

Ewa SOWA

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

POPRAWA PARAMETRÓW MNOŻNIKA HALOTRONOWEGO

Streszczenie. W pracy zestawiono główne zjawiska towarzyszące efektowi Halla oraz przedstawiono ich wpływ na pracę mnożnika halotronowego. Omówiono sposoby likwidacji podstawowych zjawisk zakłócających pracę mnożnika ze szczególnym uwzględnieniem kompensacji asymetrii omowej i kompensacji temperaturowej. Podano schematy elektrycznych układów kompensacyjnych.

I. WPROWADZENIE

Potrzeba mnożenia dwóch wielkości elektrycznych lub innych - nieelektrycznych - występuje bardzo często w licznych urządzeniach pomiarowych, liczących, modelowych. Istnieje obecnie wiele metod pomiaru iloczynu wielkości - opartych na różnych zasadach fizycznych.

Wybór mnożnika halotronowego jako układu mnożącego jest wynikiem posiadania wielu zalet, z których najcenniejszymi są:

- prosta i w dużym zakresie liniowa zależność napięcia wyjściowego U_{yH} od iloczynu wielkości sterujących (prądu I_x i indukcji magnetycznej B_z)

$$U_{yH} = R_H \frac{I_x B_z}{d}$$

R_H - współczynnik Halla,

d - grubość płytki półprzewodnikowej,

- bezstykowe i bez zniekształceń przenoszenie sygnałów wejściowych,

- duża czułość układu,

- prosta konstrukcja, niezawodność działania.

Niekorzystne natomiast w tych układach jest istnienie pasożytniczych napięć pochodzących od zjawisk termomagnetycznych i galwanomagnetycznych oraz asymetrii omowej w sygnale użytkowym, co w konsekwencji daje zależność parametrów płytki Halla od temperatury i indukcji magnetycznej B_z .

Wady te można jednak w dostatecznym do celów praktycznych stopniu usunąć poprzez odpowiedni dobór obwodu elektrycznego i kompensację.

II. PODSTAWOWE ŹRÓDŁA BŁĘDÓW W PRZETWORNIKACH HALLA

Występowaniu zjawiska Halla w półprzewodnikach towarzyszy szereg innych zjawisk fizycznych, które mogą wywołać wpływ na wartość mierzonego napięcia wyjściowego U_{yH} . Są to dalsze zjawiska galwanomagnetyczne i zjawiska termomagnetyczne.

Zjawiska galwanomagnetyczne występują w przypadku przepływu prądu elektrycznego przez płytkę umieszczoną w polu magnetycznym prostopadłym do kierunku płynącego prądu.

Oprócz efektu Halla należą tu: zjawisko Gaussa, zjawisko Ettingshausena i zjawisko Nernsta.

Dwa ostatnie z wymienionych wywołują w płytce Halla różnice temperatur, które są przyczyną powstawania niepożądanych napięć termoelektrycznych poprzecznych i podłużnych. Dla zjawiska Ettingshausena określone jest ono wzorem:

$$U_{yE} = \varphi \left(\frac{dT}{dy} \right)_E \quad b = \varphi P I_x B_z b$$

U_{yE} - napięcie termoelektryczne Ettingshausena,

φ - współczynnik proporcjonalności,

P - współczynnik Ettingshausena,

b - szerokość płytki,

$\left(\frac{dT}{dy} \right)_E$ - poprzeczny gradient temperatury.

Dla zjawiska Nernsta napięcie to związane jest z podłużnym gradientem temperatury $\frac{dT}{dx}$.

Zjawiska termomagnetyczne - występują w półprzewodniku w przypadku istnienia w nim gradientu temperatury, gdy materiał znajduje się w polu magnetycznym prostopadłym do wektora gradientu temperatury.

Należą tu:

- zjawisko Righi-Leduc'a - dające w efekcie dodatkowe poprzeczne napięcie termoelektryczne określone

$$U_{yRL} = \varphi \left(\frac{dT}{dy} \right)_{RL} \quad b = \varphi S B_z \frac{dT}{dx} b$$

S - współczynnik Righi-Leduc'a;

- zjawisko Nernsta-Ettingshausena opisane równaniem:

$$U_{yNE} = q^L B_z \frac{dT}{dx}$$

q^L - strumień cieplny;

- zjawisko Maggi-Righi-Leduc - określające zmianę przewodności cieplnej płytki półprzewodnikowej w polu magnetycznym,
- podłużne zjawisko Nernsta-Ettingshausena.

