpowiadający mu wykres wektorowy mogą służyć do wyjaśnienia teorii liniowej przekładnika pracującego w warunkach pracy ustalo-

nej w zakresie prądów znamionowych, przy założeniu ich sinusoidalnego przebiegu. Dokładność przekładnika prądowego w zakresie prądów znamionowych jest określana za pomocą błędów, do których należą: błąd prądowy, błąd kątowy i błąd całkowity. *Błąd prądowy* (błąd przekładni) jest to błąd, który przekładnik wprowadza do pomiaru prądu, wynikający z tego, że przekładnia rzeczywista nie jest równa przekładni znamionowej [5]. Błędem prądowym nazywamy różnicę wartości skutecznej prądu wtórnego pomnożoną przez przekładnię znamionową i wartości skutecznej prądu pierwotnego, wyrażoną w procentach wartości skutecznej prądu pierwotnego. Definicję powyższą można napisać w postaci wzoru:

$$\Delta I\% = \frac{(K_n I_s - I_p) \times 100}{I_p} \dots\dots\dots (4.1)$$

*Błąd kątowy* jest to kąt fazowy między wektorami prądów pierwotnego i wtórnego, jeżeli zwroty tych wektorów są tak dobrane, że w idealnym przekładniku kąt jest równy zeru. Błąd kątowy jest określany jako dodatni, jeżeli wektor prądu wtórnego wyprzedza wektor prądu pierwotnego. Zwykle jest on wyrażony w minutach lub centyradianach [5]. Definicję powyższą można napisać w postaci wzoru

$$\delta_i = \arg \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots (4.2)$$

*Błąd całkowity* jest to wartość skuteczna prądu w stanie ustalonym, będącego różnicą między

- a) chwilowymi wartościami rzeczywistego prądu wtórnego pomnożonego przez znamionową przekładnię przekładnika, przy oznaczeniu kierunków prądów pierwotnego i wtórnego zgodnymi z przyjętą zasadą oznaczania zacisków, a
- b) chwilowymi wartościami prądu pierwotnego.

Błąd całkowity jest wyrażony w procentach wartości skutecznej prądu pierwotnego według wzoru:

$$\mathcal{E}_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt} \dots\dots\dots (4.6)$$

Jeżeli prądy są sinusoidalne, to:

$$\mathcal{E}_c = \frac{|I_s K_n - I_p|}{I_p} 100 \dots\dots\dots (4.7)$$

## 5. Parametry znamionowe przekładników prądowych [5]

Przekładniki prądowe są charakteryzowane wieloma parametrami. Podstawowe wielkości znamionowe przekładników prądowych to:

### 1. Znormalizowane wartości znamionowych prądów pierwotnych

Znamionowy prąd pierwotny ( $I_P$ ) jest to wartość prądu pierwotnego, do którego odniesiona jest praca przekładnika. Przekładniki jednoprzekładniowe: 10-12,5-15-20-25-30-40-50-60-75A i ich dziesiętne wielokrotności i części (wartości zalecane: 10-15-20-30-50-75 A). Przekładniki wieloprzekładniowe wartości jak w jednoprzekładniowych dotyczą najmniejszych wartości prądu pierwotnego.

### 2. Znormalizowane wartości znamionowych prądów wtórnych

Znamionowy prąd wtórny ( $I_S$ ) jest to wartość prądu wtórnego, do którego odniesiona jest praca przekładnika. Znormalizowanymi wartościami są: 1-2-5 A (zalecaną wartością jest 5 A). W przekładnikach przeznaczonych do łączenia w trójkąt powyższe wartości podzielone przez  $\sqrt{3}$  są również wartościami znormalizowanymi.

3. Znamionowy długotrwały prąd cieplny jest to wartość prądu, który może trwale płynąć w uzwojeniu pierwotnym, przy znamionowym obciążeniu uzwojenia wtórnego, bez wzrostu temperatury ponad dopuszczalną wartość. Jeżeli nie określono inaczej, znamionowym długotrwałym prądem cieplnym powinien być znamionowy prąd pierwotny.

### 4. Znormalizowane wartości mocy znamionowych

Moc znamionowa jest to wartość mocy pozornej, którą przekładnik jest zdolny zasilić obwód wtórny przy znamionowym prądzie wtórnym i obciążeniu znamionowym. Wartościami mocy znamionowych do 30 VA są: 2,5-5-10-15-30 VA. Wartości większe od 30 VA mogą być stosowane odpowiednio do potrzeby.

