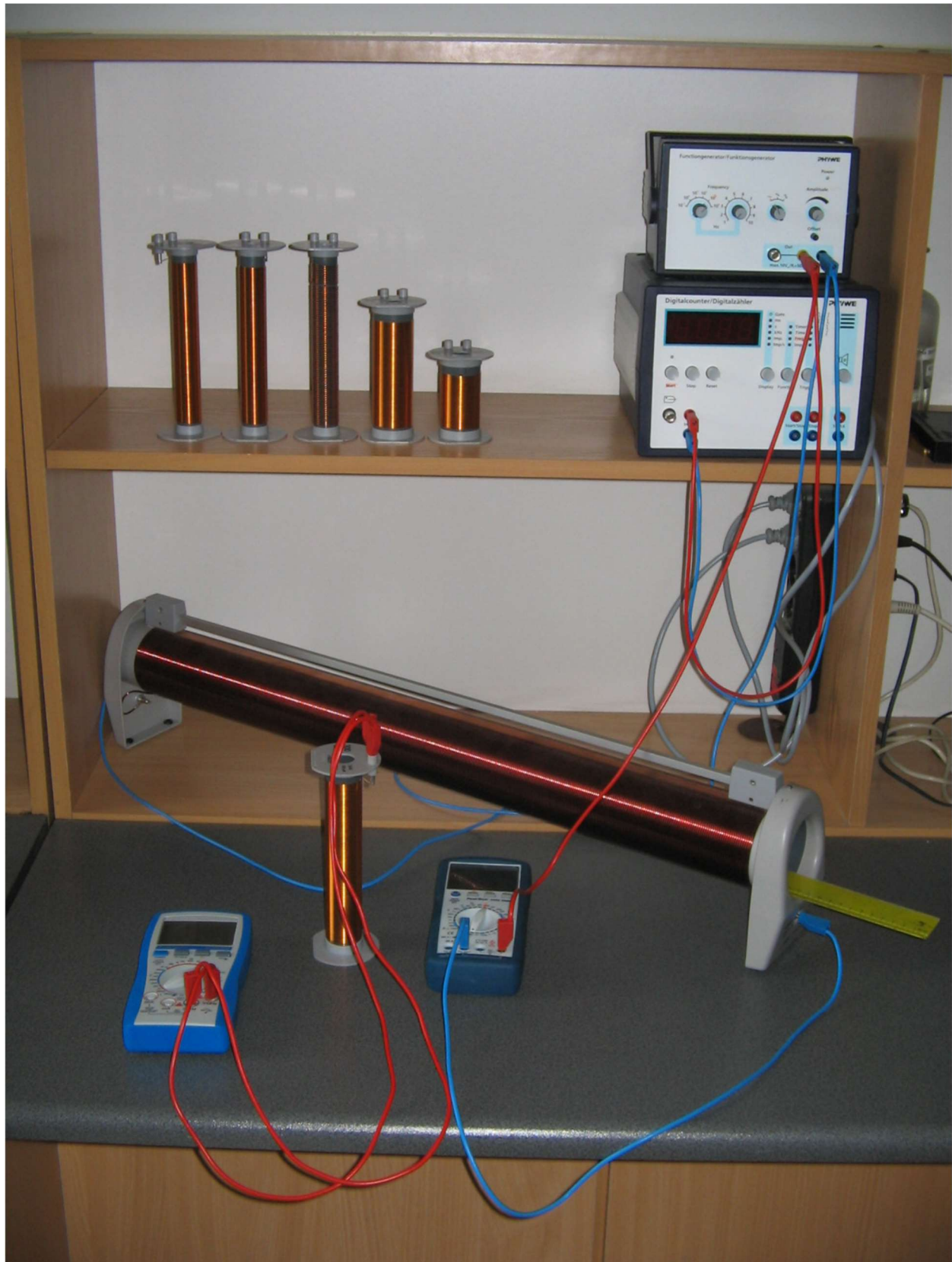


WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA INDUKCJI WZAJEMNEJ**1. Opis teoretyczny do ćwiczenia**

