

Pomiary pola elektrycznego i magnetycznego

7.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z podstawowymi zagadnieniami związanymi z pomiarami pola elektrycznego i magnetycznego.

Pole elektromagnetyczne definiujemy jako stan w przestrzeni, w której na obiekt fizyczny posiadający ładunek elektryczny działają siły o naturze elektromagnetycznej. Pole to występuje w bardzo szerokim zakresie częstotliwości od 0 Hz (pole stałe) aż do wysokoczęstotliwościowego promieniowania elektromagnetycznego (promieniowanie X, promieniowanie gamma). Pole elektromagnetyczne jest dokładnie opisane równaniami Maxwella, w których ustalony jest formalny związek pomiędzy natężeniami składowych pola elektrycznego i magnetycznego. W zakresie skrajnie niskich częstotliwości od 0 do kilku kHz obie składowe pola mogą być opisywane i analizowane rozdzielnie.

7.2. Wybrane wiadomości podstawowe – Pole elektryczne

7.2.1. Wiadomości podstawowe

Pole elektryczne opisywane jest przez wektor natężenia pola elektrycznego E . Rozkład pola elektrycznego jest definiowany przez linie sił pola i linie ekwipotencjalne, przy czym obie rodziny linii są wzajemnie ortogonalne. Linia sił pola nazywa się więc, linią w przestrzeni, do której styczna w dowolnym punkcie ma kierunek wektora natężenia pola. Istnienie pola elektrycznego można stwierdzić wprowadzając do niego ładunek q , gdyż będzie na niego działać siła F zależna od wartości liczbowej tego ładunku. Aby ładunek nie zniekształcał pola jest pożądane, aby był on znikomy. Definitywnie przyjmuje się zatem, że wektor natężenia pola elektrycznego jest ilorazem siły F działającej na ładunek elektryczny q znajdujący się w tymże polu elektrycznym do wartości tego ładunku.

$$E = \frac{F}{q} \quad (7.2.1.)$$

Rozpisując jednostki dla powyższego wzoru można wyprowadzić powszechnie stosowaną jednostkę natężenia pola elektrycznego:

$$1E = \frac{1F}{1q} = \left[\frac{N}{C} = \frac{J}{mAs} = \frac{VAs}{mAs} = \frac{V}{m} \right] \quad (7.2.2.)$$

Przy pomiarze silniejszych pól elektrycznych posługiwać się można jednostką kV/m, gdzie $kV/m = 1000V/m$.

Źródłem pola elektrycznego są wszelkie pracujące urządzenia elektryczne i elektroenergetyczne. Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego (natężenie pola elektrycznego E) determinowana jest potencjałem obiektu (napięciem), nie zależy zaś od wartości natężenia prądu. Należy więc pamiętać, że mimo iż natężenie prądu równa się 0 to pole elektryczne istnieje. Duże znaczenie ma także odległość od źródła pola. Cechą charakterystyczną jest bowiem, bardzo szybkie zmniejszanie się wartości natężenia pola elektrycznego wraz z odległością (np. dla linii wysokiego napięcia wartość natężenia pola maleje odwrotnie proporcjonalnie z kwadratem odległości od przewodów roboczych linii). Ważnym z punktu widzenia zagrożenia pola elektrycznego jest możliwość ekranowania tego pola. W

przypadku pola pochodzącego od napowietrznej linii przesyłowej linie sił pola elektrycznego biegną niemal prostopadłe do powierzchni ziemi w jej pobliżu. W wyniku tego, rozkład natężenia pola elektrycznego jest praktycznie równomierny w odległości 2 do 3 metrów od powierzchni ziemi. Obiekty przewodzące zakłócają tę równomierność. Linie sił pola elektrycznego koncentrują się wtedy w częściach elementów przewodzących o dużej krzywiznie. Natężenie pola składowej elektrycznej rośnie, a jednocześnie pole jest osłabiane lub nawet ekranowane w innych miejscach przestrzeni. Stąd pole elektryczne pochodzące od linii wysokiego napięcia może być redukowane przez specjalne rozwiązania techniczne lub przez obiekty znajdujące się pod wpływem tego pola np. budynek. W wyniku ekranującego wpływu zewnętrznych ścian budynku i jego dachu, w jego wnętrzu natężenie pola elektrycznego może być zredukowane nawet o 95%. Właściwości ekranujące posiada także ciało człowieka. Przewodząca powierzchnia ciała praktycznie całkowicie zwiiera pole wewnątrz ciała. Zakłócenie pola elektrycznego przez ciało człowieka musi więc być brane pod uwagę przy wykonywaniu pomiarów natężenia pola. Z tego powodu sonda pomiarowa powinna być oddalona od operatora przynajmniej o około 2m.

