



Факультет військової підготовки Київського університету імені Тараса Шевченка



Кафедра військово-технічної підготовки

Дисципліна ВІЙСЬКОВА ПІДГОТОВКА

**Предмет ОСНОВИ БУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ ЗАСОБІВ
ВИМІРЮВАНЬ**

Тема 11 : ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ.

**Заняття 3 : ВИМІРЮВАЧІ ІМПУЛЬСНОЇ, СЕРЕДНЬОЇ І ВЕЛИКОЇ
ПОТУЖНОСТІ.**

**для проведення занять з студентами
з спеціальності “Метрологічне забезпечення військ (сил)”**

НАВЧАЛЬНА МЕТА:

1. Надати слухачам призначення, принцип дії ватметрів імпульсної потужності.
2. Ознайомити студентів з структурною схемою ватметрів імпульсної потужності.
3. Розглянути методи калібрування ватметрів.

- 1. Основні принципи побудови ватметрів.**
- 2. Структурні схеми ватметрів і похибки вимірювань.**
- 3. Методи перевірки імпульсних ватметрів.**

Питання 1.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ВАТМЕТРІВ.

Вимірювання імпульсної потужності

Вимірювання імпульсної потужності найбільш часто проводять в радіолокації, радіонавігації, радіотелеметрії і різних системах передачі інформації, таких як системах з кодово-імпульсною модуляцією, з широтно - імпульсною модуляцією, з фазово-імпульсною модуляцією.

В радіопередавальних пристроях з імпульсною модуляцією потужність в імпульсі є найважливішою енергетичною характеристикою, яка вимагає кількісної оцінки з заданою похибкою, як в процесі їх створення, так і в умовах експлуатації.

Відомі різні методи вимірювання потужності імпульсно - модульованих сигналів. Самий простий, але менш точний є непрямий метод, який будується на визначені імпульсної потужності розрахунковим шляхом по результатам вимірювання середньої потужності.

На основі складних, але, як правило, і більш точних методів створюються вимірювачі потужності з безпосередньою індикацією величини, яка вимірюється, в аналоговій або цифровій формі.

Під **імпульсною потужністю** розуміють середню за час імпульсу потужність. Це значення потужності використовують для характеристики імпульсів прямокутної форми.

Далі розглянемо основні методи вимірювання імпульсної потужності.

Імпульсну потужність можна визначити по прямим вимірюванням середньої потужності P_{cp} , тривалості імпульсів τ_i і частоти повторення F_n і розрахувати згідно з формулою

$$P_i = P_{cp} / (F_n \tau_i) = P_{cp} \cdot Q \quad (1)$$

Питання 2.

СТРУКТУРНІ СХЕМИ ВАТМЕТРІВ І ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

Структурна схема вимірювань показана на рисунку 1.