### 5. Znamionowe prądy krótkotrwałe

Znamionowy krótkotrwały prąd cieplny ( $I_{th}$ ) jest to wartość skuteczna prądu pierwotnego, którą przekładnik ze zwartymi uzwojeniami wtórnymi powinien wytrzymać przez jedną sekundę bez uszkodzenia. Znamionowe czasy inne niż jedna sekunda, jak 0,5-2-3 s mogą być przedmiotem umowy.

Znamionowy prąd dynamiczny ( $I_{dyn}$ ) jest to wartość szczytowa prądu pierwotnego, którą przekładnik ze zwartymi uzwojeniami wtórnymi powinien wytrzymać, bez uszkodzenia elek-

trycznego lub mechanicznego w wyniku działania sił elektromagnetycznych. Wartość znamionowego prądu dynamicznego zwykle powinna być 2,5 razy większa od znamionowego krótkotrwałego prądu cieplnego i powinna być podana na tabliczce znamionowej.

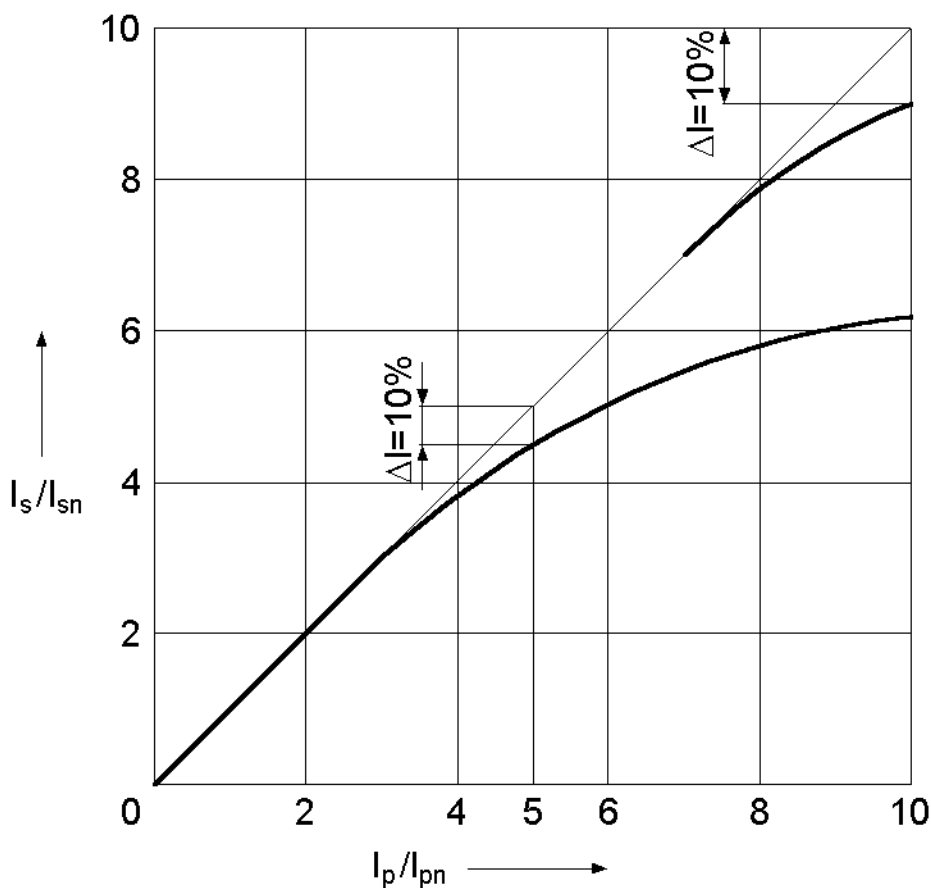
### **Przekładniki prądowe do pomiarów**

*Przekładnik prądowy do pomiarów* przeznaczony jest do zasilania przyrządów wskazujących, liczników i podobnych aparatów.

*Znamionowy prąd bezpieczny przyrządu (IPL)*, oznacza najmniejszą wartość prądu pierwotnego, przy którym błąd całkowity przekładnika prądowego jest równy lub większy niż 10 % przy obciążeniu znamionowym (rys. 8.1) [16].

