Prace Instytutu Technologii Elektronowej CEMI 1992 z. 8 s. 35 - 41

Edward Stolarski
Instytut Technologii Elektronowej
Warszawa

POCZĄTKI MIERNICTWA TRANZYSTOROWEGO

(*Rękopis otrzymano 27 stycznia 1993*)

Była jesień 1952 r. Roman Stańczuk, kolega z roku (piąty semestr na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej), zapytany o możliwość zatrudnienia obiecał, że "coś mi załatwi". I obietnicy dotrzymał. Zarekomendował mnie do pracy u prof. Janusza Groszkowskiego. Profesor tworzył wówczas zespół badawczy, który miał zająć się problematyką półprzewodników: opanowywanie zjawisk, badanie właściwości, opracowywanie konstrukcji przyrządów. W czasie królowania lampy elektronowej tranzystor był postrzegany jako przyrząd nowatorski. Skąpe doniesienia w publikacjach naukowych, i to głównie (a może jedynie) w języku angielskim, w konfrontacji z "przodującą techniką radziecką", miały wówczas posmak owocu zakazanego.

Będąc już trzeci rok akademicki starostą kursu, miałem okazję wcześniej spotykać Profesora podczas wypełniania swych obowiązków, np. ustalania terminów egzaminów. Stojąc zatem przed obliczem starszego już, lekko siwiejącego naukowca, drobnej budowy, patrzącego zza okularów życzliwym spojrzeniem, odczuwałem zaciekawienie i niepokój: mam zdobyć status pracownika, ale czy sprostam wymaganiom! Atutem mojego przyjęcia do pracy było ukończenie w 1950 r. Liceum Telekomunikacyjnego w Warszawie cieszącego się powszechnym uznaniem z uwagi na wysoki poziom kształcenia, i to nie tylko z przedmiotów zawodowych. Profesor po uważnym wysłuchaniu mojego curiculum vitae zdecydował o przyjęciu mnie do pracy do Zakładu Elektroniki Polskiej Akademii Nauk i został moim pierwszym szefem[1]. Półprzewodniki, szczególnie miernictwo, stało się pasją mojego życia.

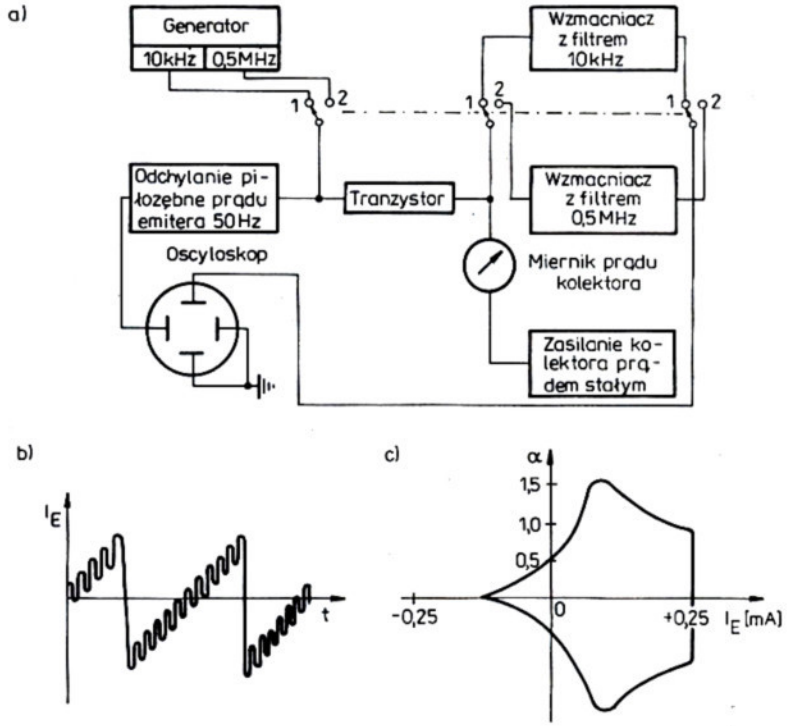
Zanim przejdę do opisu początków miernictwa, kilka słów poświęcę Tadeuszowi Lipowieckiemu. Poznałem go późną wiosną 1950 r. Odnaleźliśmy się w gronie zdających w tym roku egzamin wstępny na Wydział Łączności Politechniki Warszawskiej. Zostaliśmy przyjęci, zaprzyjaźniliśmy się i przez ponad 5 lat studiów przesiedzieliśmy w

[1] W 1991 r. Stowarzyszenie Elektryków Polskich przyznało mi Medal im. Prof. Janusza Groszkowskiego (Nr 67). Sprawiło mi to ogromną radość. Na awersie tego medalu znajduje się podobizna sylwetki Profesora i napis: Janusz Groszkowski, 1898–1984, uczony, patriota, pionier radioelektroniki.

jednej, zawsze pierwszej ławce. Zatem niedługo po przyjęciu mnie do pracy poprosiłem Profesora o przyjęcie także i jego. Razem dalej nie tylko studiowaliśmy, ale i pracowaliśmy w jednym pokoju, przy zestawionych biurkach.