7.2.2. Pomiar pola elektrycznego

Metrologia pól elektromagnetycznych w środowisku naturalnym i na stanowiskach pracy jest zagadnieniem złożonym. Poprawne przeprowadzenie pomiarów pola elektrycznego wymaga wiedzy specjalistycznej nie tylko w zakresie samej metrologii, ale również znajomości problemów wynikających z narażenia tym czynnikiem oraz zasad ochrony przed nim. Oprócz wyboru metody pomiarowej, czasu, warunków wykonania pomiarów, w badaniach pola elektromagnetycznego w warunkach terenowych, ważne jest również sporządzenie właściwej dokumentacji i interpretacja wyników pomiarów w ujęciu wymaganym odpowiednimi przepisami z ustawy o ochronie środowiska.

Pole elektromagnetyczne wolnozmiennne, które będzie analizowane w ćwiczeniu, występuje zwykle w przestrzeni bliskiej wokół pierwotnych lub wtórnych źródeł promieniowania, czyli w obszarze odpowiadającym polu bliskiemu. Z tego względu do pomiaru tego pola potrzebne jest zastosowanie czujników natężenia pola o małych rozmiarach nie tylko w porównaniu do długości fali, lecz także do najmniejszej odległości, na jakiej ma być prowadzony pomiar oraz rozmiarów przestrzennych źródła pola. Konieczne jest zatem stosowanie anten nie tylko o małych wymiarach falowych, ale także o małych wymiarach geometrycznych, co wiąże się z dokładnością pomiarów. Poza tym konieczny jest tu niezależny pomiar składowej elektrycznej i magnetycznej pola. Do bezpośredniego pomiaru natężenia pola elektrycznego stosuje się szeroko czujniki dipolowe (rys. 7.2.1.).



Rys. 7.2.1. Czujnik pola elektrycznego – dipol elektryczny: $E = II_e$

Wartości natężenia pola określa się na podstawie pomiaru napięcia indukowanego w tych czujnikach za pomocą specjalnych mierników, które są wyskalowane najczęściej w wartościach skutecznych.

Wyników pomiarów polowych natężenia pola elektrycznego odczytanego bezpośrednio z przyrządu nie można przyjmować jako wartości końcowej. Dla pola elektrycznego należy zastosować współczynnik korekcyjny pozwalający przeliczyć pomierzone chwilowe natężenie pola elektrycznego na wartość odpowiadającą maksymalnemu napięciu robocznemu:

$$k_u = \frac{U_{\max}}{U_p} \quad (7.2.3.)$$

gdzie:

$U_{\max}$ - największa dopuszczalna wartość napięcia;

U_p - wartość napięcia podczas pomiaru.

7.3. Wybrane wiadomości podstawowe – Pole magnetyczne

7.3.1. Wiadomości podstawowe

Pole magnetyczne jest polem wektorowym opisywanym przez dwie wielkości wektorowe: natężenie pola magnetycznego H oraz indukcję magnetyczną B . W liniowych środowiskach izotropowych między wektorami B i H zachodzi związek:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (7.3.1)$$

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (7.3.2.)$$

gdzie:

μ – przenikalność magnetyczna ośrodka;

μ_r – względna przenikalność magnetyczna ośrodka; Dla diamagnetyków $\mu_r < 1$, dla paramagnetyków $\mu_r > 1$, zaś dla ferromagnetyków $\mu_r \gg 1$.

μ_0 – przenikalność bezwzględna magnetyczna próżni.

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} = 12,56637 \dots \cdot 10^{-7} \left[\frac{Vs}{Am} \right] \quad (7.3.3.)$$

Jednostką natężenia pola magnetycznego H jest [A/m] - amper na metr, zaś indukcji magnetycznej B jest [T] - tesla. Przybliżony związek natężenia pola magnetycznego H z indukcją magnetyczną B w środowisku jest następujący:

$$B \gg 1,25H$$

gdzie: B wyrażone jest w uT, H wyrażone jest w A/m.

Dodatkową jednostką indukcji stosowaną do opisu pola magnetycznego jest też mG (miligauss). Użyty do pomiarów w niniejszym ćwiczeniu miernik jest wyskalowany w tych właśnie jednostkach. Stąd w tabeli 1 podane zostały zależności pomiędzy przytoczonymi wyżej jednostkami indukcji magnetycznej i natężeniem pola magnetycznego.

Tabela 1. Zależności pomiędzy powszechnie używanymi jednostkami natężenia indukcji pola magnetycznego

Indukcja magnetyczna	Natężenie pola
1mG = 0,1 uT	80 mA/m
1mG = 100 nT	80 mA/m
0,1 uT = 1mG	80 mA/m
0,1mT = 1G	80 A/m

Polem magnetycznym w otoczeniu człowieka jest naturalne pole magnetyczne ziemi. Pole to oraz pole wytwarzane przez magnesy stałe stanowią tzw. stałe pole magnetyczne.