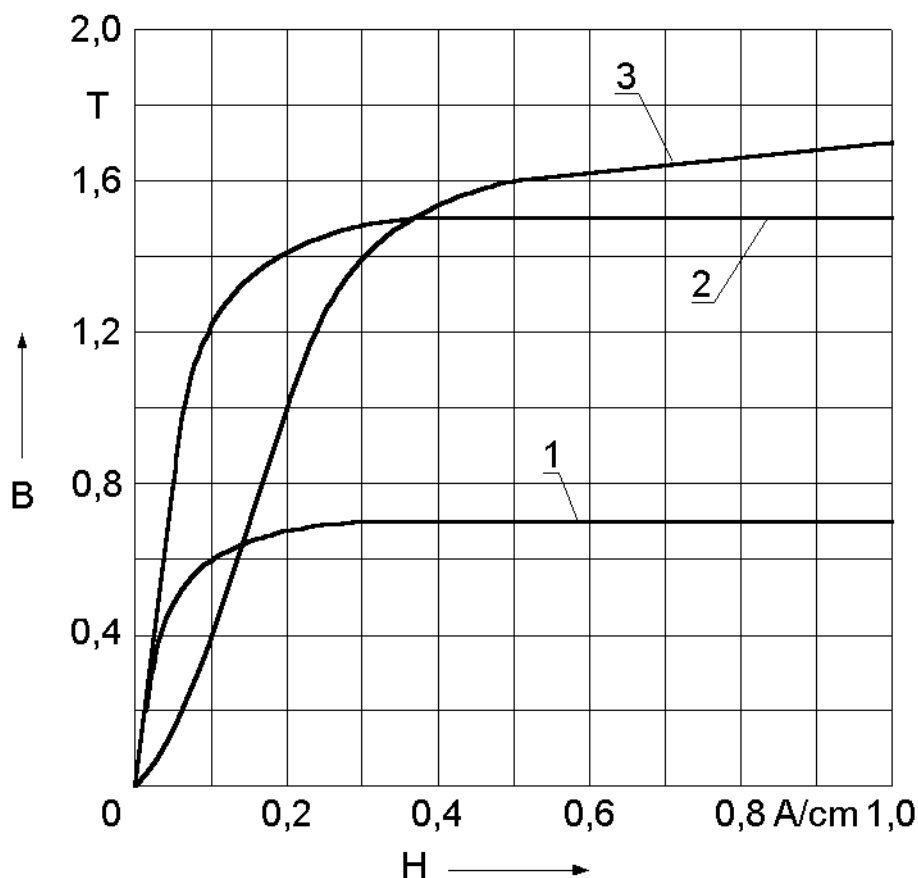
*Znamionowy współczynnik bezpieczeństwa przyrządu FS*, równa się stosunkowi znamionowego prądu bezpiecznego przyrządu do znamionowego prądu pierwotnego przekładnika; bezpieczeństwo przyrządów zasilanych przez przekładnik jest większe, gdy wartość współczynnika bezpieczeństwa FS jest mniejsza [16].

*Wtórna graniczna siła elektromotoryczna*, równa się iloczynowi współczynnika bezpieczeństwa przyrządu FS, znamionowego prądu wtórnego oraz sumy wektorowej obciążenia znamionowego i impedancji uzwojenia wtórnego [5].



Rys. 5.1. Krzywe zależności prądu wtórnego od prądu pierwotnego przekładników prądowych o współczynniku bezpieczeństwa FS 5 oraz 10

Krotności prądów równe współczynnikowi FS odpowiadają warunkom, w jakich indukcja w rdzeniu jest bliska wartości, przy której następuje przegięcie charakterystyki magnesowania, praktycznie 1,4-1,7 T (rys. 5.2). Przetężenia o krotnościach większych niż współczynnik FS nie powodują istotnego zwiększenia prądu po stronie wtórnej. Jest to ważne ze względu na ochronę przed zniszczeniem mierników i przyrządów, wywołanym cieplnymi skutkami przepływu prądu o wartościach przekraczających parametry znamionowe. Przekładniki w obwodach zasilających mierniki powinny mieć małe (5 lub 10) współczynniki FS, aby niezależnie od wartości prądu pierwotnego prąd po stronie wtórnej był relatywnie niewielki [16].