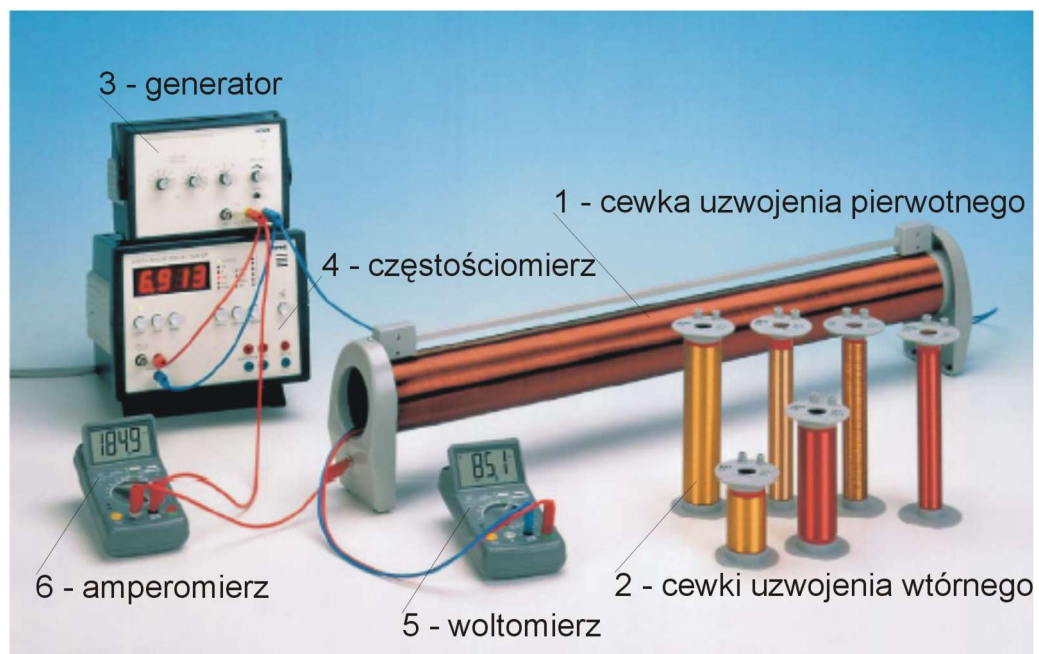
zamieszczony jest na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

2. Opis układu pomiarowego

Układ pomiarowy do badania zjawiska indukcji elektromagnetycznej zawiera:

- generator funkcyjny sygnałów harmoniczných o regulowanej amplitudzie i zakresie częstotliwości 0,1 – 100 kHz,
- cyfrowy miernik częstotliwości o 4. dekadach używany do dokładnego określania częstotliwości sygnału generatora,
- dwa multimetry stosowane do pomiaru napięcia oraz natężenia prądu,
- dużą cewkę uzwojenia pierwotnego: długość $l=750$ mm, 485 zwoi/metr, średnica kanału 79 mm, opór $0,3 \Omega$, indukcyjność 1 mH;
- siedem mniejszych cewek uzwojenia wtórnego o różnej długości, umieszczanych wewnątrz uzwojenia pierwotnego, o parametrach zebranych w tabeli:

nr	n - ilość zwojów	średnica mm	indukcyjność μH	opór Ω
1	300	41	800	3,5
2	300	33	530	2,8
3	300	26	330	2,2
4	200	41	500	2,2
5	150	26	90	0,3
6	100	41	240	1,1
7	75	26	24	0,15



Jedna z cewek uzwojenia wtórnego [2] znajduje się wewnątrz cewki uzwojenia pierwotnego [1]. Korzystając z generatora funkcyjnego [3] otrzymujemy prąd sinusoidalny o częstotliwościach zmieniających się w zakresie 1 – 10 kHz. W celu dokładnego wyznaczenia częstotliwości generowanego sygnału do generatora [3] podłączony jest równolegle miernik [4] pracujący w trybie częstotliciomierza. Do zmierzenia wartości skutecznej natężenia prądu płynącego przez cewkę uzwojenia pierwotnego służy jeden z multimetrów [6] pracujący w trybie amperomierza. Generator [3], amperomierz [6], cewka uzwojenia pierwotnego [1] tworzą obwód pierwotny. Obwód drugi (wtórny) to multimetr [5] pracujący, jako woltomierz podłączony do jednej z cewek [2]. Multimetr [5] pozwala zmierzyć wartość skuteczną napięcia generowanego w drugim obwodzie. Najlepsze zobrazowanie badanego zjawiska indukcji elektromagnetycznej uzyskuje się, gdy cewki [2] umieszcza się w połowie długości kanału cewki [1].

3. Przeprowadzenie pomiarów

Uwagi do stosowanego sprzętu:

- Mierniki uniwersalne wyposażone są w układy samowylączające - w przypadku wyłączenia się miernika w trakcie ćwiczenia należy włączyć go ponownie przełączając zakresy pomiarowe;
- Generator posiada dwie funkcje sterujące parametrami natężenia prądu, których nastawienia sumują się: potencjometr amplitudy sygnału harmonicznego (używany w ćwiczeniu) i mniejszy potencjometr OFFSET ustalający poziom sygnału stałego;

Przy przeprowadzaniu ćwiczenia zalecany jest jeden z następujących wariantów wyboru cewek:

(*) Wybór minimum dwóch cewek o jednakowej ilości zwojów, a różniące się przekrojem.

Taki wybór umożliwia doświadczalne przeanalizowanie zależności wyznaczanych parametrów od pola przekroju.

(**) Wybór minimum dwóch cewek o jednakowym przekroju, a różniące się ilością zwojów.

Taki wybór umożliwia doświadczalne przeanalizowanie zależności wyznaczanych parametrów od ilości zwojów.

(***) Wybór jednej cewki, którą bada się dla minimum dwóch ustalonych częstotliwości i minimum dwóch ustalonych natężeń prądu w uzwojeniu pierwotnym.

Taki wybór umożliwia doświadczalne przeanalizowanie charakteru zmian indukcyjności wzajemnej M_ω (przy stałej częstotliwości) oraz M_I (przy stałym natężeniu) danej cewki.

1. Sprawdzić, czy obwód jest połączony tak jak na zdjęciu, a nastawy przyrządów odpowiadają wymogom pomiaru współczynnika indukcji wzajemnej.
2. Pomiary z punktu 3 – 4 przeprowadzamy dla cewek uzwojenia wtórnego wskazanych przez prowadzącego.
3. Pomiar napięcia skutecznego w obwodzie wtórnym $E_s(f)$ w funkcji częstotliwości prądu obwodu pierwotnego prowadzić w zakresie:
 - 1 – 10 kHz co 1 kHz,
 - przy stałej wartości natężenia prądu I_p z zakresu około 3 – 7 mA.

Po nastawieniu częstotliwości sprawdzamy i korygujemy wartość natężenia prądu do przyjętej wartości parametru. Następnie odczytujemy i zapisujemy wartość napięcia indukowaną w obwodzie wtórnym.

4. Pomiar napięcia skutecznego w obwodzie wtórnym $E_s(I_p)$ w funkcji natężenia prądu obwodu pierwotnego prowadzić w zakresie:
 - 1 – 10 mA natężenia prądu co 1 mA,
 - przy stałej wartości częstotliwości f z zakresu 8 – 10 kHz.

Po nastawieniu natężenia sprawdzamy i korygujemy wartość częstotliwości prądu do przyjętej wartości parametru. Następnie odczytujemy i zapisujemy wartość napięcia indukowaną w obwodzie wtórnym.

5. Zapisać parametry stanowiska i niepewności pomiarowe.

4. Opracowanie wyników pomiarów

Wykonanie wykresu (1)- zależności napięcia na cewce wtórnej od częstotliwości prądu w cewce pierwotnej*Na jednym wykresie należy nanieść wszystkie badane przypadki.*

1. Nanieść wykres punkty pomiarowe $E_s(f)$ wraz z ich niepewnościami.
2. Korzystając z metody aproksymacji najmniejszych kwadratów Gaussa dokonać aproksymacji punktów pomiarowych prostymi $y = \bar{a}x + \bar{b}$, gdzie $x = f$, $y = E_s$. Parametry prostej oraz ich niepewności wyznaczamy z

$$\bar{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)}, \quad \bar{b} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n},$$

$$u(\bar{a}) = \sigma_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{n}{n-2} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right) - \bar{b} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}}, \quad u(\bar{b}) = \sigma_{\bar{b}} = \sigma_{\bar{a}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}.$$

Przy wyznaczaniu parametrów prostych zaleca się wykonanie tabeli zawierającym kolumny z poszczególnymi wartościami: x_i , y_i , x_i^2 , y_i^2 , $x_i \cdot y_i$ oraz ich sumy w celu uniknięcia błędów przy przetwarzaniu wartości zmierzonych.

Prostą wraz z wyznaczonymi parametrami nanieść na wykres (1).

Wyznaczenie współczynnika indukcyjności wzajemnej M_I (przy stałym natężeniu) wraz z niepewnościami

Obliczenia wykonać dla każdej z badanych cewek.