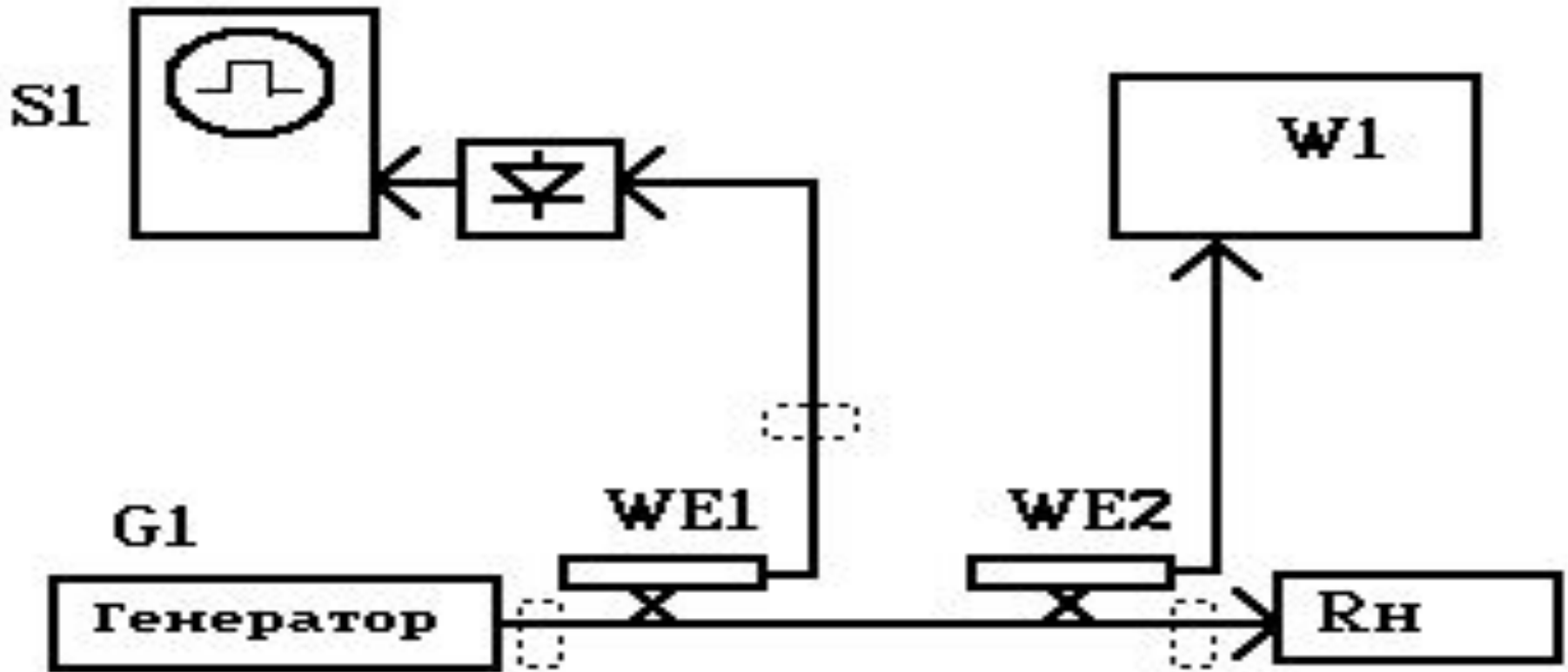


рис. 1.

На схемі ватметр $W1$ поглинаючої потужності увімкнений в вторинний ланцюг відгалужувача $WE2$. Завдяки цьому забезпечується вимірювання більш високого рівня потужності в порівнянні з випадком увімкнення вимірювача в первинний ланцюг.

Тривалість імпульсу і частота повторення визначається за допомогою осцилографа $S1$, на який подається відеосигнал.

Складові похибки вимірювань:

- похибка вимірювання середнього значення потужності ($\pm 4...10\%$);
- похибка вимірювання тривалості імпульсу ($\pm 1...2\%$);
- похибка вимірювання частоти повторення імпульсів ($\pm 1\%$);
- похибка вимірювання коефіцієнта відгалужувача ($\pm 0,002...0,003$ дБ);

Похибка вимірювання імпульсної потужності $\pm (6...12\%)$.

До переваг методу відносять широкі динамічний (1 мВт...100кВт) і частотний діапазони.

Недоліки:

- непридатність методу у випадку змінної шпаруватості;
- великий час вимірювання.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ВІДГАЛУЖУВАЧІВ



Метод діодного детектора

Вимірювання імпульсної прохідної потужності з застосуванням діодних датчиків базується на вимірюванні пікової напруги на відомому опорі.

Пікова потужність пропорційна квадрату пікової напруги.

Шкала вихідного приладу тарується безпосередньо в значеннях потужності. Лампові (вакуумні) діоди застосовують в діапазоні частот до 3 ГГц. На вищих частотах - застосовують напівпровідникові діоди. На більш високих частотах їх застосування обмежене частотними похибками. Динамічний діапазон при використанні вакуумних діодів складає 0,1...200 Вт, при використанні напівпровідникових діодів - 0,5...100 мкВт.

На рисунку 2 наведена схема датчика на вакуумному діоді, який вмонтований в коаксіальний тракт.