Pierwszym moim bezpośrednim kierownikiem był mgr inż. Witold Rosiński, obecnie emerytowany profesor zwyczajny ITE, członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk. Powrócił właśnie z Anglii i wyczuwało się, że jest obserwowany jako człowiek "stamtąd". Doświadczony inżynier, montujący i uruchamiający podczas wojny radary na okrętach wojennych, imponował mi głęboką wiedzą i umiejętnością praktycznego jej stosowania.

Miernictwo było dziedziną, która podobała mi się już w liceum. Po przyjęciu do pracy zadeklarowałem się jako pomiarowiec. Pierwszą moją pracą w Zakładzie był miernik



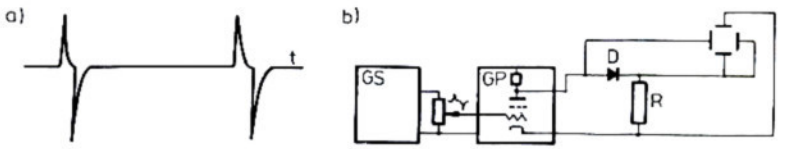
Rys. 1. Miernik α tranzystorów: a) schemat blokowy, b) kształt prądu w obwodzie emitera, c) kształt zdejmowanej charakterystyki

strat przemiany germanowych diod ostrzowych mieszających, przedstawiony w 1953 r. jako praca dyplomowa inżynierska, wykonana pod kierunkiem W. Rosińskiego.

W 1954 r. zająłem się konstrukcją urządzenia umożliwiającego odwzorowanie na ekranie oscyloskopu zależności wzmocnienia prądowego α tranzystora ostrzowego w funkcji prądu emitera [1] przy prądzie kolektora jako parametrze. Schemat blokowy przyrządu pokazano na rys. 1a. Piłozębny prąd o częstotliwości 50 Hz dostarczany do emitera zmienia punkt pracy tranzystora w sposób liniowy. Wartość α jest mierzona przez wprowadzenie w obwód emitera (rys. 1b) razem z prądem piłozębnym prądu sinusoidalnego 10 kHz lub 0,5 MHz o małej amplitudzie (ok. 40 μA) ze źródła o stałej wydajności prądowej (duża rezystancja wewnętrzna) i przez pomiar spadku napięcia prądu kolektora, wywołanego przepływem sinusoidalnego prądu emitera na rezystorze o małej wartości w stosunku do rezystancji wyjściowej tranzystora, połączonym szeregowo z kolektorem. Kształt charakterystyki $\alpha = f(I_E)$ tranzystora ostrzowego TP2, wykonanego w Zakładzie Elektroniki przy użyciu germanu typu *n*, pokazano na rys. 1c. Przy konstrukcji tranzystorów ostrzowych był również zatrudniony okresowo mój brat Aleksander Stanisław Stolarski, specjalista w dziedzinie mechaniki precyzyjnej – optyki. Opisane urządzenie służyło do badań tranzystorów opracowywanych i wykonywanych w Zakładzie i było przedmiotem mojej pracy magisterskiej obronionej w 1956 r. Obrona odbywała się przed Komisją, której przewodniczył prof. J. Groszkowski. W tym samym dniu oprócz mnie egzamin magisterski składali obecni profesorowie ITE: Jerzy Klamka, Andrzej Kobus i Jerzy Pułtorak.

Witold Rosiński i Tadeusz Lipowiecki pracowali nad charakterografem diodowym wykorzystującym oscyloskop [2]. Metoda oscyloskopowa, dzięki zastosowaniu napięcia impulsowego o kształcie zbliżonym do trójkątnego (rys. 2a), o możliwie małej częstotliwości powtarzania, pozwalała na uniknięcie podczas pomiaru przegrzewania miejsc styków prowadzących do zmian właściwości elektrycznych lub do całkowitego zniszczenia badanej diody. Ze względu na to, że diody z niektórych płytek germanowych wykazywały rezystancję ujemną, zastosowano generator prądowy impulsów analizujących zbudowany na pentodzie (rys. 2b).