Rys. 5.2. Charakterystyka magnesowania materiałów magnetycznych stosowanych na rdzenie przekładników prądowych. 1 - stop nikiel-żelazo (ok. 75 % Ni) do stosowania w przekładnikach pomiarowych, 2 - stop nikiel-żelazo (ok. 50 % Ni) do stosowania w przekładnikach zabezpieczeniowych, 3 - żelazo krzemowe zimnowalcowane

Znormalizowanymi klasami dokładności przekładników prądowych do pomiarów są:

0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3 - 5.

### Przekładniki prądowe do zabezpieczeń

*Przekładnik prądowy do zabezpieczeń* jest to przekładnik przeznaczony do zasilania przekazników zabezpieczających.

*Znamionowy graniczny prąd pierwotny* jest to wartość skuteczna prądu pierwotnego, od której przekładnik spełnia wymagania w zakresie błędu całkowitego.

*Współczynnik graniczny dokładności* jest to stosunek znamionowego granicznego prądu pierwotnego do znamionowego prądu pierwotnego.

*Wtórna graniczna siła elektromotoryczna* jest to iloczyn współczynnika granicznego dokładności, znamionowego prądu wtórnego oraz sumy wektorowej obciążenia znamionowego i impedancji uzwojenia wtórnego.



Znormalizowanymi współczynnikami granicznymi dokładności są:

5 - 10 - 15 - 20 - 30

W obwodach zabezpieczeń, w niektórych przypadkach niezbędna jest dokładna transformacja prądu zwarciovego, która zapewni poprawne działanie zabezpieczeń. Niekiedy konieczna jest znajomość przebiegów przejściowych okresowych i nieokresowych prądu zwarciovego. Dokładność transformacji tych przebiegów zależy od wartości indukcji w rdzeniu. Przy dużym prądzie zwarciovym przekładnik pracuje najczęściej w stanie nasycenia, prąd jest mocno odkształcony, zaś transformacja obarczona znacznym błędem. Aby otrzymać w miarę dokładne przebiegi prądu zwarciovego, wraz ze składowymi przejściowymi prądu, należy stosować przekładniki o dużych (15, 20 lub 30) współczynnikach  $K_{alf}$ . Są to przekładniki o większych przekrojach rdzenia (niewielkie wartości indukcji znamionowej) i małych obciążeniach strony wtórnej. Rzeczywista wartość współczynnika  $K_{alf}$  (oznaczona  $n_B$ ) zależy od obciążenia strony wtórnej przekładnika według zależności

$$n_B = K_{alf} \frac{S_N + S_{wp}}{S_B + S_{wp}} \dots\dots\dots$$

w której:  $S_N$  - moc znamionowa przekładnika,  $S_{wp}$  - „moc własna” przekładnika powodowana impedancją uzwojeń, równa  $(0,05 \div 0,20) S_N$ ,  $S_B$  - obciążenie strony wtórnej przyłączone do zacisków przekładnika. Rzeczywiste wartości  $n_B$  współczynnika  $K_{alf}$  w zależności od obciążenia strony wtórnej  $S_B$  mogą zatem bardzo się różnić od jego wartości znamionowej  $n_N$ .