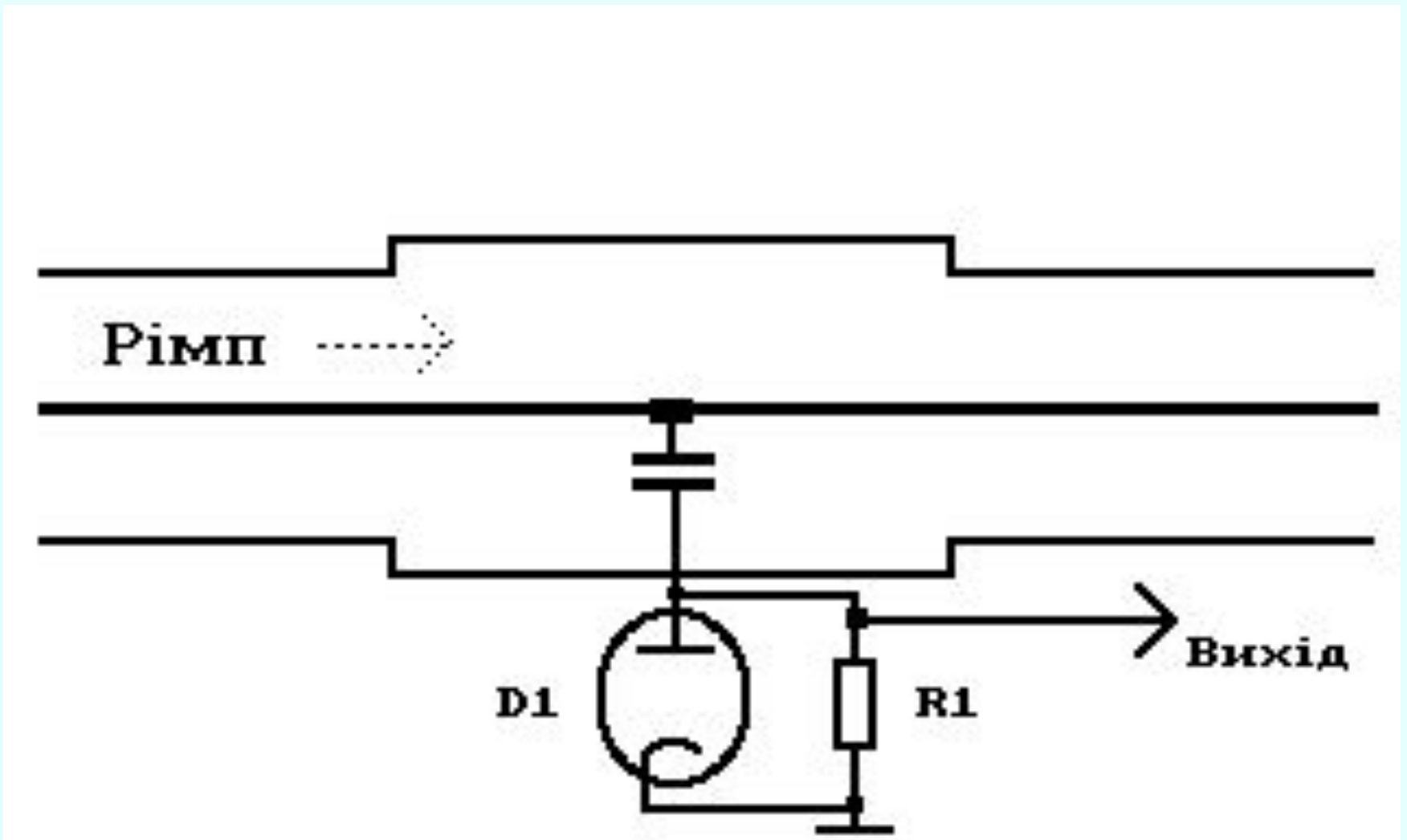


рис. 2

Для зменшення напруги, яка надходить на діод застосовують ємнісний зв'язок або направлений відгалужувач.

Імпульсна потужність вимірюється також ватметрами, які використовують:

безінерційний ефект зміни провідності напівпровідника в НВЧ полі;

метод з використанням газорозрядного датчика, в якому використовують ефект зміни провідності плазми під дією електромагнітної енергії.

Детекторна характеристика плазми близька до лінійної в діапазоні зміни потужності 0,5...2 Вт. Температурний діапазон працездатності такого датчика міститься в межах - +60... +125°C.