Oprócz w/w źródeł pola magnetycznego, wytwarzane może być ono również w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik. Jeśli prąd przepływający przez przewodnik jest zmienny (jak w typowej sieci elektroenergetycznej) to powstałe wtedy pole magnetyczne jest także zmiennie i ma tę samą częstotliwość co prąd. Zatem wszelkie pracujące domowe urządzenia elektryczne jak i urządzenia elektroenergetyczne służące do wytwarzania i przesyłania energii elektrycznej (linie wysokiego napięcia, linie kablowe, stacje transformatorowe itp.) są źródłami pola magnetycznego. Składowa magnetyczna pola elektromagnetycznego zależy od wartości natężenia prądu elektrycznego płynącego przez przewodnik, a linie sił tego pola zamykają się wokół przewodnika. Natężenie pola magnetycznego maleje wraz z odległością i tak np. dla pól wolnozmiennych wartość natężenia pola magnetycznego maleje odwrotnie proporcjonalnie z kwadratem odległości.

Pola magnetyczne niskoczęstotliwościowe są bardzo przenikliwe. Ich ekranowanie jest w zasadzie niemożliwe. Zarówno ściany budynków jak i kratownice konstrukcji budowlanych, a nawet stalowe dachy nie stanowią dla tego pola ekranu. Podobnie pola magnetycznego nie ekranują folie aluminiowe lub stalowe o małej przenikalności magnetycznej. Jedynym wyjątkiem są kosztowne ekrany przestrzenne wykonane ze specjalnych stopów żelaza o bardzo dużej przenikalności magnetycznej, które zapewniają skuteczne ekranowanie. Takie ekrany stosuje się głównie w laboratoriach badawczych do ekranowania niewielkich gabarytowo czułych urządzeń elektronicznych. Jeśli chodzi o człowieka, to linie indukcji magnetycznej swobodnie przenikają przez ciało i można powiedzieć, że ciało człowieka jest dla pól magnetycznych obiektem przezroczystym.

7.3.1. Pomiary pola magnetycznego

Do bezpośredniego pomiaru natężenia pola magnetycznego stosuje się szeroko czujniki pętlicowe (rys. 7.3.1.).



Rys. 7.2.1. Czujnik pola magnetycznego - dipol magnetyczny: $H = AI_m$.

Wartości natężenia pola określa się na podstawie pomiaru napięcia indukowanego w tych czujnikach za pomocą specjalnych mierników, które są wyskalowane najczęściej w wartościach skutecznych.

Wyników pomiarów polowych natężenia pola magnetycznego odczytanych bezpośrednio z przyrządu nie można przyjmować jako wartości końcowej. Uzyskane w trakcie pomiaru wartości chwilowe należy przeliczyć uwzględniając współczynnik korekcyjny pozwalający przeliczyć pomierzone chwilowe natężenie pola magnetycznego na wartość odpowiadającą maksymalnemu prądowi robocznemu:

$$k_u = \frac{I_{\max}}{I_p} \quad (7.3.4.)$$

gdzie:

$I_{\max}$ - największa dopuszczalna wartość napięcia;

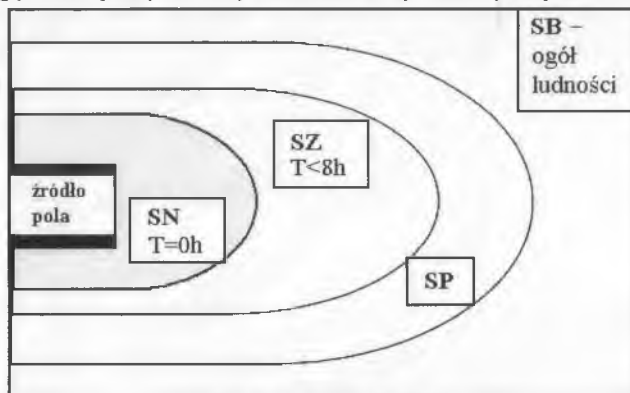
I_p - wartość napięcia podczas pomiaru.

Do przeliczenia wartości pomierzonych na wartości ekstremalna możliwe do zaistnienia w danym miejscu można zastosować również znajomość mocy przesyłanej w danej chwili w stosunku do mocy maksymalnej.

7.4. Wartości normatywne poziomów natężenia pola elektromagnetycznego w środowisku pracy

Ochrona przed polami elektromagnetycznymi w środowisku zawodowym uregulowana jest przepisami zawartymi w rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej.