Zjawiska termomagnetyczne są zjawiskami wtórnymi i ich udział w napięciu Halla jest nieznaczny. Istotną rolę przy pomiarze napięcia Halla odgrywają zjawiska poprzeczne, wpływ zjawisk podłużnych jest bardzo mały w porównaniu z napięciem zasilającym.

Mierzone zatem napięcie na elektrodach napięciowych halotronu to:

$$U = U_{yH} + U_{yE} + U_{yRL} + U_{yNE} + U_{yo}$$

U_{yo} - napięcie asymetrii omowej, powstające na wskutek nieekwipotencjalnego umieszczenia elektrod napięciowych, wynoszące:

$$U_{yo} = r_o I_x \quad \text{przy} \quad B_z = 0$$

r_o - rezystancja między powierzchniami ekwipotencjalnymi (na których umieszczone są elektrody napięciowe).

Ponadto różnice temperatur w płytce mogą wynikać:

- z nierównomiernego wydzielania się ciepła Joule'a w poszczególnych jej częściach,
- ciepła Peltiera,
- nierównomiernego doprowadzania ciepła w wyniku nieprawidłowej konstrukcji lub wad technologicznych.

Wyżej wymienione zjawiska mają wpływ na charakterystyki pracy mnożnika halotronowego. I tak:

- charakterystyki statyczne ograniczone są parametrami materiału półprzewodnikowego i warunkami odprowadzania ciepła z płytki - co ujawnia się ich nieliniowością,
- charakterystyki dynamiczne zależą od obciążenia i będą zmieniane przez efekt Gaussa.

Zmiany temperatury wywołują zmiany rezystancji podłużnej R_x i poprzecznej R_y halotronu, rezystancji R_M uzwojenia magnesującego oraz zmiany współczynnika R_H , od którego bezpośrednio zależy napięcie wyjściowe Halla.

Przyczynami uchybów w przetwornikach halotronowych są więc: temperatura, indukcja magnetyczna, właściwości materiału półprzewodnikowego i konstrukcja halotronu, częstotliwość (prąd w obwodzie pierwotnym zależy od częstotliwości sieci) i one wpływają na dokładność pracy mnożnika Halla.

III. METODY ELIMINACJI GŁÓWNYCH ZJAWISK ZAKŁÓCAJĄCYCH PRACĘ MNOŻNIKA HALOTRONOWEGO

1. Kompensacja asymetrii omowej

W układach o dużych dokładnościach zachodzi potrzeba kompensacji tego napięcia. Jeśli prąd sterujący I_x ma wartość stałą, a halotron pracuje w ustalonej temperaturze napięcie U_{yo} można skompensować całkowicie. Przy pracy jego jako mnożnika, gdzie $I_x \neq \text{const}$, kompensacja asymetrii jest tylko częściowa. Dla typowych konstrukcji 4-elektrodowej stosowane są układy kompensacji przedstawione na rysunku 1.

Odpowiedni dobór L_k , R_k , D_k umożliwia w tych układach sprowadzenie asymetrii do bardzo małej wartości. Wadą jednak jest tutaj niedopasowanie oporności symetryzujących przy wszelkich zmianach rezystancji halotronu. Najpraktyczniejszym układem jest układ 1d; nie wymaga on skomplikowanego doboru elementów i stałego źródła zasilania, a jest wystarczająco stabilny.

2. Kompensacja temperaturowa. Przegląd rozwiązań kompensacji temperaturowej w układach halotronowych

Stabilność temperaturową uzyskać można następującymi metodami:

