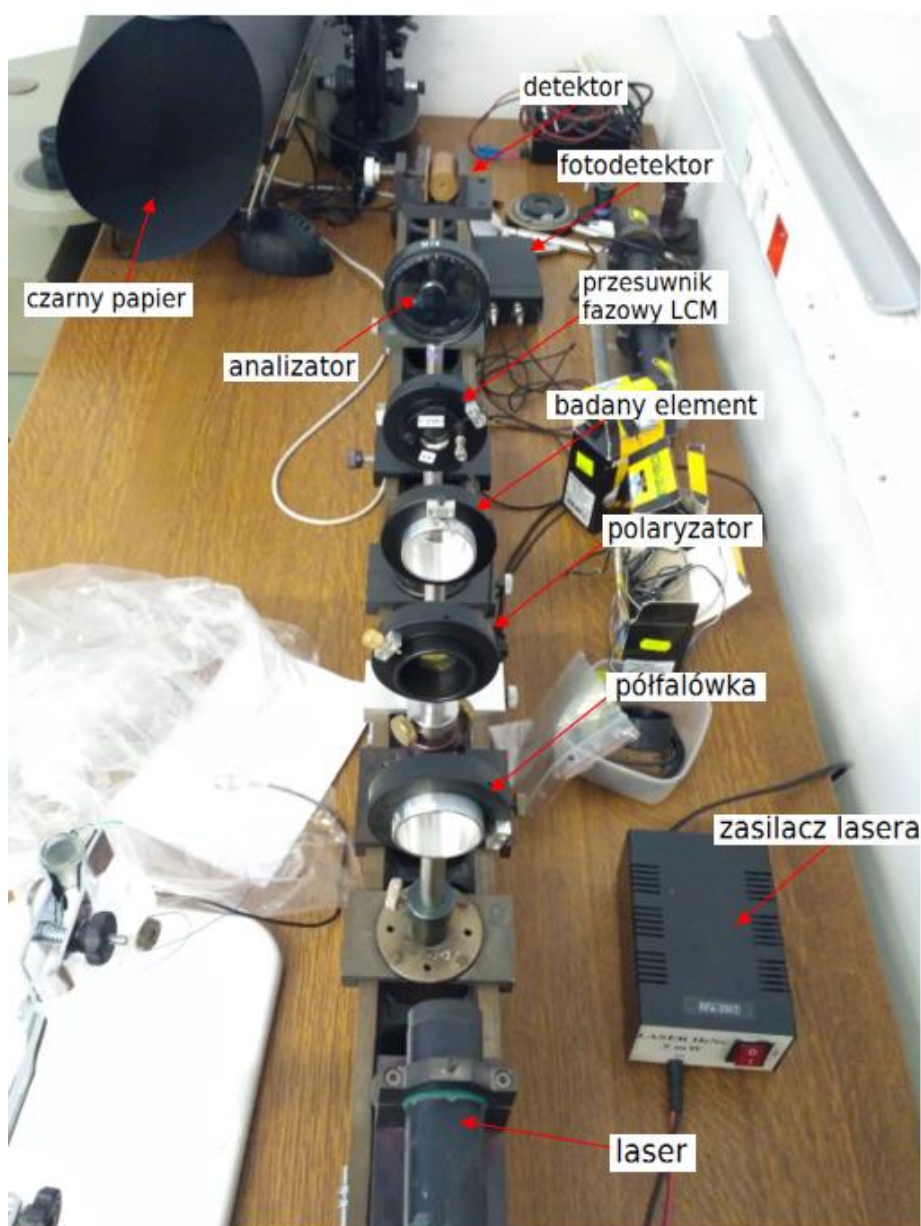


Pomiar przesunięcia fazowego dwójłomnych płytek liniowych metodą kompensacji bezpośredniej za pomocą przesuwника ciekłokrystalicznego LCM

I. Układ pomiarowy

Ćwiczenie jest realizowane w układzie składającym się z lasera He-Ne o mocy 5 mW wraz z zasilaczem, polaryzatora, drugiego polaryzatora nazywanego analizatorem, przesuwnika fazowego LCM (liquid crystal modulator – modulator ciekłokrystaliczny), badanego elementu, fotodetektora, modułu przetwornika analogowo-cyfrowego i komputera. W układzie opcjonalnie można również skorzystać z półfalówki, jej zastosowanie zostanie omówione w dalszej części.