Bardzo sympatyczną i nadzwyczaj mobilizującą do aktywności naukowej pracowników cechą Profesora były Jego codzienne wizyty przy każdym "stanowisku pracy" w



Rys. 2. Układ do pomiaru charakterystyki U/I diody metodą oscyloskopową: a) kształt impulsów analizujących, b) schemat, *GS* – generator sygnałów (analizujących), *GP* – generator prądowy, *D* – dioda badana, *R* – rezystor pomiarowy

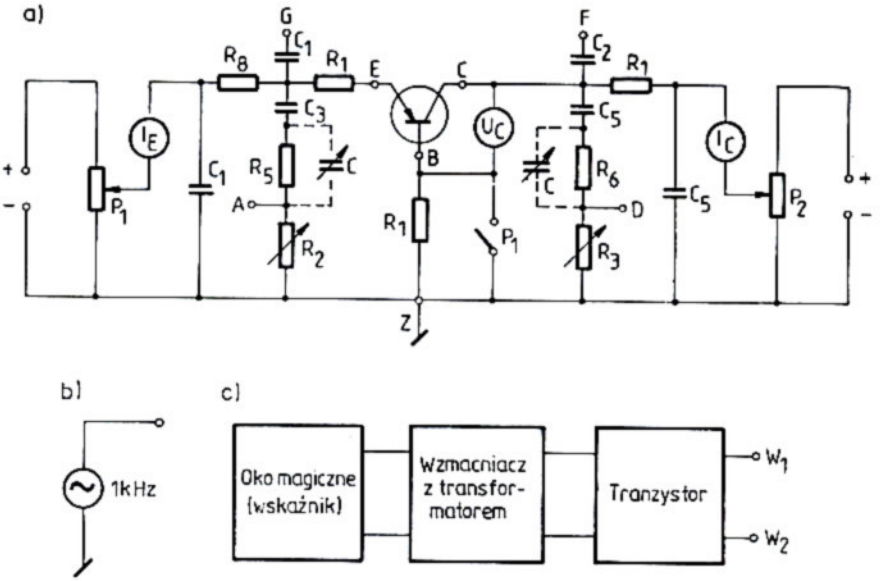
Zakładzie. Pracownicy nielicznego wówczas zespołu chcieli przedstawić swoje postępy w pracy. Profesor doradzał, zachęcał i szczerze radował się osiągnięciami. A w zespole panował olbrzymi entuzjazm pracy!

W 1954 r. skromny liczbowo zespół pomiarowców zasilili Stanisław Siekierski, wówczas mgr inż., a obecnie docent emerytowany ITE, i Jerzy Szerszeń, wówczas mgr inż., późniejszy twórca i wieloletni dyrektor TechPAN-u, starsi ode mnie koledzy, ze wspólną przeszłością frontową i dużym doświadczeniem zawodowym. Tworzyliśmy wzmocnioną grupę, która zajęła się głównie charakteryzacją elektryczną [4, 6] i miernictwem parametrów tranzystorów ostrzowych [3, 5, 7], a później – warstwowych [8, 9].

Miernik parametrów macierzy h tranzystorów warstwowych MPTW [9] był naszą udaną konstrukcją. Umożliwiał pomiar czterech parametrów h tranzystorów w układzie WB przy częstotliwości 1 kHz metodą mostkową (z dużą dokładnością ±2,5%), w szerokim zakresie prądów i napięć polaryzujących (I_E, I_C, U_C) (rys. 3). Wartości mierzonych parametrów odczytywano bezpośrednio z połączeń pokręteł w skrzynkach rezystorowych R_1 i R_2, równoważących mostek. Równowagę mostka obserwowano za pomocą wskaźnika, składającego się ze wzmacniacza selektywnego z transformatorem wejściowym i oka magicznego (sic!) jako optycznego wskaźnika równowagi. Miernik MPTW stał się podstawowym urządzeniem pomiarowym dla wielu placówek naukowych i produkcyjnych. W tzw. gospodarstwie pomocniczym Instytutu wykonano w ciągu kilku późniejszych lat kilkanaście mierników MPTW, w mutacjach od MPTW-1 do MPTW-4.