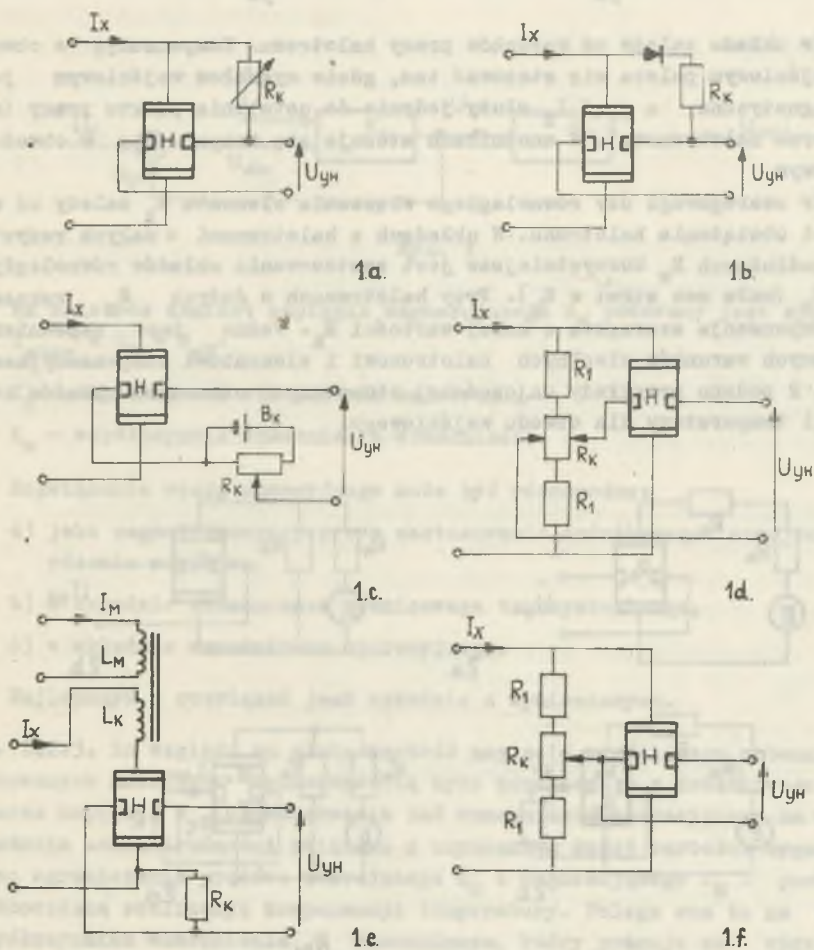
2.1. Zastosowanie na mnożniki materiałów półprzewodnikowych z małą temperaturową zależnością parametrów i stałej R_H np. stosując In As lub Hg Se.

2.2. Sztuczna stabilizacja temperaturowa

2.2.1. W układach otwartych - przez zastosowanie rezystorów o określonej charakterystyce temperaturowej i wartości rezystancji lub zastosowanie termistorów w przypadku nieliniowych zmian współczynników α i β ,

2.2.2. W układach zamkniętych - przez oddziaływanie ujemnego sprzężenia zwrotnego na jedno z wejść mnożnika,

2.2.3. W układzie z zastosowaniem wzmacniacza operacyjnego i lokalnego sprzężenia zrealizowanego na termistorze,



Rys. 1

2.3. Termostatyzowanie halotronu

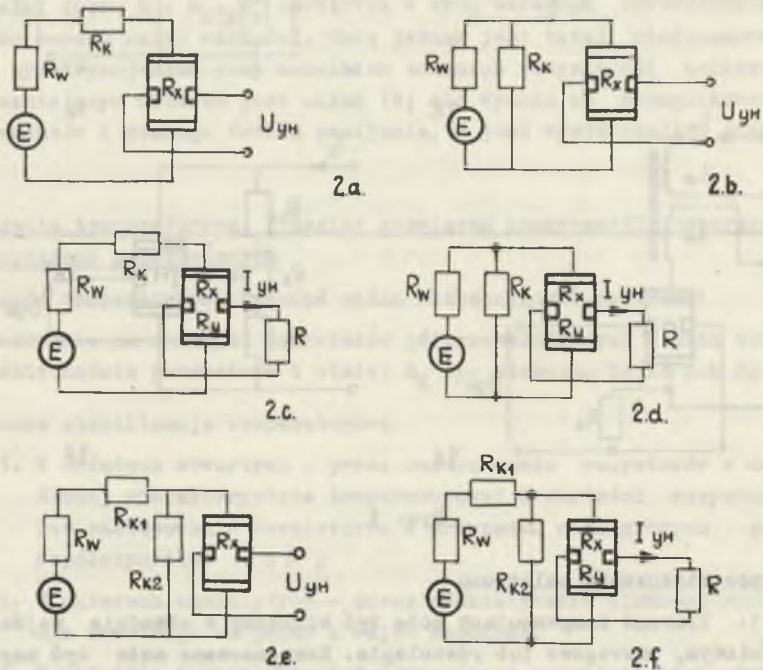
Ad. 2.2.1. Element kompensujący może być włączony w obwodzie wejściowym lub wyjściowym, szeregowo lub równoległe. Kompensowane może być napięcie (gdy $R_{obc} \gg R_y$) lub prąd (gdy $R_{obc} \approx R_y$), lub też kompensacja może być mieszana.