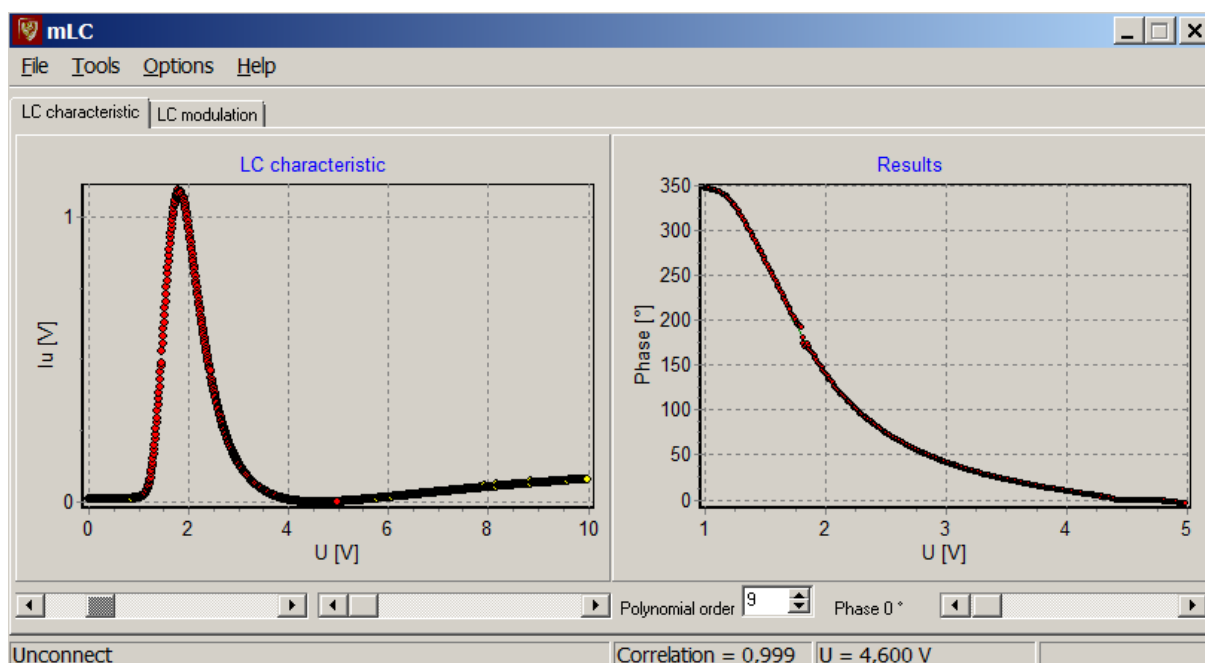
Rys. 1. Układ pomiarowy kompensatora bezpośredniego