п'єзоелектричний метод вимірювання імпульсної потужності. П'єзоелектричний перетворювач дозволяє вимірювати $P_{\min} = 3...5$ кВт в мм-діапазоні частот з похибкою до 15%.

Питання 3

МЕТОДИ ПОВІРКИ ІМПУЛЬСНИХ ВАТМЕТРІВ

Основу метрологічного забезпечення ЗВ потужності складають Державні спеціальні еталони одиниць потужності електромагнітних коливань у хвилевідних і коаксіальних трактах і загальні повірочні схеми ГОСТ 8.047- 80, ГОСТ 8.073- 80, ГОСТ 8.074-73, ГОСТ 8.102-73.

Повірочна схема складається з чотирьох ланок: еталонів, робочих еталонів 1 і 2 розряду, робочих ватметрів.

Для відтворення одиниці потужності - вата – використовують три державні спеціальних еталони. Еталон згідно ГОСТ 8.073- 80 призначений для відтворення і зберігання одиниці потужності немодульованих сигналів змінного струму в діапазоні частот від 30 до 10000 МГц в коаксіальних трактах.

Верхньою ланкою повірочної схеми ЗВ потужності НВЧ в хвилевідних трактах є державний спеціальний еталон для діапазону частот 2,59...37,5 ГГц згідно ГОСТ 8.047 - 80.

В діапазоні частот від 337,57...53.57 ГГц в основі вимірювання потужності лежить одиниця, яка відтворюється спеціальним еталоном згідно ГОСТ 8.102-73.

Повірка термісторного ватметра типу МЗ-28 проводиться згідно з вимогами технічного опису на ватметр.

Проведення повірки :

1. Зовнішній огляд.

Під час проведення зовнішнього огляду потрібно виконувати вказівки по операціях підготовки до проведення вимірювань згідно ТО.

2. Опробування.

Перед опробуванням ватметра на працездатність потрібно:

- провести перевірку омичного опору НВЧ - трактів ВЧ- перемикачів за допомогою універсального вольтметра В7-16А, який увімкнений в режимі вимірювання опору. При цьому в положеннях ВЧ- перемикачів "1" і "0" опір повинен бути рівний нескінченності, а в положенні "100" - 75 або 50 ом в залежності від перемикача.**
- увімкнути прилад в мережу живлення і дати прогрітись під струмом.**

3. Визначення метрологічних характеристик

Полягає в визначенні основної похибки вимірювання потужності без урахування похибки за рахунок неузгодженості його входу по елементним або комплектним методами.

Визначення основної похибки ватметра при поелементній повірці включає в себе:

а) - визначення похибки термісторного мосту Я2М-64 на постійному струмі;

б) - визначення значення $K_{\text{стп}}$ ВЧ- перемикачів;

в) - визначення значення K_e і похибки визначення значення K_e (δ_{ke}) ВЧ- перемикачів;

г) - визначення значення коефіцієнта поділу (K_d) і похибку визначення K_d ВЧ- перемикачів;

д) - визначення похибки ΔP за рахунок впливу реактивної складової вихідного опору вимірюваного джерела потужності.