Ochrona przed nadmierną ekspozycją wymaga kontroli warunków ekspozycji pracowników w silnych polach elektromagnetycznych w pobliżu źródeł pól. Obszar ten nazwano strefami ochronnymi. W niektórych przypadkach czas ekspozycji pracownika w ciągu zmiany roboczej jest skracany. W rozporządzeniu ujednolicono dotychczasowe zasady przebywania pracowników w strefach ochronnych (niebezpiecznej, zagrożenia i pośredniej). Granice stref ochronnych zostały ustalone dla wszystkich częstotliwości z zakresu od 0Hz do 300GHz, po raz pierwszy w zakresach częstotliwości 0÷50Hz i 50÷1000Hz. Strefa pośrednia została zdefiniowana dla wszystkich zakresów częstotliwości, po raz pierwszy w zakresie poniżej 100kHz. Strefa ta umożliwia wyraźne odseparowanie nadzorowanej ekspozycji pracowników w strefie zagrożenia (krócej niż 8 godzin) od niekontrolowanej ekspozycji ogółu ludności (do 24 godzin na dobę), uwzględnia stosunkowo dużą niepewność pomiaru warunków ekspozycji, a także niezbędne ograniczenie narażenia pracowników młodocianych i kobiet w ciąży oraz osób postronnych, przebywających w pobliżu czynnych źródeł pól. Osoby te powinny przebywać jedynie w strefie bezpiecznej – wyraźnie różniącej się od strefy zagrożenia, w której obowiązuje skracanie zmianowego czasu ekspozycji. Jest to szczególnie istotne ze względu na to, że normy środowiskowe nie obowiązują na terenie zakładu pracy, gdzie mogą również przebywać osoby niezatrudnione, np. dostawcy lub petenci w biurach.



Rys. 7.4.1. Strefy ochronne.

Zasady przebywania pracowników w strefach ochronnych są następujące (rys. 7.4.1.):

- strefa niebezpieczna (SN) – obszar, w którym nie wolno przebywać zarówno ludności, jak i pracownikom (przebywanie w tym obszarze dozwolone jest jedynie w specjalnych kombinacjach ekranujących, ograniczających narażenie) – dolna granica strefy niebezpiecznej odpowiada dopuszczalnej ekspozycji w ciągu pojedynczych minut na zmianę roboczą (w niektórych przypadkach dopuszcza się również ekspozycję kończyn na pola w tej strefie),

- strefa zagrożenia (SZ) – obszar, w którym mogą przebywać jedynie pracownicy zatrudnieni przy źródłach pól – po przejściu specjalistycznego przeszkolenia i poddaniu się badaniom lekarskim, które wykażą brak przeciwwskazań do zatrudnienia w zasięgu pól ekspozycji zawodowej. W strefie zagrożenia można przebywać przez czas ograniczony, krótszy niż 8 godzin na dobę, tak aby przebywanie w polach występujących na stanowisku pracownika oraz specyfika pracy źródła pola i jego obsługi nie spowodowało przekroczenia dopuszczalnego wskaźnika ekspozycji – dolna granica strefy zagrożenia dopowiada dopuszczalnej ekspozycji w ciągu 8 godzin na zmianę roboczą,
- strefa pośrednia (SP) – obszar zdefiniowany podobnie do strefy zagrożenia, w którym czas przebywania nie podlega ograniczeniom w ramach całej 8-godzinnej zmiany roboczej,
- strefa bezpieczna (SB) – obszar poza strefami, w którym dozwolona jest jedynie ekspozycja zawodowa.

Wielkości charakteryzujące ekspozycję pracowników

Zgodnie z postanowieniami rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej [4] pola i promieniowanie elektromagnetyczne na stanowiskach pracy charakteryzowane są jednocześnie przez następujące wielkości normatywne:

- widmo częstotliwości [Φ , w Hz],
- natężenie pola magnetycznego o ogólnym działaniu na organizm człowieka (w zakresie częstotliwości od 0Hz do 3GHz) [H, w A/m],
- natężenie pola elektrycznego o ogólnym działaniu na organizm człowieka (w zakresie częstotliwości od 0Hz do 300GHz) [E, w V/m],
- natężenie pola magnetycznego o działaniu miejscowym na kończyny pracownika – rękę do łokci i nogi do kolan (w zakresie częstotliwości od 0Hz do 800kHz) [H, w A/m],
- dozę rzeczywistą pola magnetycznego strefy zagrożenia, o ogólnym działaniu na organizm człowieka [D_H , w (A/m)²h lub T²h],
- dozę rzeczywistą pola elektrycznego strefy zagrożenia, o ogólnym działaniu na organizm człowieka [D_E , w (V/m)²h],
- wskaźnik ekspozycji dla dozy rzeczywistej pola elektrycznego i dozy rzeczywistej pola magnetycznego w strefie zagrożenia (W).