II. Przebieg ćwiczenia

A) Zestawienie i justowanie układu pomiarowego

1. Pewne elementy układu są standardowo podłączone, ale na wszelki wypadek sprawdzamy:
 - zasilacz lasera podłączony do sieci 230V, laser podłączony do zasilacza;
 - fotodetektor oraz LCM podłączone do modułu przetwornika analogowo-cyfrowego, do odpowiednich gniazd (LC jak LCM i PD jak „PhotoDetector”); przed przystąpieniem do justowania układu i pomiarów należy zadbać o osłonięcie fotodetektora przed światłem bezpośrednio padającym z lasera oraz oświetleniem sali;
 - komputer (laptop) podłączony poprzez zasilacz do sieci.
2. Uruchamiamy komputer i włączamy zasilacz lasera za pomocą przełącznika. Przesuwając wzdłuż ławy konik z detektorem (zasłoniętym!) należy sprawdzić, czy światło lasera jest mniej więcej równoległe do osi ławy i czy będzie padało na środek detektora.
3. Za laserem wstawiamy pierwszy polaryzator dbając o to, aby zostawić pomiędzy nimi miejsce na ewentualną półfalówkę. Typowe lasery dają światło liniowo spolaryzowane i może się zdarzyć, że laser i polaryzator (zwykle ustawiany na standardowe „zero” kąta azymutu) dadzą tzw. krzyż polaryzacyjny, a więc maksymalnie osłabia światło, padające na kolejne elementy – trzeba wtedy obrócić azymutalnie polaryzator do nowego położenia, przy którym zapewnimy układowi odpowiednią ilość światła i to położenie traktować jako „zerowy” kąt azymutu polaryzatora.
3. Do układu (najlepiej blisko przed detektorem) wstawiamy analizator (drugi polaryzator) i obracamy nim azymutalnie tak, aby otrzymać minimum natężenia – na razie przy użyciu np. kartki jako ekranu i oka jako detektora. W ten sposób otrzymamy zgrubne ustawienie krzyża polaryzacyjnego.
4. Do układu (pomiędzy polaryzator i analizator) wstawiamy przesuwnik fazowy LCM. Jest on zwykle wstępnie zorientowany według skali na obudowie, ale warto to sprawdzić: na obudowie LCM widać dwie kreski, opisane jako F i S (*fast* i *slow* – szybka i wolna oś LCM), a my staramy się ustawić (azymutalnie) LCM tak, aby oś *fast* pokrywała się z „zerem” na skali LCM oraz mniej więcej z kierunkiem przepuszczania („zerem”) polaryzatora (czyli standardowo pionem, ale... patrz punkt 3).
5. W tym momencie należy uruchomić program mLC. Usuwamy osłonę detektora i obracając analizatorem szukamy minimum natężenia. Wartość napięcia U na fotodetektorze odczytujemy z programu (prawy dolny róg). Aby opcja odczytu była aktywna, należy z górnych okienek wybrać „Tools”, a następnie „PD”. Należy zwrócić uwagę, żeby na detektor padało tylko światło laserowe. W tym celu końcową część układu osłaniamy tubą z czarnego papieru.
6. Wgrywamy przykładową charakterystykę przesuwника: w opcji „File” (lewy górny róg) klikamy na „Open LC characteristics” i wybieramy plik „cechowanie.csv”. Po wgraniu pliku, w lewym okienku programu („LC characteristic”) widać zmierzoną wcześniej charakterystykę przesuwника – wykres sygnału na fotodetektorze (w woltach) w funkcji napięcia podawanego na LCM (też w woltach). Charakterystyka jest mocno nieliniowa a skądinąd wiadomo, że układ powinien spełniać prawo Malusa (światło wychodzące z odpowiednio ustawionego

LCM jest liniowo spolaryzowane, ze zmiennym kątem azymutu). W prawym oknie („Results”) wyświetlana jest więc aproksymacja lewego wykresu przy uwzględnieniu prawa Malusa – otrzymujemy tam wykres zależności przesunięcia fazowego („Phase [°]”), wprowadzanego przez LCM, w funkcji napięcia na przesuwniku. Stopień aproksymacji („Polynomial order”) ustawiony jest domyślnie na 9, ale można go zmienić w odpowiednim oknie. Aproksymowany wykres zawiera „nieinteresujące” nas obszary: z lewej płaski fragment dla małych napięć, które nie wystarczają do „prostowania” molekuł LCM; z prawej długi, wolno rosnący fragment dla dużych napięć, kiedy wprowadzane przesunięcie fazowe jest niewiele większe od zera. Za pomocą dwóch belek, znajdujących się poniżej lewego wykresu, można zawęzić obszar, brany do aproksymacji, osiągając przez to „gładszy” wykres aproksymowany „Results”.