а) - визначення похибки термісторного мосту Я2М-64 на постійному струмі

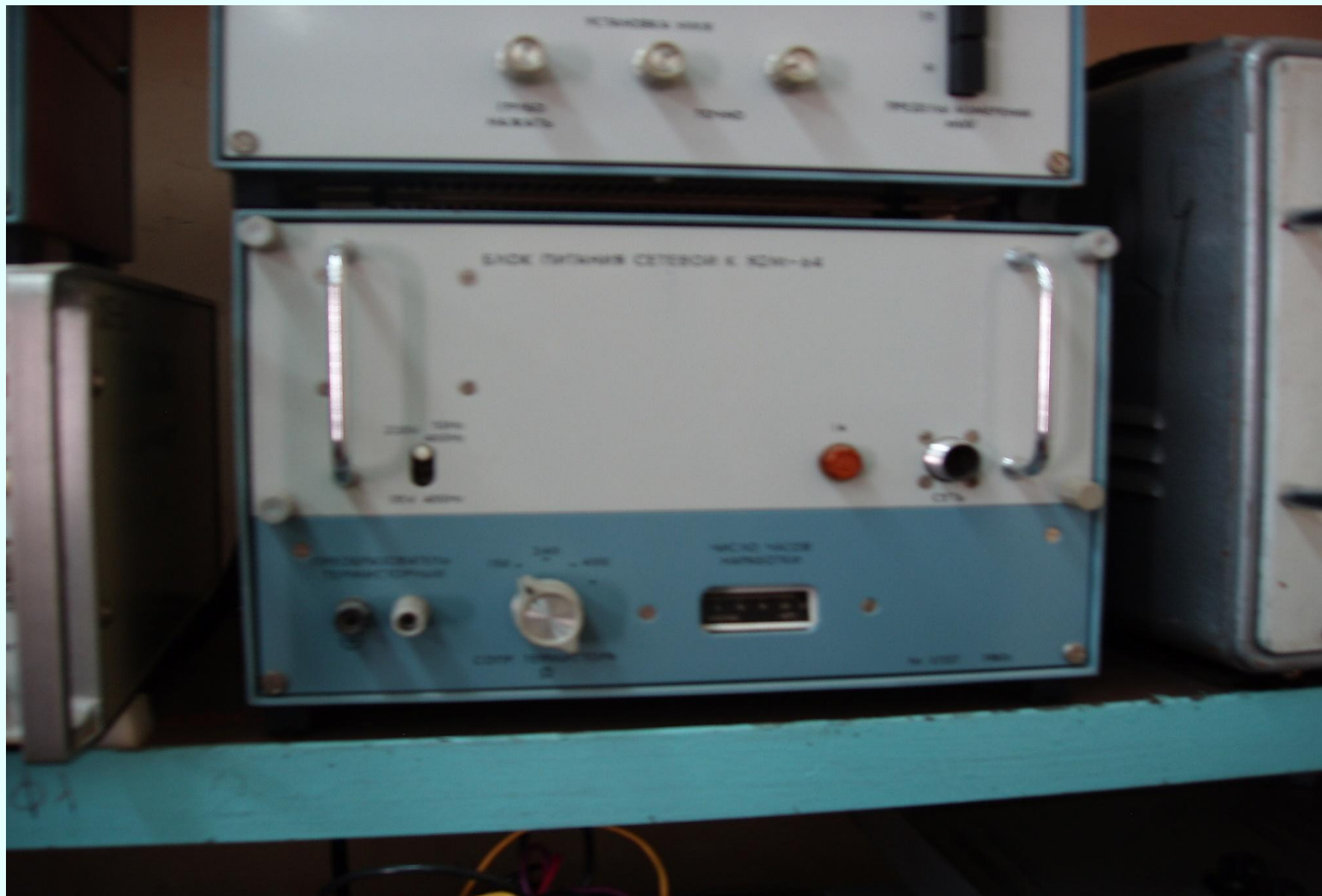
При визначенні відносної похибки мосту ватметра на постійному струмі попередньо визначається відносна похибка встановлення робочого опору термістора згідно схеми рисунку 3.