Wartości graniczne natężenia pola elektrycznego, jako podstawowe kryterium oceny ekspozycji w całym zakresie częstotliwości do 300GHz, ustalono, aby zmniejszyć błąd metody oceny i oprzeć ją na wielkości z reguły faktycznie mierzzonej, ponieważ podstawą pomiaru wielkości używanej dotychczas, tj. gęstości mocy promieniowania mikrofalowego jest zwykle pomiar natężenia pola elektrycznego i przeskalowanie wskazań miernika – ale przy założeniu wykonywania pomiarów w polu dalekim. Dotychczas wartości graniczne powyżej częstotliwości 300MHz były ustalone tylko dla gęstości mocy promieniowania, tzn. wielkości fizycznej, która w polu bliskim, gdzie są często sytuowane stanowiska pracy, może być oceniona na podstawie pomiarów wykonanych wymienionym tu miernikiem z bardzo dużym błędem.

Wartości graniczne natężenia pola magnetycznego ustalono w poszerzonym zakresie częstotliwości aż do 3GHz, co skutkuje bardziej rygorystycznym skracaniem dopuszczalnego czasu pracy w obszarze strefy zagrożenia. W polach mikrofalowych powyżej 300MHz, gdzie dotychczas obowiązywał wzór z czwartą potęgą natężenia pola elektrycznego, zmniejszono różnicę oceny po zmianie sposobu obliczania dozy.

Nowelizacja norm dopuszcza wykonanie oceny ekspozycji pracownika również na podstawie pomiarów indukcji magnetycznej B lub gęstości mocy S (w obszarze promieniowania tzn. w strefie dalekiej).

Wartości dopuszczalne pól elektrycznych i magnetycznych podane są w ZAŁĄCZNIKU 1.

7.5. Przebieg ćwiczenia

7.5.1. Obsługa miernika pola elektrycznego

Zapoznać się z budową i zasadą działania miernika HCEL02 (PSEL02).

Instrukcja obsługi miernika HCEL02

W tabeli 7.5.1 podano dane techniczne miernika HCEL02, a na rysunkach 7.5.1 – 7.5.4 wygląd miernika i sposoby pracy.

Uruchamianie miernika. Należy połączyć sondę z miernikiem. Talerz sondy należy umieścić w wybranym miejscu **prostopadle**, zadrukowaną stroną w kierunku miejsca gdzie znajduje się źródło pola.

Pomiar pola elektrycznego może być zakłócony przez bliskość człowieka, w tym również ręki trzymającej sondę. W celu uzyskania dokładnych pomiarów należy korzystać ze statywu.

Zaleca się stosować odpowiednie uziemienie miernika. Jeśli miernik stosuje się wewnątrz pomieszczenia, w którym dostępne jest typowe gniazdko elektryczne 230V, można skorzystać z dostarczonego kabla, zakończonego wtyczką sieciową. **NALEŻY NAJPIERW SPRAWDZIĆ GDZIE ZNADUJE SIĘ PRZEWÓD ZEROWY W GNIADKU** – np. próbnikiem neonowym. Końcówka wtyczki oznaczona literami „CE” ma być podłączona do przewodu zerowego. Drugi koniec kabla uziemiającego połączyć z końcówką uziemiającą kabla łączącego miernik z sondą.

Jeśli miernik stosuje się na zewnątrz budynków (np. pod linią WN), to należy stosować uziemienie przy pomocy dostarczonego kabla zakończonego długim kołcem stalowym, który należy wbić głęboko w ziemię lub połączyć elektrycznie z dobrze uziemioną konstrukcją metalową.

Włączanie miernika. Po uruchomieniu miernika po lewej stronie wyświetlacza pokażą się cyfry „00”, które oznaczają aktualny numer miejsca w pamięci miernika. Po prawej stronie widać pięć cyfr stanowiących wynik pomiaru w V/m. Jest to podstawowy tryb pracy miernika. Zmieniając lokalizację sondy uzyskujemy równe wyniki pomiarów. Proces pomiarowy można zatrzymać przyciskiem „HOLD”. Powtórne przyciśnięcie przycisku wznowia proces pomiaru.

Naciskając przycisk „MENU” można ustalać inne tryby pomiarowe. Po pierwszym naciśnięciu otrzymuje się tryb zapamiętywania manualnego. W lewy dolny rogu widać ikonę „dyskietki”. Funkcję zapamiętywania wyników w kolejno numerowanych miejscach pamięci uzyskujemy przyciskiem „SELECT”. W celu odczytu zapamiętanych danych należy nacisnąć przycisk „MENU” aż na wyświetlaczu pojawi się „pozioma strzałka”. Naciskając przycisk „SELECT” można przeglądać wyniki o malejących numerach pamięci, a przyciskiem „NEXT” wzrastające.