Rys 2. Przykładowa charakterystyka dla przesuwnika fazowego LCM

7. Ustawiamy orientacyjne napięcie półfali na przesuwniku LCM. W tym celu aktywujemy przesuwnik: w zakładce „Tools” zaznaczamy opcję „LC”. Przesuwając belką pod wykresem „Results” ustawiamy napięcie, odpowiadające fazie 180° (orientacyjnie, około $1,7 \div 1,8$ wolta). Obracamy LCM tak, aby otrzymać minimum sygnału na fotodetektorze (wartość sygnału odczytujemy w prawym dolnym rogu programu). Od tego ustawienia, które warto zanotować, obracamy azymutalnie LCM o $\pm 45^\circ$, wykorzystując naniesioną skalę.

8. Po obrocie przesuwnika natężenie powinno wzrosnąć do wartości maksymalnej (w zależności od dokładności wcześniejszego ustawienia napięcia półfali na przesuwniku). Może się zdarzyć, że wartość ta przekroczy 1,7V, co dla naszego fotodetektora oznacza wysycenie (przekroczenie maksymalnej wartości). Jeśli tak jest, między laser a polaryzator wstawiamy półfalówkę i obracamy ją azymutalnie tak, aby natężenie na fotodetektorze było minimalnie mniejsze od 1,7V.

B) Zdejmowanie charakterystyki (kalibracja) przesuwnika LCM

W programie mLC należy wybrać zakładkę „Options” a następnie „Com” i ustawić odpowiedni port komunikacji – standardowo jest to Com3. W lewym dolnym rogu powinien

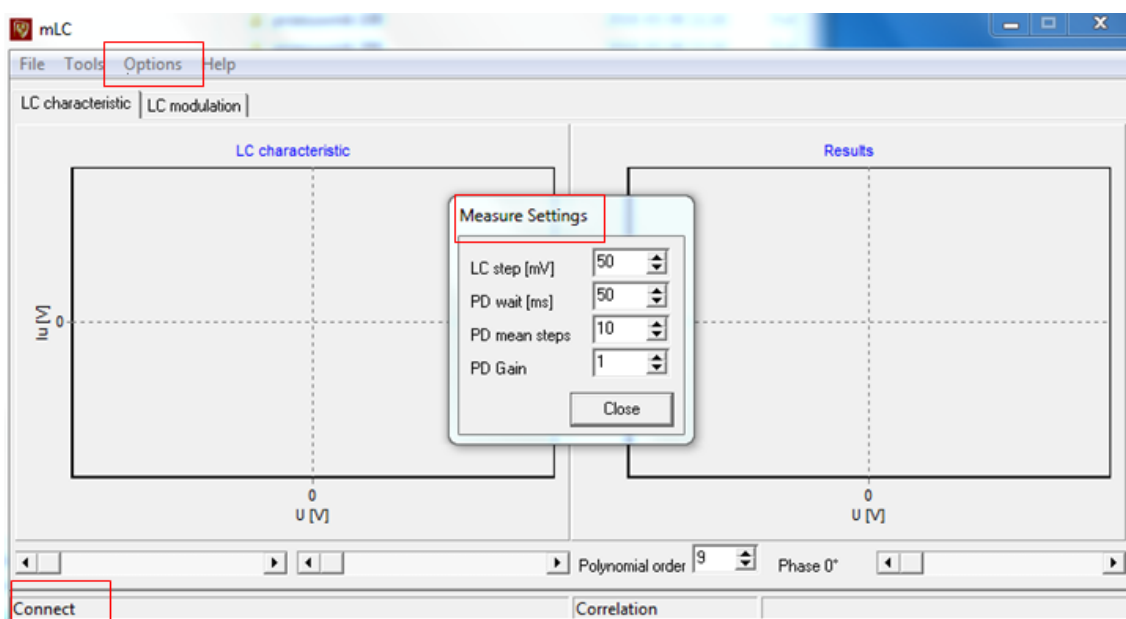
się pojawić napis „Connect”. Następnie w „Options” wybieramy „Measure settings” i ustawiamy opcje pomiaru (wpisane liczby to ustawienia domyślne):

LC step [mV] – krok pomiarowy (czyli wartość zmiany wielkości napięcia na LCM);

PD wait [ms] – czas, po którym dokonywany jest kolejny pomiar (czas opóźnienia pomiędzy ustawieniem napięcia na LCM i pomiaru napięcia na fotodetektorze);

PD mean steps – ilość pomiarów w jednym kroku (dla jednej wartości napięcia na LCM), uśredniana potem przez program;

PD Gain – wzmocnienie elektroniczne sygnału.