Dobór wartości rezystancji kompensującej przeprowadza się analitycznie korzystając z warunku

$$\psi = \frac{1}{U_{yH}} \frac{dU_{yH}}{dT} = 0 \quad \text{lub} \quad \Phi = \frac{1}{I_{yH}} \frac{dI_{yH}}{dT} = 0$$

Wybór układu zależy od warunków pracy halotronu. Kompensację w obwodzie wejściowym poleca się stosować tam, gdzie sygnałem wejściowym jest pole magnetyczne, a prąd I_x służy jedynie do ustalenia punktu pracy (amperomierze halotronowe). W mnożnikach stosuje się kompensację w obwodzie wyjściowym.

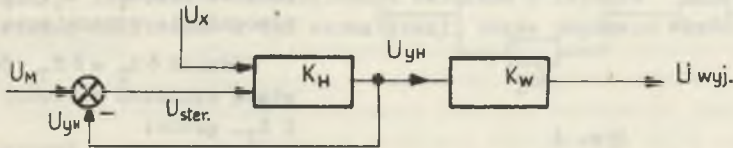
Wybór szeregowego czy równoległego włączenia elementu R_k zależy od możliwości obciążenia halotronu. W układach z halotronami o małych rezystancjach podłużnych R_x korzystniejsze jest zastosowanie układów równoległych o $R_k > R_x$ (mała moc strat w R_k). Przy halotronach o dużych R_x wskazana jest kompensacja szeregowo o małej wartości R_k . Ważne jest zapewnienie tych samych warunków cieplnych halotronowi i elementowi kompensacyjnemu. Na rys. 2 podano przykłady najczęściej stosowanych otwartych układów kompensacji temperatury dla obwodu wejściowego.



Rys. 2

Analogiczne stosowane są dla obwodu wyjściowego.

Ad. 2.2.2. Ujemne sprzężenie zwrotne realizowane jest zazwyczaj z wyjścia mnożnika na obwód prądu magnesującego (większy wpływ na grzanie elementu). Schematycznie sposób ten przedstawiony jest na rys. 3.



Rys. 3

Na halotron zamiast napięcia magnesującego U_M podawany jest sygnał błędny $U_{ster} = U_M - U_{yH}$.

K_H - współczynnik wzmocnienia halotyonu,

K_W - współczynnik wzmocnienia wzmacniacza.

Rozwiązanie węzła sumacyjnego może być różnorodne:

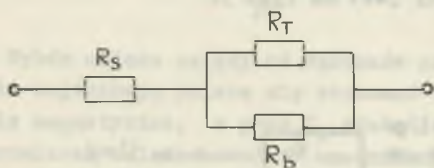
- jako magnetycznego poprzez zastosowanie dodatkowego uzwojenia na rdzeniu mnożnika,
- w układzie wzmacniacza różnicowego tranzystorowego,
- w układzie wzmacniacza operacyjnego.

Najlepszym z rozwiązań jest ostatnie z wymienionych.

Ad. 2.2.3. Ze względu na niską wartość napięcia wyjściowego obecnie produkowanych mnożników koniecznością było korzystanie z dodatkowego wzmacniacza napięcia U_{yH} . Zastosowanie zaś wzmacniacza operacyjnego na wyjściu mnożnika usuwa trudności związane z uzyskaniem dużej wartości sygnału U_{yH} mimo ograniczenia prądów: sterującego I_x i magnesującego I_M i pozwala na jednoczesną realizację kompensacji temperatury. Polega ona tu na zmianie współczynnika wzmocnienia K wzmacniacza, który pracuje ze sprzężeniem zwrotnym R_P i termistorem R_T na wejściu.

$$K = \frac{R_P + R(T)}{R(T)}$$

$R(T)$ - wypadkowa rezystancja obwodu kompensacji, składająca się z termistora R_T i oporników R_S i R_D przedstawiona na rys. 4.



Rys. 4

Jeśli np. sygnał wyjściowy U_{yH} maleje ze wzrostem temperatury, to dzięki jednoczesnemu zmniejszeniu się całkowitego oporu obwodu R_T , R_b , R_S , rośnie wzmacnienie wzmacniacza K.

Równość $\delta U_T = \delta R_T$ jest podstawą obliczeń wartości R_S , R_b i R_T , gdzie:

δU_T - względny błąd temperaturowy, który występuje bez kompensacji,

δR_T - względna zmiana oporu obwodu kompensacji.