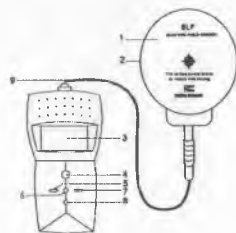
Z trybu pamiętania manualnego można przejść w tryb pamiętania automatycznego naciskając kolejno „MENU” i „SELECT”. Pojawia się ikona „dwóch dyskietek”. Wynik pomiaru obecny przy naciśnięciu „SELECT” zostanie załadowany do 1 komórki pamięci. Po 1 minucie kolejny wynik zostanie załadowany do 2 komórki pamięci, itd. aż do zapelnienia 50 dostępnych komórek pamięci. Naciśnięcie „SELECT” przerywa ten proces w dowolnym momencie.

Z trybu pamięci automatycznej można przejść do trybu automatycznego pamiętania maksymalnego wyniku, naciskając „MENU”. Pokaże się napis „max”. Największy wynik uzyskany poprzednio (np. przy zmianach lokalizacji sondy) można odczytać po naciśnięciu „SELECT”. Powtórne naciśnięcie „SELECT” powoduje powrót do trybu pomiaru z automatycznym pamiętaniem maksymalnego wyniku. Aby wyzerować rejestr wartości maksymalnej należy dwukrotnie nacisnąć „SELECT”.

Kolejne naciśnięcie „MENU” uaktywnia tryb zerowania pamięci – ikona „gumki”. Po naciśnięciu „SELECT” wszystkie rejestry miernika zostaną wyzerowane, ikony znikają a miernik pracuje w podstawowym trybie pracy.

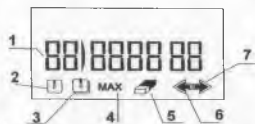
TABEA 7.5.1. Dane techniczne miernika PSEL02 (HCEL02)

Zakres pomiarowy	1 – 20000V/m
Błąd pomiaru	$\pm 2\%$ odczytu
Zakres częstotliwości	25Hz – 15kHz
Metod pomiaru	rzeczywista wartość skuteczna (True RMS)
Okres przetwarzania pomiarów	0,1
Źródło zasilania	bateria alkaliczna 9 V
Temperatura pracy (otoczenia)	$-10^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$



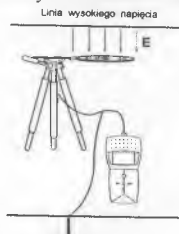
- 1 - powierzchnia czujnika sondy pomiarowej
- 2 - czujnik talerzowy
- 3 - wyświetlacz LCD miernika
- 4 - przycisk POWER do włączania i wyłączania miernika
- 5 - przycisk MENU
- 6 - przycisk HOLD do zatrzymywania pomiaru
- 7 - przycisk SELECT
- 8 - przycisk NEXT
- 9 - kabel łączący sondę z miernikiem

Rys. 7.5.1. Opis miernika HCEL02.



- 1 - dwie cyfry dziesiątne, stanowiące numer miejsca wyniku w pamięci
- 2 - ikona dwóch dyskieta, oznaczająca tryb pracy z manualnym zapamiętywaniem
- 3 - ikona dwóch złożonych dyskieta, oznaczająca tryb pracy z automatycznym zapamiętywaniem
- 4 - napis MAX, oznaczający tryb pracy z zapamiętywaniem maksymalnego wyniku
- 5 - ikona gumki, oznaczająca tryb zerowania pamięci
- 6,7 - strzałki pokazujące kierunek przeglądania wyników w pamięci

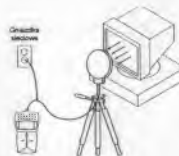
Rys. 7.5.2. Wyświetlacz miernika HCEL02.



Rys. 7.5.3. Przykład ustawienia sondy przy pomiarze natężenia pola elektrycznego od linii WN.

a)

b)



Rys. 7.5.4. Przykład ustawienia sondy przy pomiarze natężenia pola elektrycznego monitora

a) pomiar bez uziemienia miernika b) pomiar z uziemieniem miernika

7.5.2. Obsługa miernika pola magnetycznego

Zapoznać się z budową i zasadą działania miernika HCP02. W tabeli 7.5.2 podano dane techniczne miernika HCEL02, a na rysunku 7.5.5 wygląd miernika.

Obsługa menu miernika pola magnetycznego jest podobna do obsługi miernika pola elektrycznego. Oba mierniki posiadają taką samą funkcjonalność obsługi (tryby pracy, wielkość pamięci itp.).