Rys. 3. Wybrane ustawienia programu mLC

Ustawienia domyślne nadają się do szybkiego pomiaru kontrolnego, który sprawdza poprawność justowania układu. Zaleca się ich zmianę i sprawdzenie wpływu na otrzymaną krzywą kalibracyjną. PD Gain nie warto ruszać, sygnał jest zwykle wystarczająco mocny (półfalówka miała go wszak osłabić!); PD mean steps też zwykle niewiele zmienia (układ jest dość stabilny). Zmniejszenie kroku pomiarowego (LC step) wydłuży czas pomiaru, ale pozwoli na otrzymanie gładziej charakterystyki; dość krytyczny jest czas PD wait, odpowiadający za stabilizację sygnału po zmianie napięcia na LCM – zbyt mała wartość wprowadza duże przekłamanie, zbyt duża drastycznie zwiększa czas pomiaru.

Chcąc rozpocząć pomiar kalibracyjny, wybieramy opcję „Tools” i klikamy „Measure”. Jeżeli włączaliśmy w „Tools” opcje „LC” i „PD”, to przed rozpoczęciem pomiaru należy je „odkliknąć”. W wyniku pomiaru powinniśmy otrzymać charakterystykę podobną do prezentowanej na Rys.2. Wiemy już, co przedstawiają oba wykresy. Warto je zapisać do plików, wybierając z górnych zakładek „File” a następnie „Save LC characteristic” i „Save results” (w celu zapisu charakterystyk pomiarowych należy utworzyć własny katalog na pulpicie i rozsądnie nazwać pliki). UWAGA: opcje zapisu są również dostępne tylko przy „odklikniętych” opcjach „LC” i „PD”.

C) Justowanie badanej próbki liniowo dwójłomnej

Do dyspozycji mamy zestaw kilku próbek liniowo dwójłomnych (różne płytki fazowe).

1. Wybrany badany element, zamocowany na tzw. „koniku”, należy umieścić pomiędzy polaryzatorem a przesuwnikiem fazowym LCM (albo pomiędzy LCM a analizatorem – czy sprawi to jakąś różnicę?).

2. Aby wyjustować położenie azymutalne badanej próbki w krzyżu polaryzacyjnym, należy na chwilę „pozbyć się” LCM-a. W tym celu należy albo usunąć przesuwnik fazowy LCM z ławy optycznej albo spowodować jego optyczną „nieczynność”, czyli albo obrócić go znowu do pozycji „zerowej” z punktu I.6 (niezalecane) albo ustawić na nim napięcie, odpowiadające przesunięciu fazowemu 0° (lub 360°). Ta ostatnia opcja możliwa jest po zaznaczeniu opcji „LC” z menu „Options” i przesunięciu belki w prawym dolnym rogu wykresu na napięcie, odpowiadające fazie 0° (w praktyce wartość około $5 \div 6V$).

3. Teraz obracamy azymutalnie badaną próbkę, szukając położenia jej wektorów własnych – gdy któryś z wektorów własnych badanej próbki pokryje się z kierunkiem przepuszczania polaryzatora („zero” układu) bądź analizatora, na fotodetektorze otrzymamy znowu minimalny sygnał. Niestety, oba przypadki dają ten sam efekt i są w naszej sytuacji nie do odróżnienia (wymagane byłoby użycie dodatkowego elementu z zaznaczonym pierwszym wektorem własnym) co spowoduje ostatecznie, że nasze pomiary przesunięcia fazowego γ (różnicy dróg optycznych) będą dawały wyniki typu: γ albo $360^\circ - \gamma$. Po znalezieniu położenia próbki, dającej minimum sygnału, obracamy ją o $\pm 45^\circ$ (tak, to ta sama niejednoznaczność!), wykorzystując naniesioną skalę.