W 1954 r. (lub w 1955) W. Rosiński zainicjował napisanie książki zawierającej informacje o zupełnie wówczas nowej technice tranzystorowej. Współpracę w tym dziele zaproponował Jerzemu Pułtorakowi i mnie. Była to ciężka, pionierska praca, bodajże pierwsza tego rodzaju publikacja w języku polskim, a moja pierwsza książka w życiu! W. Rosiński wnikliwie i surowo oceniał napisane przez nas rozdziały, poprawiał je, sugerował zmiany i uzupełnienia. Już w 1957 r. książka, w porządnych sztywnych okładkach, znalazła się na półkach księgarskich [10].

Nasza grupka pomiarowców zajęła się konstrukcją urządzenia służącego do odwzorowania na ekranie lampy oscyloskopowej czterech rodzin charakterystyk statycznych tranzystorów. W tym okresie (rok 1957) chodziło już wyłącznie o tranzystory warstwowe. Była to (po MPTW) druga udana nasza konstrukcja, wielokrotnie modyfikowana [11, 12] (rys. 4). Metoda oscyloskopowa pozwala na bardzo szybką ocenę przydatności tranzystora, co ma m. in. duże znaczenie przy produkcji. Stosowanie impulsów analizujących z generatora drgań piłokształtnych, dzięki którym prąd przepływa przez tranzystor tylko w pewnych odstępach czasu, powoduje, że mogą być zdejmowane charakterystyki również poza normalnym zakresem pracy, w którym w metodzie statycznej zjawiska cieplne byłyby już zbyt znaczne. Liczba charakterystyk na ekranie oscyloskopu odpowiada liczbie poziomów w jednym okresie pracy generatora drgań schodkowych. Prace nad metodą oscyloskopową zdejmowania charakterystyk tranzystora zaowocowały późniejszymi rozwiązaniami innych zagadnień z tym związa-



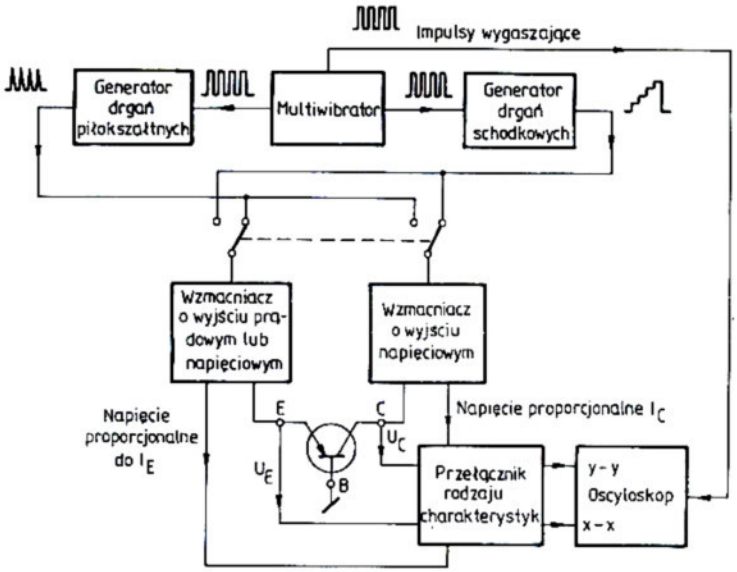
Rodzaj pomiaru	$1+h_{21}$	h_{22}	h_{11}	h_{12}
Połączyć punkty	P i G W_1 i B W_2 i A F i Z	P i F W_1 i B W_2 i D —	P i G W_1 i E W_2 i A F i Z	P i F W_1 i E W_2 i D —
Przełącznik P_1	Otwarty		Zamknięty	

$R_1 = 2k\Omega$
$R_2 = 1111\Omega$ (rezystor dekadowy)
$R_3 = 11110\Omega$ (rezystor dekadowy)
$R_4 = R_5 = 50k\Omega$
$R_6 = 1M\Omega$
$R_7 = R_8 = 200\Omega$
$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 2\mu F$

Rys. 3. Układ miernika MPTW służącego do określania wartości parametrów mieszanych tranzystora warstwowego w układzie WB: a) schemat mostka, b) schemat generatora, c) schemat blokowy wskaźnika równowagi mostka

nych, jak pętlowość charakterystyk, optymalizacja termiczna i elektryczna [13] itd. W tzw. gospodarstwie pomocniczym Instytutu wykonano ogółem kilkanaście charakterografów CHT w mutacjach od CHT-1 do CHT-3. Charakterografy po powieleniu służyły do badań własnych tranzystorów, były także wykorzystywane w innych krajowych placówkach naukowo-badawczych i produkcyjnych, a nawet eksportowane.