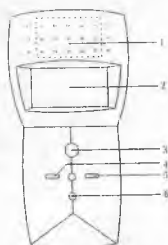
Podstawowe różnice to:

- możliwość wyboru jednostki pomiaru – mG lub μT – zmiana w podmenu „unit”;
- brak potrzeby zerowania miernika;
- czujnik zawiera tylko jeden czujnik cewkowy, więc aby uzyskać możliwie dokładny wynik, należy eksperymentalnie znaleźć takie położenie miernika w przestrzeni, w którym otrzymuje się największy wynik. Ponieważ pole magnetyczne ma charakter przestrzenny (trójwymiarowy), więc aby uzyskać najdokładniejszy wynik należy:
 - w znalezionym miejscu zmierzyć i zapisać wartości pomiaru X, Y, Z uzyskane w trzech, wzajemnie prostopadłych orientacjach miernika;
 - obliczyć pierwiastek sumy kwadratów z tych pomiarów wzór 7.5.1. – co stanowi końcowy wynik pomiaru.

$$W = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (7.5.1.)$$

TABELA 7.5.2. Dane techniczne miernika HCP02

Zakres pomiarowy	0,1 – 1999,9mG
Błąd pomiaru	$\pm 3\%$ odczytu
Zakres częstotliwości	30Hz – 2kHz
Metod pomiaru	rzeczywista wartość skuteczna (True RMS)
Okres przetwarzania pomiarów	0,1
Zródło zasilania	bateria alkaliczna 9 V
Temperatura pracy (otoczenia)	$-10^{\circ}C - +70^{\circ}C$



- 1 - czujnik cewkowy
- 2 - wyświetlacz LCD miernika
- 3 - przycisk POWER do włączania i wyłączenia miernika
- 4 - przycisk MENU
- 5 - przycisk SELECT
- 6 - przycisk NEXT



- 1 - wskaźnik pojemności baterii
- 2 - jednostka pomiarowa
- 3 - strzałka prawostronna: przejście do wyższej komórki pamięci
- 4 - strzałka lewostronna: przejście do niższej komórki pamięci
- 5 - zmiana jednostki pomiaru
- 6 - ikona gumki, oznaczająca tryb zerowania pamięci
- 7 - napis MAX, oznaczający tryb pracy z zapamiętywaniem maksymalnego wyniku
- 8 - ikona dwóch złożonych dyskieciek, oznaczająca tryb pracy z automatycznym zapamiętywaniem
- 9 - ikona dyskieciek, oznaczająca tryb pracy z manualnym zapamiętywaniem
- 10 - numer komórki pamięciowej

Rys. 7.5.5. Wygląd i opis miernika HCP02 i wyświetlacza.

7.5.3. Pomiary

Dla wskazanych przez prowadzącego urządzeń elektrycznych dokonać pomiaru natężenia pola elektrycznego i magnetycznego. Pole magnetyczne zmierzyć w trzech osiach. Pomiary wykonywać co 1 min przez okres 5 min. ręcznie w trybie pomiaru maksymalnego – zapisać również wynik maksymalny. Zmierzyć odległość i orientację względem urządzenia w jakiej wykonywano pomiary. Wynik dla pomiaru natężenia pola magnetycznego obliczyć wg wzoru 7.5.1. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 7.5.3. i 7.5.4.

TABEA 7.5.3. Wyniki pomiarów laboratoryjnych pola elektrycznego.

pole elektryczne								
	czas pomiaru[min]/ /numer pomiaru					wartość MAX	odległość [cm]	Wymagan ia
	1	2	3	4	5			
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

TABEA 7.5.4. Wyniki pomiarów laboratoryjnych pola magnetycznego.

urządzenie	pole magnetyczne																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	czas pomiaru[min]/ /numer pomiaru oś X					wartość MAX	Wymagania	czas pomiaru[min]/ /numer pomiaru oś Y					wartość MAX	Wymagania	czas pomiaru[min]/ /numer pomiaru oś Z					wartość MAX	Wymagania	czas pomiaru[min]/ /numer pomiaru średnia W					wartość MAX	Wymagania																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

7.5.3Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać opis urządzeń dla których dokonano pomiarów. Schematyczną orientację osi (rysunek) dla każdego urządzenia. Odległość w jakich dokonywano pomiarów dla każdego urządzenia. Przykłady obliczeń. Odniesienie do wartości dopuszczalnych podanych w ZAŁĄCZNIKU 1.

ZALĄCZNIK 1

Tabela 1

Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego $E(f)$ i gęstości mocy $S(f)$ oraz dozy dopuszczalne wyrażone dla natężenia pola elektrycznego $Dd_e(f)$. Wartości gęstości mocy S obliczono korzystając z zależności obowiązującej dla fali płaskiej, tj. $S = E^2/377$.