4. Włączamy w układ przesuwnik fazowy, tzn. albo ustawiamy go z powrotem na ławie, albo odznaczamy („odklikujemy”) opcję „Tools|LC”.

D1) Pomiar różnicy faz metodą kompensacji bezpośredniej

1. Mając ciągle wgraną charakterystykę kalibracyjną przesuwnika fazowego, przełączamy program na tryb ustawiania napięcia na LCM (zaznaczona opcja „Tools|LC”).

2. Jeżeli poprawnie wyjustowaliśmy oba elementy „wewnątrz” krzyża polaryzacyjnego, to jest badana próbka oraz LCM, ich wektory własne pokrywają się – choć nie mamy pewności, czy pierwszy wektor własny próbki pokrywa się z pierwszym wektorem własnym LCM („ustawienie zgodne”), czy z wektorem drugim („ustawienie skrzyżowane”, patrz uwaga w p.C.3). Będzie to miało wpływ na końcową interpretację wyników pomiaru.

3. Szukamy takiego napięcia na przesuwniku LCM (przesuwamy dolną belkę pod prawym oknem, używając suwaka albo klikając na końcu belki), dla którego uzyskamy minimalne (z założenia: najmniejsze możliwe) napięcie na fotodetektorze („U” poniżej belki). Oznacza to, że różnica faz, wprowadzona przez układ „próbka+LCM” równa jest 0° lub 360° (lub krotność 360°). Ze względu na wspomnianą wyżej niejednoznaczność oznacza to, że albo skompensowaliśmy do zera różnicę faz, wprowadzaną przez próbkę, poprzez zadanie takiej samej różnicy faz γ na LCM (jak szukana w próbce) przy ustawieniu skrzyżowanym, albo różnica faz układu „próbka+LCM” równa jest 360° przy ustawieniu zgodnym co ostatecznie daje nam szukany wynik różnicy faz, wprowadzanej przez próbkę, jako $360^\circ - \gamma$.

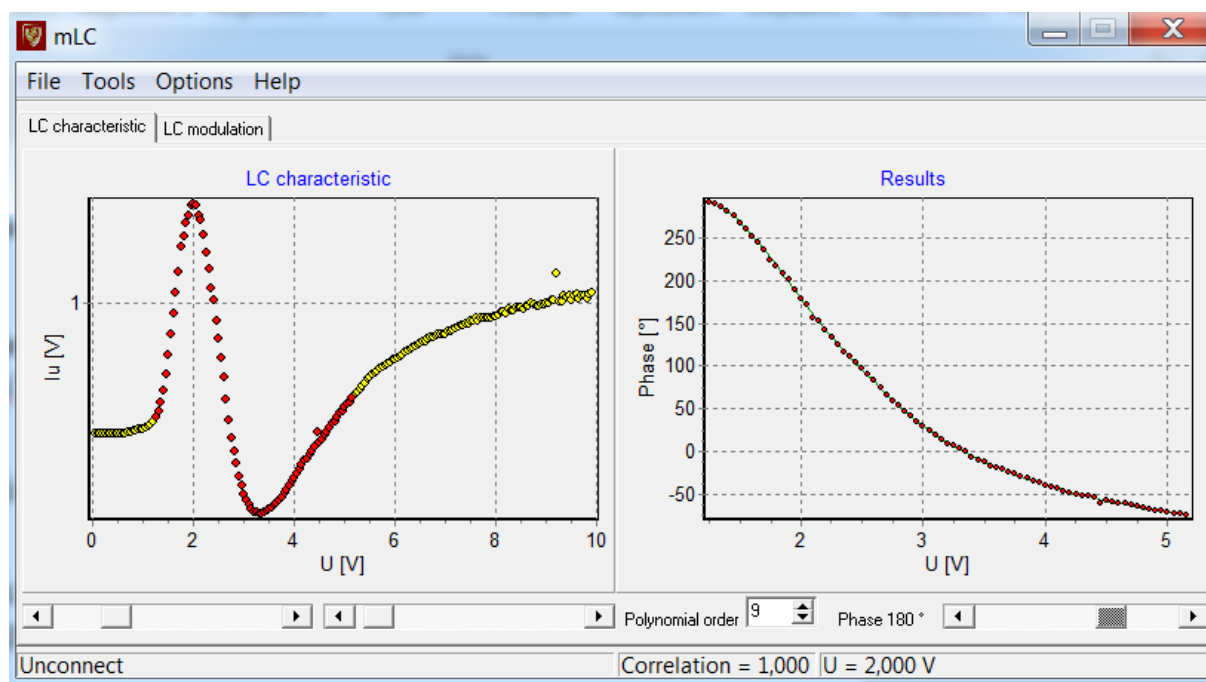
4. Analogiczne pomiary przeprowadzamy dla próbki obróconej azymutalnie o 45° w „drugą stronę” i innych dostępnych próbek (też w obu położeniach).

D2) Pomiar różnicy faz metodą „różnicową”

1. Mierzmy charakterystykę układu obu elementów: przesuwника LCM i badanego obiektu – oba, dzięki odpowiedniemu justowaniu, mają zgodne (lub anty-zgodne, tzn. szybki pokrywa się z wolnym) kierunki wektorów własnych, a więc wprowadzane przez nie różnice faz (różnice dróg optycznych) dodają się (lub odejmują). Opis sposobu zdjęcia tej charakterystyki (zależność napięcia na fotodetektorze w funkcji napięcia na LCM) opisany jest w punkcie B.

2. Zapisujemy charakterystykę do pliku. Teraz wystarczy zapisać tylko „LC characteristic” (lewa charakterystyka). Wykresy, które otrzymujemy, powinny być teraz przesunięte wzdłuż osi poziomej – patrz Rys.4.

3. Analogiczne pomiary przeprowadzamy dla próbki obróconej azymutalnie o 45° w „drugą stronę” i innych dostępnych próbek (też w obu położeniach).

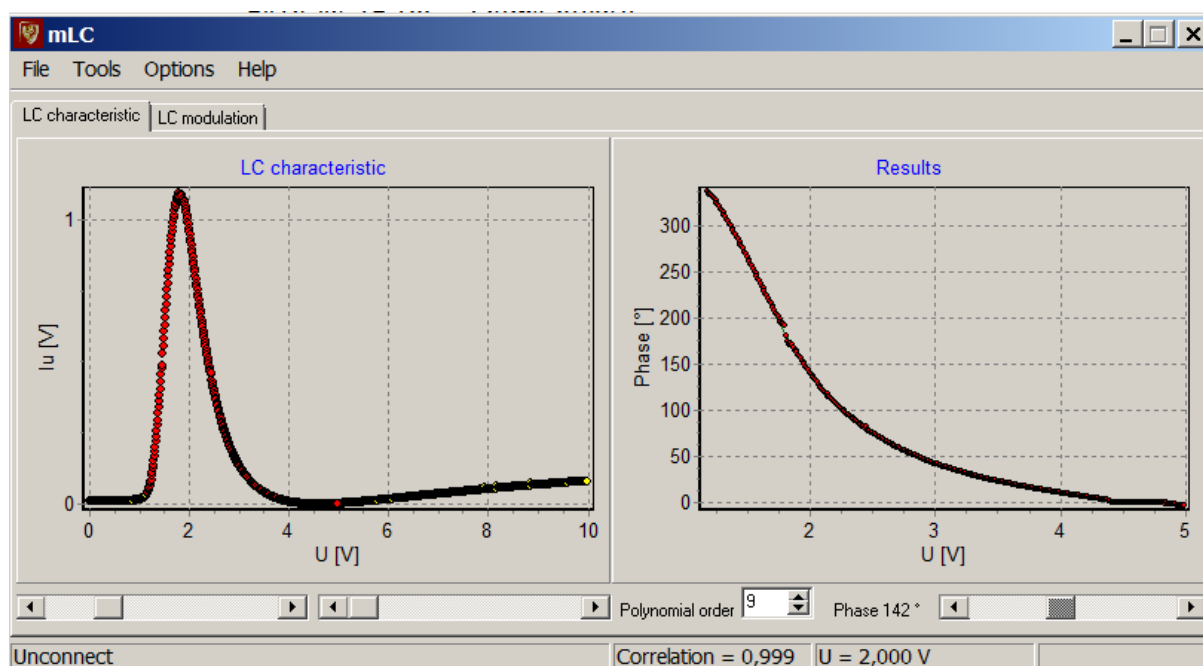


Rys 4. Przykładowa charakterystyka dla badanej próbki

4. Na wykresie „LC characteristic” (lewy) dla badanej próbki szukamy charakterystycznego punktu – w naszym przypadku najlepsze będzie maksimum wykresu czyli punkt dla takiej wartości napięcia na LCM, dla którego układ „badana próbka+LCM” będzie półfalówką. Oczywiście, warto dokonać tego na zapisanych danych, wprowadzonych do arkusza kalkulacyjnego np. Excel – otrzymana wartość będzie obarczona mniejszym błędem, niż odczytywana ze zgrubnego wykresu na pracowni! Notujemy wartość napięcia na LCM dla tego maksimum. Inna możliwość to wykorzystanie informacji, iż maksimum lewego wykresu (maksimum natężenia światła na fotodetektorze) przypada dla różnicy faz, wprowadzanej przez układ „próbka+LCM”, równej 180° . Wykorzystując prawy wykres, przesuwając belkę