3. W oparciu o zależność $M_I = \left(\frac{E_s}{f}\right) \cdot \frac{1}{2\pi \cdot I_p}$ wyznaczyć współczynnik indukcyjności wzajemnej ze współczynnika kierunkowego prostej $E_s = (2\pi \cdot I_p \cdot M_I) \cdot f \rightarrow \bar{M}_I = \frac{\bar{a}}{2\pi \cdot I_p}$.
4. Biorąc pod uwagę niepewności maksymalne $u(\bar{a})$, ΔI_p obliczyć standardową niepewność złożoną względną: $u_{c,r}(\bar{M}_I) = \sqrt{\left(\frac{u(\bar{a})}{\bar{a}}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta I_p}{I_p}\right)^2}$
5. Wyznaczyć standardową niepewność złożoną bezwzględną $u_c(\bar{M}_I) = \bar{M}_I \cdot u_{c,r}(\bar{M}_I)$
6. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(\bar{M}_I) = 2 \cdot u_c(\bar{M}_I)$.

Wykonanie wykresu (2)- zależności napięcia na cewce wtórnej od wartości prądu w cewce pierwotnej*Na jednym wykresie należy nanieść wszystkie badane przypadki.*

1. Nanieść na wykres punkty pomiarowe $E_s(I_p)$ wraz z ich niepewnościami.
2. Korzystając z metody aproksymacji najmniejszych kwadratów Gaussa dokonać aproksymacji punktów pomiarowych prostym $y = \bar{a}x + \bar{b}$, gdzie $x = I_p$, $y = E_s$, a odpowiednie parametry i ich niepewności wyznaczyć jak w punkcie 2.

Wyznaczenie współczynnika indukcyjności wzajemnej M_ω (przy stałej częstotliwości)
wraz z niepewnościami

Obliczenia wykonać dla każdej z badanych cewek.

3. W oparciu o zależność $M_\omega = \frac{E_s}{\omega I_p} = \left(\frac{E_s}{I_p}\right) \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f}$ wyznaczyć współczynnik indukcyjności wzajemnej ze współczynnika kierunkowego prostej $E_s = (2\pi \cdot f \cdot M_\omega) \cdot I_p \rightarrow \bar{M}_\omega = \frac{\bar{a}}{2\pi \cdot f}$.
4. Biorąc pod uwagę niepewności maksymalne $u(\bar{a})$, Δf obliczyć niepewność standardową złożoną względną: $u_{c,r}(\bar{M}_\omega) = \sqrt{\left(\frac{u(\bar{a})}{\bar{a}}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2}$
5. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną bezwzględną $u_c(\bar{M}_\omega) = \bar{M}_\omega \cdot u_{c,r}(\bar{M}_\omega)$
6. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(\bar{M}_\omega) = 2 \cdot u_c(\bar{M}_\omega)$.

Wyznaczenie teoretycznego współczynnika indukcyjności wzajemnej M_0 *Obliczenia wykonać dla każdego zestawu cewka uzwojenia pierwotnego - wtórnego.*

7. Korzystając ze wzoru $M_0 = \mu(Sn) \left(\frac{N}{l}\right)$ obliczyć teoretyczne wartości współczynników indukcji wzajemnej dla stosowanych zestawów cewek, gdzie:
 μ – przenikalność magnetyczna powietrza, S – pole przekroju jednego zwoju w cewce uzwojenia wtórnego, n – ilość zwojów cewki uzwojenia wtórnego, N – ilość zwojów cewki uzwojenia pierwotnego, l – długość cewki uzwojenia pierwotnego.

5. Podsumowanie

1. Zgodnie z regułami prezentacji wyników zestawień wyznaczone wielkości dla wszystkich pomiarów

$$\left(\bar{M}_\omega, u_c(\bar{M}_\omega), u_{c,r}(\bar{M}_\omega), U(\bar{M}_\omega)\right) \text{ oraz wartość odniesienia } M_0,$$

$$\left(\bar{M}_I, u_c(\bar{M}_I), u_{c,r}(\bar{M}_I), U(\bar{M}_I)\right) \text{ oraz wartość odniesienia } M_0.$$

2. Przeanalizować uzyskane rezultaty:

- która z niepewności wnosi największy wkład do niepewności złożonej $u_c(\bar{M}_\omega)$,
 - czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(\bar{M}_\omega) < 0,1$,
 - czy spełniona jest relacja $|M_0 - \bar{M}_\omega| < U(\bar{M}_\omega)$,
 - rozkład punktów na wykresach $E_s(f)$,
 - która z niepewności wnosi największy wkład do niepewności złożonej $u_c(\bar{M}_I)$,
 - czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(\bar{M}_I) < 0,1$,
 - czy spełniona jest relacja $|M_0 - \bar{M}_I| < U(\bar{M}_I)$,
 - rozkład punktów na wykresach $E_s(I_p)$,
- pod kątem występowania i przyczyn błędów grubych, systematycznych i przypadkowych.