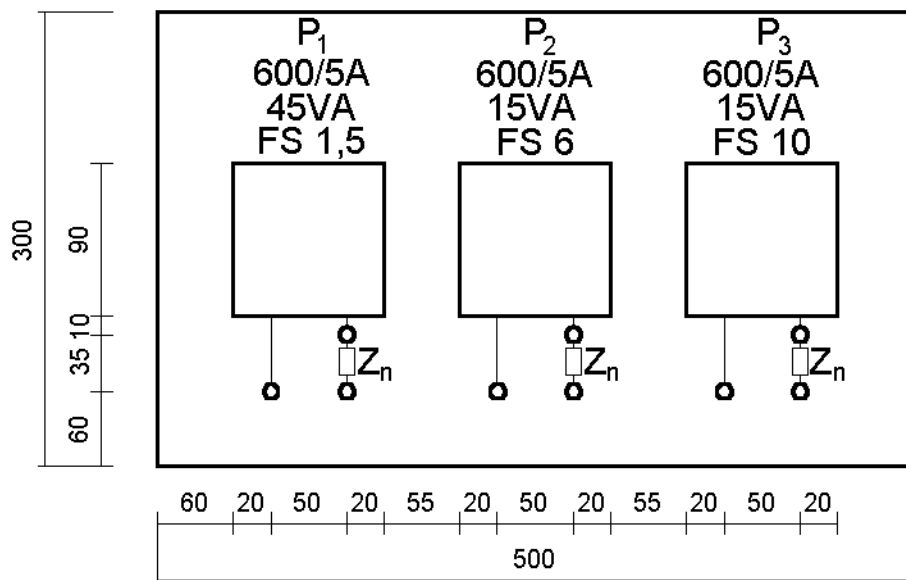
Przy obciążeniu przekładnika mocą  $S_B=0,5S_N$  współczynnik  $K_{alf}$  zwiększa się  $1,7 \div 1,9$  razy, przy obciążeniu zaś mocą  $S_B=2S_N$  zmniejsza się  $0,52 \div 0,59$  razy. Oznacza to w pierwszym przypadku, że przy znacznych przetężeniach przyrządy pomiarowe nie są chronione przed zniszczeniem, nie występuje bowiem ograniczające działanie nasycenia rdzenia magnetycznego i prąd strony wtórnej może osiągać bardzo znaczne wartości, wprost proporcjonalne do wartości prądu strony pierwotnej. Z kolei przy obciążeniu przekładnika mocą  $S_B=2S_N$  już przy stosunkowo niewielkich przetężeniach może występować transformacja prądu z dużym błędem ujemnym, co może być przyczyną błędnych działań zabezpieczeń. Z tego powodu, gdy obciążenie strony wtórnej  $S_B$  jest znacznie mniejsze od znamionowego  $S_N$ , może być konieczne włączenie w obwód pomiarowy dodatkowej rezystancji tak, aby  $S_B \approx S_N$ .

Klasy dokładności przekładników prądowych do zabezpieczeń jest oznaczona przez największy dopuszczalny błąd całkowity wyrażony w procentach, przy znamionowym granicznym prądzie pierwotnym dla danej klasy dokładności, poprzedzający literę P.

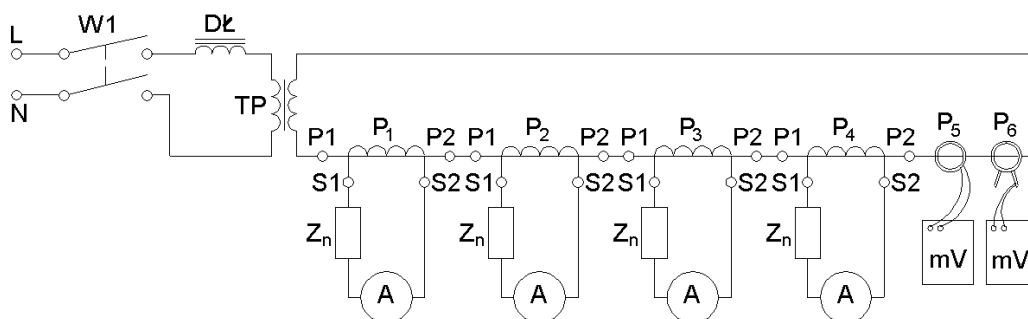
Znormalizowane klasy dokładności przekładników zabezpieczeniowych:

5P i 10P.

## 6. Wykonanie ćwiczenia



Rys. 6.1. Płyta czołowa stanowiska laboratoryjnego



Rys. 6.2. Schemat elektryczny stanowiska laboratoryjnego

W1 - wyłącznik tablicowy

Dł - dławik do regulacji napięcia, typ ŁK-15, ~500 V, 15 A

TP - transformator prądowy, typ TW1a, NF 313104 rok 1967, napięcie 220 V, moc 1 kVA, napięcie prob. 2 kV, częstotliwość 50 Hz

A - amperomierz elektromagnetyczny prądu przemiennego Lumel EA 19, klasa 1,5; pionowe położenie pracy miernika, zakres pracy 20 A

Należy wyznaczyć rzeczywiste wartości współczynnik  $FS$  dla przekładników wskazanych przez prowadzącego dla znamionowych wartości obciążenia strony wtórnej przekładnika. W tym celu należy wyznaczyć charakterystyki opisujące zależność prądu wtórnego od prądu pierwotnego przekładników prądowych zgodnie z rys. 5.1 a następnie metodą graficzną wyznaczyć wartości współczynników  $FS$ . Należy porównać uzyskane wartości współczynników  $FS$  z wartościami znamionowymi.