pod nim, znajdujemy takie napięcie, dla którego podawana różnica faz („Phase”) wynosi 180° (na przykładowym Rys.4 jest to akurat dokładnie $U=2,000\text{ V}$).

5. Wgrywamy teraz zapisaną uprzednio „kalibracyjną” charakterystykę przesuwника i (jak poprzednio) „obrabiamy” ją, zawężając przedziały aproksymacji (procedura opisana w p. A.6 – niestety, program nie zachowuje poprzednio ustalonych ograniczeń). Przesuwając belkę w prawym dolnym rogu, pod oknem „Results”, ustawiamy taką wartość fazy („Phase”), która odpowiadać będzie uzyskanej w p.1 wartości napięcia na LCM (w naszym przykładzie: $2,000\text{V}$ odpowiada wartości „Phase” równej 142° , patrz Rys.5). Ustawiona wartość „Phase” będzie przesunięciem fazowym, wprowadzanym przez sam przesuwник LCM – jeśli więc od wartości 180° (takie przesunięcie wprowadza układ „próbka+LCM” dla wybranej przez nas wartości napięcia) odejmiemy znalezione „Phase”, otrzymamy w wyniku wartość przesunięcia fazowego, wprowadzanego przez badaną próbkę (u nas na przykład: $180^\circ - 142^\circ = 38^\circ$). Ale tak stanie się tylko w przypadku, gdy wektory własne próbki i LCM są zgodne – jeśli któryś z elementów w trakcie justowania albo kolejnych pomiarów obróciliśmy w niewłaściwą stronę, przesunięcia fazowe próbki i LCM odejmują się, dając w efekcie wspomniane 180° (no i co wtedy trzeba zrobić z wartością „Phase”?). Pamiętajmy zresztą, że przesunięcie fazowe jest wielkością względną, dlatego otrzymany wynik, jeśli wyjdzie ujemny (w każdym z powyższych przypadków), warto podać „modulo 360° ” (czyli np. -38° to inaczej 322°).



Rys 5. Znalazona wartość przesunięcia fazowego LCM dla napięcia $U=2,000\text{V}$, które w układzie „próbka+LCM” dawało różnicę faz 180°