3. Wnioski z analizy rezultatów.

a) Wyciągnąć wnioski pod kątem występowania błędów grubych, systematycznych i przypadkowych i ich przyczyn w zależności od przyjętego wariantu doboru cewek:

(*) Jaki wpływ ma zmiana pola przekroju S cewki uzwojenia wtórnego na wartość M_ω ?

(*) Jaki wpływ ma zmiana pola przekroju S cewki uzwojenia wtórnego na wartość M_I ?

(**) Jaki wpływ ma zmiana ilości zwojów cewki uzwojenia wtórnego na wartość M_ω ?

(**) Jaki wpływ ma zmiana ilości zwojów cewki uzwojenia wtórnego na wartość M_I ?

(***) Jaki wpływ ma zmiana ustalonej częstotliwości prądu w cewce uzwojenia pierwotnego na wartość M_ω ?

(***) Jaki wpływ ma zmiana ustalonego natężenia prądu w cewce uzwojenia pierwotnego na wartość M_I ?

b) Zaproponować działania zmierzające do podniesienia dokładności wykonywanych pomiarów.

c) Wyjaśnić czy cele ćwiczenia zostały osiągnięte.

6. Przykładowe pytania

Zamieszczone są na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

1. Od czego zależy indukcyjność cewki.
2. Omówić zjawisko indukcyjności wzajemnej.
3. Omówić zjawisko samoindukcji.
4. Omówić zasadę przekory Lenza.
5. Omówić prawo indukcji elektromagnetycznej.
6. Omówić właściwości pola magnetycznego od przewodnika prostoliniowego.
7. Omówić właściwości pola magnetycznego od przewodnika kołowego.
8. Wyprowadzić zależność na indukcję pola magnetycznego w środku kołowego obwodu z prądem.
9. Omówić prawo Biota-Savarta.

Zadania dodatkowe do wyznaczenia i analizy:

- Wyznaczyć współczynnik korelacji liniowej dla obu wykresów i zapisać go na wykresie. Wynik poddać analizie i wyciągnąć wnioski.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}$$

- Przebadać więcej niż dwie cewki w wariantach (*) lub (**).
- Przebadać więcej niż dwa ustalone natężenia w wariacie(***) .
- Przebadać więcej niż dwie ustalone częstotliwości w wariacie (***) .

sprawdził dr inż. Zbigniew Krajewski, wersja z dnia 6.10.2022

Zespół w składzie.....

cele ćwiczenia:

- a) wyznaczenie współczynnika indukcji wzajemnej M_{ω} :
- b) wyznaczenie współczynnika indukcji wzajemnej M_I :
- c) wariant (*) - ustalenie zależności współczynników M_I i M_{ω} od pola przekroju uzw. wtórnego;
- d) wariant (**) - ustalenie zależności współczynników M_I i M_{ω} od ilości zwojów uzw. wtórnego;
- e) wariant (***) - ustalenie stałości współczynników M_I i M_{ω} dla jednej cewki.

1. Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych:

.....

2. Parametry stanowiska (wartości i niepewności):

Cewka 0.....

Cewka A.....

Cewka B.....

.....

3. Pomiary i uwagi do ich wykonania:

niepewność pomiaru I_p

niepewność pomiaru f

niepewność pomiaru E_s

.....

.....

.....

	f [kHz]										Zaznacz na schemacie obok wybór 20 punktów pomiarowych zakreślając odpowiedni wiersz i kolumnę.
I _p [mA]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

Cewka A

I _p [mA] ustalone	f [kHz]	E _s [.....]	L.p.	f [kHz] ustalone	I _p [mA]	E _s [.....]
			1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
			8			
			9			
			10			

Cewka B

I _p [mA] ustalone	f [kHz]	E _s [.....]	L.p.	f [kHz] ustalone	I _p [mA]	E _s [.....]
			1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
			8			
			9			
			10			