Ad. 2.3. Jeśli kompensacja nie daje dostatecznych rezultatów stosuje się termostatyzowanie halotronu. Główną jednak wadą tej metody jest konieczność zwiększenia rzeczywistych wymiarów halotronu, co w szeregu zastosowań jest nie do przyjęcia.

3. Poprawa czułości i sprawności halotronowych układów mnożaczych

W przypadkach pracy przy niewielkich prądach sterujących i niewielkich natężeniach pola magnetycznego niezbędna jest duża czułość układu. Można ją uzyskać kilkoma sposobami:

- 3.1. przez zastosowanie materiałów półprzewodnikowych o dużych współczynnikach R_H ,
- 3.2. za pomocą koncentratorów,
- 3.3. przez poprawę warunków chłodzenia płytki,
- 3.4. poprzez zasilanie mnożnika prądem impulsowym,
- 3.5. utworzenie baterii halotronów, których obwody wyjściowe połączone są szeregowo.

Istnieje możliwość zwiększenia sprawności halotronów przez zwiększenie liczby obwodów sterujących i napięciowych. Umożliwia to płytka posiadająca n par elektrod prądowych oraz m par niezależnych od siebie elektrod napięciowych.

4. Kompensacja innych błędów

Siłę elektromotoryczną indukującą się w pętlach przewodów halotronu należy eliminować poprzez poprawne prowadzenie przewodów, by tworzyły one jak najmniejsze powierzchnie.

Likwidację wpływu zjawiska Gaussa uzyskujemy włączając w obwód wyjściowy dodatkową rezystancję szeregową o wartości $R_{\text{dod}} \gg R_y$. Wykazano, że halotron o konstrukcji krzyżowej pozwoli na uzyskanie współczynnika liniowości o rząd wielkości lepszy.

Zmiany w procesie technologicznym związane z lepszym zabezpieczeniem powierzchni halotronów i ich hermetyzacji także poprawia właściwości halotronów.

IV. WNIOSKI

1. Wymagania stawiane halotromom nie mogą być jednocześnie spełnione, dla tego przy projektowaniu mnożników należy uwzględnić ich przeznaczenie rezygnując z mniej istotnych parametrów, a starając się uzyskać pożądane jako optymalne.
2. Kompensacja temperatury w układach otwartych nastęrcza trudności związane z zapewnieniem jednakowych warunków cieplnych halotromu i elementu kompensacyjnego.
3. Zastosowanie najnowszej metody kompensacji przedstawionej w p. III 2.2.3 pozwala na zmniejszenie ilości elementów składowych układu, zmniejszenie gabarytów mnożnika, prostsze rozwiązanie i zwiększenie czułości.
4. Główną tendencją jest jednak nie tworzenie skomplikowanych układów do kompensacji temperaturowej, lecz opracowanie takich materiałów, w których zależności te byłyby jak najmniej.

LITERATURA

- [1] Kobus A., Tuszyński J.: Halotromy i gaussotromy. Warszawa, WNT 1966.
- [2] Kobus A., Tuszyński J.: Halotromy i ich zastosowanie. WNT, Warszawa 1963.
- [3] Zawicki I.: Halotromowy przetwornik mocy o wysokiej czułości. PAK nr 3, 1973.
- [4] Sowa E.: Analiza pracy i poprawa parametrów mnożnika halotromowego. Praca dyplomowa. Politechnika Śląska, 1973.

Przyjęto do druku w listopadzie 1973 r.

ИСПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УМНОЖИТЕЛЯ ОСНОВАННОГО НА
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Р е з ю м е

В статье описаны основные явления связанные с эффектом Холла, и представлено их влияние на работу умножителя основанного на эффекте Холла. Описаны методы ликвидации основных явлений нарушающих работу умножителя, особенно при учёте компенсации омической несимметрии и температурной компенсации.

Поданы электрические схемы компенсационных систем.

THE IMPROVEMENT OF PARAMETERS OF A HALL-EFFECT MULTIPLIER

S u m m a r y

The main occurrences concomitant with the Hall-effect are compiled and their influence for the work of Hall-effect multiplier is described.

The methods of suppression of the basic occurrences disturbing the work of the multiplier, particularly the resistance dyssymetry compensation and the temperature compensation, are discussed.

The schemes of electrical compensatory systems are given.