W 1957 r. powziąłem myśl zbilansowania swego dorobku i doświadczeń w zakresie miernictwa właściwości elektrycznych tranzystorów w formie monografii i w 1961 r. ukazała się drukiem książka "Miernictwo tranzystorowe" [14]. Była to wówczas pierwsza na świecie książka poświęcona temu zagadnieniu. O tym jak opracowanie tego dzieła



Rys. 4. Schemat blokowy charakterografu tranzystorowego typu CHT

okazało się ważne i przydatne, świadczą jego kolejne wydania oraz tłumaczenie III wydania na język rosyjski [15].

Pomiarowcy, którzy wówczas wykształcili się pod okiem Profesora, stali się w latach sześćdziesiątych autorytetami krajowymi w dziedzinie miernictwa tranzystorowego. Świadectwem tego była III Krajowa Konferencja Tranzystorowa w 1960 r., na której zaprezentowaliśmy aż siedem referatów i komunikatów [16], w tym referat plenarny przedstawiający stan miernictwa tranzystorowego w Polsce.

W naszych rękach było wówczas miernictwo tranzystorów!

Literatura

1. STOLARSKI E.: *Oscyloskopowy miernik współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystorów*. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektryka 1957 nr 15 s. 125–148.
2. ROSIŃSKI W., LIPOWIECKI T.: *Metoda oscyloskopowa badania charakterystyki wstecznej diod krystalicznych*. Arch. Elektrotech. 1953 t. II. s. 331–332.

3. SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Przyrząd do pomiaru parametrów tranzystora punktowego*. Prz. Telekom. 1955 nr 6 s. 194–197.
4. STOLARSKI E.: *Parametry i układy zastępcze tranzystora*. Wiad. Telekom. 1955 nr 9 s. 194–200.
5. STOLARSKI E.: *Pomiar oporności bazy tranzystorów ostrzowych*. Prz. Telekom. 1956 nr 2 s. 54–55.
6. STOLARSKI E.: *Zależności występujące w obwodach tranzystora*. Wiad. Telekom. 1956 nr 3 s. 58–64.
7. STOLARSKI E.: *Pomiar parametrów tranzystorów ostrzowych*. Wiad. Telekom. 1956 nr 4 s. 83–90.
8. STOLARSKI E.: *Pomiar parametrów tranzystorów warstwowych*. Wiad. Telekom. 1956 nr 7 s. 152–157.
9. SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Miernik do pomiaru parametrów tranzystorów warstwowych*. Prz. Telekom. 1957 nr 2 s. 48–53.
10. ROSIŃSKI W., PUŁTORAK J., STOLARSKI E.: *Podstawy techniki tranzystorowej*. Warszawa: MON 1957.
11. SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Charakterograf tranzystorowy*. Prz. Telekom. 1959 nr 9 s. 262–267.
12. SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Charakterograf tranzystorowy typ CHT-2*. Krajowa Konf. Tranzystorowa 10.6.1959 Warszawa ITR. Postępy Telekom. 1959 nr 3–4.
13. SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Zagadnienie optymalizacji układu pomiarowego ze względu na warunki termiczne i elektryczne przy impulsowym oscyloskopowym badaniu charakterystyk tranzystorów*. Arch. Elektrotech. 1963 t. XII s. 625–628.
14. STOLARSKI E.: *Miernictwo tranzystorowe*. Warszawa: kolejne wydania: PWT 1961; WNT 1964, 1972, 1984 (zmieniane).
15. STOLARSKI E.: Izmierenija parametrov tranzistorov. Moskva: Sovetskoe Radio 1976.
16. III Krajowa Konferencja Tranzystorowa 8–9.6.1960 Warszawa ITR. Referaty, Komunikaty.
   - SIEKIERSKI S., STOLARSKI E., SZERSZEŃ J.: *Stan miernictwa tranzystorowego w Polsce*,
   - SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Charakterograf tranzystorowy typ CHT-3*,
   - SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Miernik wzmocnienia mocy i prądu zerowego tranzystorów mocy do 20 W*,
   - SZERSZEŃ J., SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Przyrząd do pomiaru parametrów tranzystorów wielkiej częstotliwości*,
   - SZERSZEŃ J., STOLARSKI E., SIEKIERSKI S: *Miernik częstotliwości granicznej f_α i f_β oraz kąta fazowego tranzystorów*,
   - STOLARSKI E.: *Miernik zwarciowego współczynnika wzmocnienia prądowego i prądu zerowego tranzystorów mocy w układzie WE*,
   - STOLARSKI E.: *Miernik prądów zerowych i β tranzystorów małej mocy*.