Zakres częstotliwości	$E_0(f)$, V/m	$S_0(f)$, W/m ²	$E_1(f)$, V/m	$S_1(f)$, W/m ²	$E_2(f)$, V/m	$S_2(f)$, W/m ²	$Dd_e(f)$	$Dd_s(f)$, (W/m ²) ^h
0Hz<=f<=0,5Hz	10000	-	20000	-	40000	-	3200 (kV/m) ² h	-
0,5Hz<f<=300Hz	5000	-	10000	-	20000	-	800 (kV/m) ² h	-
0,3kHz<f<=1kHz	100/(3f)	-	100/f	-	1000/f	-	0,08/f ² (kV/m) ² h	-
1kHz<f<=3MHz	33,3	-	100	-	1000	-	0,08 (kV/m) ² h	-
3MHz<f<=15MHz	100/f	-	300/f	-	3000/f	-	0,72/f ² (kV/m) ² h	-
15MHz<f<=3GHz	6,66	0,12 ^{a)}	20	1,1 ^{a)}	200	106 ^{a)}	3200 (V/m) ² h	-
3GHz<f<=300GHz	0,053f + 6,5	(0,003f + 0,33) ²	0,16f + 19,5	(0,008f + 1) ²	1,6f + 195	(0,008f + 10) ²	(f ² + 55) ² (V/m) ² h	(0,02f + 2,85) ²

Uwagi:

a) - w przypadku promieniowania o częstotliwości powyżej 150MHz,

f - częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie "zakres częstotliwości"; h - godziny,

E_0 - dolna granica strefy pośredniej (natężenie pola rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej),

E_1 - dolna granica strefy zagrożenia (natężenie pola rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej),

E_2 - dolna granica strefy niebezpiecznej (natężenie pola rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia),

$Dd_s(f)$ - doza dopuszczalna gęstości mocy, wyrażona zależnością: $Dd_s(f) = 8S_1(f)$.

Dla pól impulsowych dodatkowo powinien być spełniony warunek:

$E_{\text{maksym}} < 4,5 \text{ kV/m}$ ($S_{\text{maksym}} < 54 \text{ kW/m}^2$) w zakresie częstotliwości (0,1GHz<f<=3GHz),

$E_{\text{maksym}} < 0,43 \text{ f} + 3,2 \text{ kV/m}$ ($S_{\text{maksym}} < 13,7 \text{ f} + 12,9 \text{ kW/m}^2$) w zakresie częstotliwości (3GHz<f<=10GHz),

$E_{\text{maksym}} < 7,5 \text{ kV/m}$ ($S_{\text{maksym}} < 150 \text{ kW/m}^2$) w zakresie częstotliwości (10GHz<f<=300GHz)

gdzie: E_{maksym} - maksymalna wartość natężenia pola w impulsie; S_{maksym} - maksymalna gęstość mocy w impulsie; f w GHz.

Tabela 2

Dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego $H_e(f)$ i indukcji magnetycznej $B_e(f)$ oraz doza dopuszczalna wyrażona dla natężenia pola magnetycznego $Dd_H(f)$ i indukcji magnetycznej $Dd_B(f)$.

Zakres częstotliwości	$H_0(f)$, A/m	$B_0(f)$, μT	$H_1(f)$, A/m	$B_1(f)$, μT	$H_2(f)$, A/m	$B_2(f)$, μT	$Dd_H(f)$	$Dd_B(f)$
0Hz<=f<=0,5Hz	2666	3333	8000	10000	80000	100000	512 (kA/m) ² h	800 (mT) ² h
0,5Hz<f<=50Hz	66,6	83,3	200	250	2000	2500	0,32 (kA/m) ² h	0,5 (mT) ² h
0,05kHz<f<=1kHz	10/(3f)	12,5/(3f)	10/f	12,5/f	100/f	125/f	800/f ² (A/m) ² h	1250/f ² (μT) ² h
1kHz<f<=800kHz	3,3	4,2	10	12,5	100	125	800 (A/m) ² h	1250 (μT) ² h
0,8MHz<f<=150MHz	8/(3f)	10/(3f)	8/f	10/f	80/f	100/f	512/f ² (A/m) ² h	800/f ² (μT) ² h
0,15GHz<f<=3GHz	0,018	0,022	0,053	0,066	0,530	0,660	0,022 (A/m) ² h	0,035 (μT) ² h

Uwagi:

f - częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie "zakres częstotliwości"; h - godziny,

H_0 - dolna granica strefy pośredniej (natężenie pola rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej),

H_1 - dolna granica strefy zagrożenia (natężenie pola rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej),

H_2 - dolna granica strefy niebezpiecznej (natężenie pola rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia).