

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok XIV.

1 Sierpnia 1932 r.

Zeszyt 15.

Redaktor inż. WACŁAW PAWŁOWSKI

Warszawa, Czackiego 5, tel. 690-23.

KOMÓRKI FOTOELEKTRYCZNE.

Prof. Mieczysław Pożaryski.

Komórki fotoelektryczne, znajdujące obecnie tak wiele zastosowań w technice, sporządzają się rozmaicie, zależnie od tego, jaki rodzaj zjawisk fotoelektrycznych jest wyzyskany.

1. *Zewnętrzne czyli powierzchniowe zjawisko fotoelektryczne*, odkryte przez Hallwachs'a w roku 1887, polega na tem, że pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego w najszerszym znaczeniu tego słowa, a więc i pod wpływem światła, metale wydzielają elektrony, które w odpowiednich warunkach odrywają się od powierzchni. Tłumaczymy to zjawisko tem, że siły elektromagnetyczne promieniowania nadają elektronom metalu taką energię kinetyczną, która pozwala im przewyczyć wpływ sił, zatrzymujących elektron wewnątrz metalu. Zależnie od rodzaju metalu różna jest energia, potrzebna dla uwolnienia elektronów z więzów molekularnych. Energię tą charakteryzujemy zwykle napięciem w polu elektrycznym, które jest potrzebne, aby elektron, poruszający się w tem polu, nabrał odpowiedniej szybkości, a zarazem — energii kinetycznej

$$\frac{1}{2} m v^2 = e \cdot U$$

gdzie m — masa elektronu, v — szybkość ruchu, e — ładunek elektronu, U — napięcie (różnica potencjałów) w polu elektrycznym.

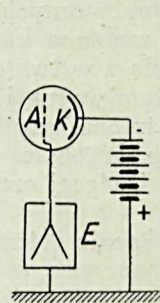
Charakterystyczne napięcia wyjściowe w woltach, wyznaczone doświadczalnie, podajemy w tabelicy dla różnych metali:

Metal	Pt	W	Ag	Cd	Th	Ca	Na	Ba	K	Cs
U w woltach	5,0	4,5	4,0	3,8	3,3	2,5	1,9	1,8	1,5	1,2

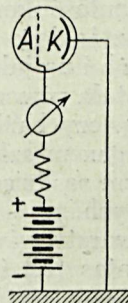
Współczesna komórka fotoelektryczna, oparta na tem zjawisku, stanowi bańkę szklaną, wewnątrz której znajduje się sporządzona z siatki drucianej anoda i w postaci warstwy światłoczułej na ścianie — katoda. Gdy pomiędzy anodą i katodą zapomocą odpowiedniego źródła prądu wytworzymy napięcie elektryczne, łącząc minus źródła prądu z warstwą światłoczułą, to prąd elektronowy popłynie od katody do anody, skoro na warstwą światłoczułą będą padać promienie energii elektromagnetycznej.

Prąd fotoelektryczny obserwujemy dwojako: albo zapomocą elektrometru, rys. 1¹⁾, gdy elektronów mamy mało, lub też zapomocą czułego gal-

wanometru (rys. 2), gdy ich jest więcej. W pierwszym przypadku mamy prąd ładujący elektrometr jako kondensator. W drugim przypadku płynie prąd stały, którego natężenie wskazuje galwanometr. Natężenie tego prądu zależy od natężenia oświetlenia warstwy czułej i od długości fali promieniowania.



Rys. 1.



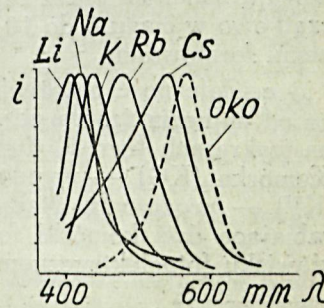
Rys. 2.

Gdy warstwa metali przejawia tak zwaną *normalną* czułość fotoelektryczną, to w miarę zmniejszania się długości fali prąd fotoelektryczny rośnie. Przy fali zbyt długiej zupełnie go już nie można spoznać; jest to t. zw. fala graniczna.

Metal	K	Na	Ba	Cs
Długość fali granicznej w μ	1 000	680	560	320

Niektóre metale w odpowiednich warunkach mają czułość *selektywną*, wykazując maksimum czułości na fale pewnej długości.

Na rys. 3 mamy wykres zależności natężenia prądu fotoelektrycznego od długości fali promieniowania padającego na warstwę różnych metali²⁾. Zdolność fotoelektryczna zależy również w wysokim stopniu od gazów adsorbowanych na powierzchni metalu i absorbowanych wewnątrz.

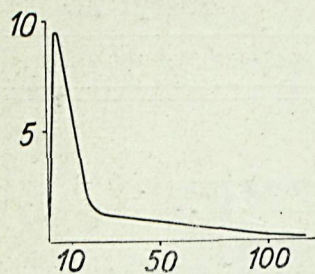


Rys. 3.

¹⁾ Czułość tej metody do 10^{-15} A.

²⁾ Dla porównania podany jest kropkowany wykres czułości oka ludzkiego.

Warstwa gazu powierzchniowa zdaje się przeszkadzać wybieganiu elektronów, gazy zaś absorbowane sprzyjają temu. Wniosek taki wyciągamy z wyników doświadczenia, polegającego na pomiarze prądu fotoelektrycznego przy coraz większej liczbie zagrzewania warstwy czulej (rys. 4).³⁾



Rys. 4.

Charakterystyczne cechy zewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego można ująć z punktu widzenia praktycznego w następujące zestawienie.

a. Stwierdzono doświadczalnie z dokładnością do $1,5 \cdot 10^{-7}$ sek⁴⁾, że w zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym nie ma opóźnienia w czasie skutku względem przyczyny.

b. Stwierdzono również, że prąd fotoelektryczny przy tym zjawisku jest proporcjonalny do natężenia oświetlenia warstwy światłoczułej, o ile napięcie pomiędzy elektrodami w komórce nie jest zbyt bliskie do napięcia jarzenia się.

c. Czulość komórek fotoelektrycznych zależy od tego, z jakiego metalu jest zrobiona katoda, w jaki sposób i na jakim podkładzie warstwa światłoczuła została utworzona; poza tem ważną jest okolicznością, czy bańka jest opróżniona, czy też wypełniona gazem szlachetnym, np. argonem. Komórki z gazem są dziesięciokrotnie i więcej czulsze od próżniowych.

Na warstwy światłoczułe obecnie głównie używa się potas (K) i cez (Cs).

Warstwy metalu można uczulać przez nasywanie go wodorem. Naogół komórki fotoelektryczne, napełnione gazem, są tak samo czułe, jak oko ludzkie.

Przez zastosowanie wzmacniaczy, zestawionych z lamp katodowych, możemy czulość układu zwiększyć wielokrotnie, spostrzegając moc energii promieniowania, wynoszącą $2,2 \cdot 10^{-19} \frac{\text{cal}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^2}$. Przy

tak słabym promieniowaniu zamiast ciągłego prądu fotoelektrycznego otrzymujemy poszczególne impulsy, których liczba w jednostce czasu jest proporcjonalna do natężenia oświetlenia. Czulość samych komórek różnej fabrykacji waha się w granicach od 2 do $50 \cdot 10^{-6}$ A na lumen, wyjątkowo firma Loewe podaje $4,5 \cdot 10^{-6}$ amperów na luks.

d. Własności komórek fotoelektrycznych nie ulegają zmianom przez czas bardzo długi, o ile początkowo w ciągu 6 do 10 dni są poddane tak zwanemu formowaniu.

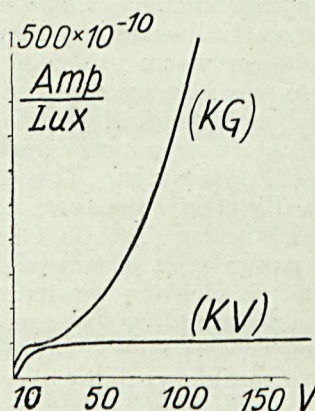
e. Zależność natężenia prądu fotoelektrycznego od napięcia źródła prądu podają dla przykładu na wykresach (rys. 5) dwóch komórek firmy AEG. Komórka (KG) — wypełniona gazem szlachetnym (KV) — próżniowa. Najbardziej znane firmy, wyrabiające dziś komórki fotoelektryczne, oparte na zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym, są nastę-

pujące: AEG Berlin, D. S. Loewe Berlin, Otto Pressler Leipzig, G. M. Laboratories Inc. Chicago (U. S. A.), National Carbon Comp. New-York, General Electric. Com. London, Philips Endhoven, Société des Lampes Fotos. Grammont; „Scad” Société de Construction d'Appareils de Laboratoire, Paris, Société de Recherches et de Perfectionnements Industriels Puteaux.

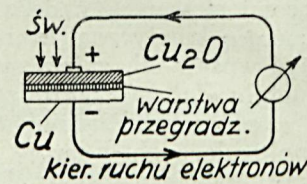
2. Zjawisko fotoelektryczne warstw przegradzających dało podstawę do sporządzenia nowych komórek fotoelektrycznych, posiadających własną siłę elektromotoryczną, wytwarzającą prąd elektryczny. Pierwsze spostrzeżenia sięgają roku 1876, gdy W. G. Adams i R. E. Day spostrzegli osobliwe własności warstw półprzewodników, przylegających do metali.

Dopiero jednak w roku 1926 w Anglii, a w 1928 w Niemczech odkryto zjawiska tego rodzaju ponownie i uzyskano odpowiednie patenty.

Najdalej zostały posunięte badania W. Schottky'ego w laboratorium badawczym koncernu Siemens. Według tych badań⁵⁾ (rys. 6) w miejscu zetknięcia warstwy tlenku miedziawego (Cu_2O) z miedzią (Cu) powstaje warstwa przegradzająca, nad-



Rys. 5.



Rys. 6.

zwyczaj cienką, hamującą swobodny ruch elektronów w jednym kierunku: od tlenku miedzi do miedzi. Pod wpływem jednak fal elektromagnetycznych pewna ilość elektronów przedostaje się przez warstwę przegradzającą w powyższym kierunku i w ten sposób wytwarza się trwałe napięcie elektryczne pomiędzy tlenkiem miedzi a miedzią. W takim ogniwie fotoelektrycznym tlenek miedzi jest biegunem dodatnim, a miedź, przyjmująca nadmierną liczbę elektronów, — biegunem ujemnym. Jeżeli na powierzchni tlenku miedziawego umieścimy dość cienką przezroczystą warstwę dobrze przewodzącą jakiegoś metalu, to, odprowadzając od niej jeden przewodnik, a od miedzi drugi, możemy utworzyć obwód zamknięty, w którym przepływać będzie stały prąd pod wpływem siły fotoelektromotorycznej. Podobne warstwy przegradzające powstają przy różnych połączeniach półprzewodników z przewodnikami, czasem ze znacznie większym skutkiem fotoelektrycznym. B. Lange⁶⁾ zamiast tlenku miedzi używa selenu i twier-

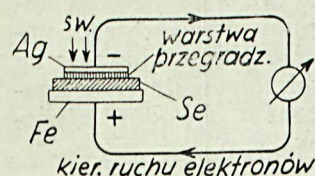
⁵⁾ Schottky. Ueber den Entstehungsart der Photoelektronen im Kupfer-Kupferoxydulphotozellen. Phys. Zeitschr. 31. Str. 916. 1930 r.

⁶⁾ B. Lange. Ueber eine neue Art von Photozellen. Mitt. Physik. Zeitschr. 31. Str. 139. — L. Bergmann. Ueber eine neue Selen-Sperrschicht Photozelle. Phys. Zeitschr. 32. Str. 286, rok 1931.

³⁾ M. Sende u. Simon. Lichtelektrizität als Funktion des Gasgehaltes. Ann. d. Phys. 65.697, rok 1921.

⁴⁾ E. Marx u. K. Lichtecker. Ann. Phys. str. 124 (1913 r.).

dzi, że jego komórka daje napięcie 0,3 V na luks, gdy poprzednio opisana, z tlenkiem miedzi, daje zaledwie $15 \cdot 10^{-6}$ V na luks. Dokładny opis ustroju komórki selenowej znajdujemy u Bergmanna (rys. 7). Warstwa przegradzająca otrzymuje się



Rys. 7.

tu np. pomiędzy cieniutką przezroczystą warstwą srebra i selenem, którym w pewien sposób pokryto blaszkę żelazną. Promienie padają na warstwę srebra i wywołują przedostawanie się elektronów z selenu do srebra, które teraz stanowi ujemny biegun ogniwa fotoelektrycznego, płytka zaś żelazna — biegun dodatni.

Zamiast srebra można stosować złoto, a nawet ołów, ten ostatni jednak w postaci gęstej siateczki.

Wyżej opisana komórka selenowa różni się od miedzianej Schottky'ego położeniem warstwy przegradzającej: gdy u Schottky'ego promień światła musi przejść całą grubość tlenku miedzi, aby dojść do warstwy przegradzającej, to w komórce selenowej promień światła od razu po przejściu cienkiej warstwy metalu dosięga warstwy przegradzającej. Jest to jedna z przyczyn lepszej sprawności tych komórek.

Dla odróżnienia komórki z warstwą przegradzającą, zwróconą do światła, nazwano komórkami z przednią warstwą przegradzającą, a komórki z warstwą przegradzającą, zwróconą od światła — komórkami z tylną warstwą przegradzającą.

Graniczna długość fali elektromagnetycznej, poza którą na fale dłuższe komórka miedziana jest niewrażliwa, wynosi, według B. Lange'go, 1400 m μ , natomiast selenowa jest niewrażliwa już dla fal ponad 850 m μ .

3. Komórki fotoelektryczne, wytwarzające samodzielnie prąd elektryczny, sporządzają się jeszcze na zasadzie *zjawiska fotoelektrycznego Becquerel'a*. Zjawisko to polega na tem, że dwie jednakowe elektrody, pograżone w elektrolicie, przy naświetlaniu jednej z nich przybierają różne potencjały elektryczne. W ten sposób układ taki może być stosowany jako ogniwo fotoelektryczne. Gdy na elektrody użyte są czyste metale, napięcie takiego ogniwa wynosi około jednego miliwolta, jeżeli zaś użyć metali utlenionych lub pokrytych bromkami czy siarczками, to można otrzymać około 0,1 wolta.⁷⁾ Na tej podstawie L. Bergmann sporządził dozometr do promieni nadfioletowych, a Arcturus Radio Tube Company wyrabia komórki fotoelektryczne dla filmu dźwiękowego, biorąc roztwór wodzianu sodu i elektrody z tlenku miedzi. Prąd fotoelektryczny tych komórek jest proporcjonalny do natężenia oświetlenia i prawie dokładnie zachowują one tę proporcjonalność nawet przy oświetleniu dość szybkozmiennem w granicach od 50 do 10 000 okresów na sekundę.

4. Prądy fotoelektryczne można otrzymywać także z kryształów przy odpowiednim oświetle-

niu. Dember⁸⁾ umieszczał kryształ kuprytu (tlenku miedziawego) pomiędzy dwiema metalowymi elektrodami, które łączył przez galwanometr. Przy bardzo silnem oświetleniu siła elektromotoryczna w powyższym układzie wynosiła około 0,1 wolta. Prąd wzrastał proporcjonalnie do natężenia oświetlenia.

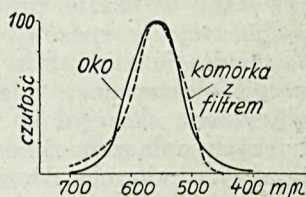
5. Najdawniej stosowane komórki fotoelektryczne polegają na *zjawisku fotoelektrycznem wewnętrznem*, gdzie fale elektromagnetyczne sprawiają wzmożenie się lub osłabienie przewodności elektrycznej.

Najnowsze badania zostały przeprowadzone przez Gudden'a i Pohl'a⁹⁾. Bardzo niekorzystną właściwością takich komórek jest ich dość znaczna bezwładność, przejawiająca się w opóźnianiu się zmian przewodności względem zmian natężenia światła. Najpospolitsze komórki tego rodzaju mają światłoczułą warstwę selenu, stosuje się jednak również siarczek talu i stop selenu z tellurem, ten ostatni szczególnie jest wrażliwy na promienie podczerwone.

Zastosowania.

Zastosowanie komórek fotoelektrycznych jest bardzo różnorodne. Jednem z najpoważniejszych zastosowań, które obecnie wysuwają się na czoło, jest użycie komórki fotoelektrycznej do fotometrii. Zastosowanie komórki fotoelektrycznej do pomiarów światła uzależnione jest przede wszystkim od nadania tej komórce takiej samej czułości selektywnej, jaką ma oko ludzkie względem promieni o różnej długości fali, wtedy tylko prądy fotoelektryczne będą mogły odtwarzać wrażenia świetlne oka ludzkiego.

Osiągnąć się to daje w różny sposób, przede wszystkim przez zastosowanie odpowiednich materiałów przy sporządzaniu komórki oraz przez dobrze dobrane filtry (patrz rys. 8). Znana wytwórnia amerykańska aparatów mierniczych Westona sporządziła fotometr, składający się z dwóch komórek fotoelektrycznych, opartych na zjawisku warstw przegradzających, połączonych z czułym galwanometrem wskazówkowym. Na skali tego galwanometru od razu odczytujemy natężenie oświetlenia na powierzchni powyższych komórek w foot-candles. Są trzy zakresy skali: od 0 do 250, od 0 do 50 i od 0 do 10. (Jeden foot-candle = 10,764 luksów międzynarodowych). Wykres czułości selektywnej tych komórek w zależności od długości fali świetlnej jest bliski do wykresu czułości oka ludzkiego. Dla fotometrii można stosować takie komórki również w inny sposób. Dwie komórki, włączone w szeregu przeciw sobie z galwanometrem w jeden obwód i oświetlone każda z innego źródła światła, mogą



Rys. 8.

8) Dember H. Ueber eine photoelektromotorische Kraft in Kupferoxydul-Kristallen. Phys. Zeitschr. 32, str. 554, rok 1931.

9) B. Gudden u. R. Pohl. Phys. Zeitschrift, 3, str. 123, rok 1920; 6, str. 248, rok 1921; 16, str. 170, rok 1923; 17, str. 331, rok 1923 i 35, str. 243, rok (1925).

⁷⁾ Becquerel E. Compt. rend. 9, str. 561, rok 1839.

służyć dla porównania natężenia światła tych źródeł, podobnie jak zwykły fotometr, tylko w tym fotometrze elektrycznym będziemy ustawiali źródła światła na zerowe położenie wskazówki galwanometru, gdy w zwykłym fotometrze musimy opierać się na często bardzo chwiejnym wrażeniu oka ludzkiego.

Wobec znacznie wyższej czułości układów elektrycznych z komórkami fotoelektrycznymi w porównaniu do oka ludzkiego umożliwiona jest tak zwana mikrofotometrija. Poza tem zapomocą komórek fotoelektrycznych można bardzo subtelnie i obiektywnie przeprowadzać analizę barw.

Są czynione próby umożliwienia niewidomym czytania zwykłych książek słuchem, przetwarzając świetlne obrazy słów drukowanych w dźwięki. Natomiast zastosowanie fotokomórki do orjentowania się w przestrzeni, zapomocą wywoływanego przez ogniwo fotoelektryczne i następnie przerywanego prądu, doprowadzonego do słuchawki, nie daje do-

brych wyników praktycznych, gdyż niewidomi wolą mieć uszy wolne i posługują się innemi zmysłami, jak np. wrażliwością skóry na promienie ciepłe, które im znacznie ułatwiają orjentowanie się w otoczeniu.

Najszersze zastosowanie znalazła obecnie komórka fotoelektryczna do filmu dźwiękowego, po-
zatem używa się ją przy przesyłaniu obrazów na odległość i t. p. Przekazniki fotoelektryczne znalazły zastosowanie do włączania obwodów oświetlenia, liczenia przedmiotów i t. p.

KSIAŻKI NAJNOWSZE.

1) Dr. H. Simon u. Dr. R. Suhrmann. *Lichtelektrische Zellen und ihre Anwendung*. Berlin. Jül. Springer. 1932.

2) R. Fleischer u. H. Teichmann. *Die lichtelektrische zelle und ihre Herstellung*. Dresden u. Leipzig. Ver. von Theodor Steinkopff. 1932. (Tu wykaz literatury w pismach periodycznych i trochę książek).

SCHEMATY POMIAROWE SIECI ELEKTRYCZNYCH.

Inż. Kazimierz Heller.

Nie wiem, o ile przedstawiony poniżej sposób układania schematów dla pomiarów statych w sieciach elektrycznych jest oryginalny, w każdym jednak razie został on rozwinięty przezemnie na gruncie Państwowej Fabryki Związków Azotowych w Chorzowie na podstawie „życiowych” jej potrzeb. Przyczyną główną stworzenia go był fakt następujący. Oto w miarę rozrostu fabryki — już i tak dużej — jej sieć elektryczna doznawała wielu i nieraz równoczesnych przeróbek, dokonywanych zazwyczaj w czasie pracy odpowiednich oddziałów, a więc w sposób z reguły skomplikowany. W rezultacie sieć stała się zawiłą, a rozliczanie energii elektrycznej, mierzonej licznikami, trudno uchwytnem, szczególnie wobec możliwości najróżniejszych połączeń, zmieniających rozpiętkę. Powstała więc potrzeba ułożenia takiego schematu połączeń, któryby pozwalał na łatwe odczytywanie go nawet przez urzędników biura statystycznego, z reguły nie posiadających wykształcenia elektro-technicznego. Ponadto od systemu tego żądać należało jeszcze zalet następujących.

1) Na samym schemacie musi dać się odtwarzać każdorazowy stan połączeń w sposób równie jasny, jak prosty w wykonaniu. A więc musi istnieć możliwość zaznaczania wyłączenia lub załączenia przewodów, — tych jednak tylko, które mają wpływ na ogólny rozpiętkę energii. Czynność tę przeprowadza codzień mistrz rozdzielczy, przychodzący do biura statystycznego z raportami i książką licznikową.

2) Obecność licznika w danym miejscu musi być wyraźnie zaznaczona.

3) Zmiany sieci i umieszczenie liczników muszą dać się łatwo i wyraźnie notować na schemacie.

4) Wreszcie konieczny jest taki system oznaczania liczników, któryby przy jaknajwiększej pro-

stocie zapewniał łatwość i pewność w porozumiewaniu się biura z rozdzielniami i t. p. Okazało się bowiem, że zwyczajne nazywanie poszczególnych miejsc pomiarowych czy odpływów wzgl. przewodów jest niepraktyczne, gdyż jest za długie i niepewne z powodu nieuchronnego podobieństwa nazw. W każdej niemal fabryce jest zwykle wiele żorawi, przenośników, wyciągów, pomp, sprężarek, wentylatorów i t. p. Dodajmy do tego jeszcze istnienie często paru napięć, a więc i tyłuż sieci. Od nowego systemu żądamy też możliwości ułożenia przejrzystej instrukcji kontowania energii elektrycznej na poszczególne oddziały lub odbiorców.

Opis nowego sposobu rozpoczniemy od określenia systemu oznaczania liczników, względnie i przyrządów pomiarowych. Dotychczas, i zdaje się powszechnie, podawano poprostu całą nazwę przewodu, wysokość napięcia i t. d. Naprzykład: „Linja VIIa, licznik główny”, albo „Punkt zasilający IV, dźwigi magazynu II, 500 woltów, label III”. Sposób, jak widzimy, nawet w razie użycia skrótów, rzeczywiście uciążliwy, szczególnie w piśmie. W nowym systemie nie oznaczamy ani samych liczników, ani przewodów, lecz miejsca pomiarowe. Numer fabryczny licznika jest bowiem dla statystyki zupełnie obojętny, byle przyrząd ten wskazywał dobrze. O to troszczy się już stacja pomiarowo-cechownicza, dokonująca periodycznych kontroli. Ona stara się też o legalizację liczników (o ile jest potrzebna), wreszcie bada je na skutek doniesień rozdzielczych lub biura o zauważonych błędach i wymienia w miarę potrzeby. Pod nazwą „miejsce pomiarowe” rozumiemy każde takie miejsce, na którem mógłby być wbudowany licznik albo też przyrząd mierniczy, a więc z reguły początek i koniec każdego przewodu. Samego oznaczania dokonujemy zapomocą liczby wielocyfrowej, podzielonej kropką lub kreską na dwie klasy. Roz-