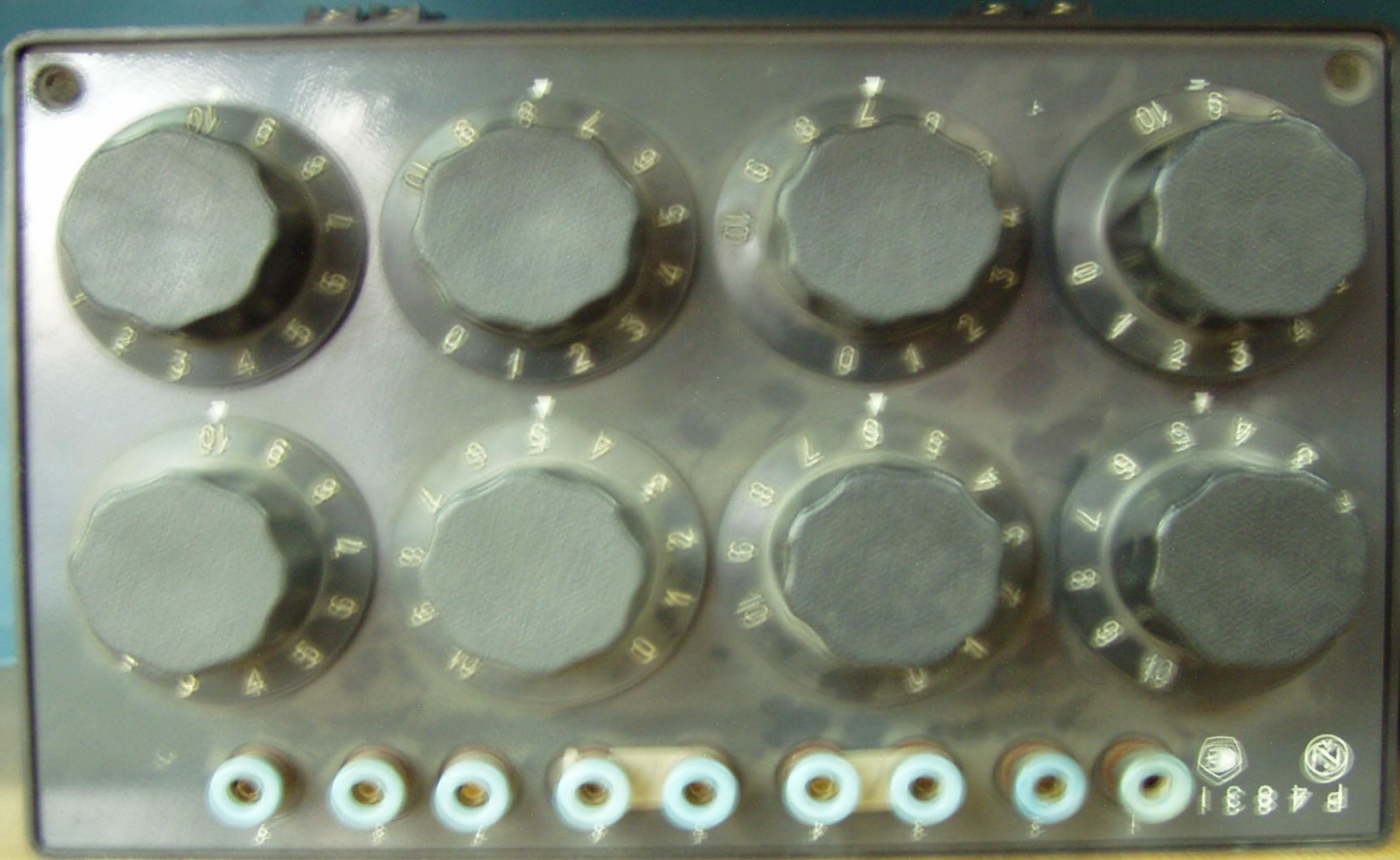
рис. 3

До клем мосту ватметра = ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕРМИСТОРНЫЙ= підключити магазин опорів. Встановити на магазині опір 149 Ом, увімкнути перемикач мережі і натиснути кнопку 5мВт, при цьому стрілка індикатора знаходиться за межами шкали. Збільшити опір магазину на 10 Ом. Коли стрілка буде рухатись до нуля, зменшити опір магазину на ті ж 10 Ом, при цьому стрілка індикатора буде рухатись у зворотному напрямку. Збільшити опір магазину на 1 Ом і більше (використовуючи ручку 0,1 Ом), при цьому знову зміниться напрямок руху стрілки (вона буде рухатись до нуля). Потім зменшити опір магазину на 0,1 Ом зупинити стрілку в довільній частині шкали.

термісторний міст Я2М- 64



Магазин опорів Р4831



Подальше зменшення опору на 0,1 Ом викликає повільний рух стрілку праворуч від встановленого положення, а збільшення його на 0,1 Ом - ліворуч.

Робочий опір термістора буде рівним опору магазину

опорів, при якому зупинена стрілка.

Відносна похибка встановлення робочого опору термістора (δ_{R_T}) визначається за формулою

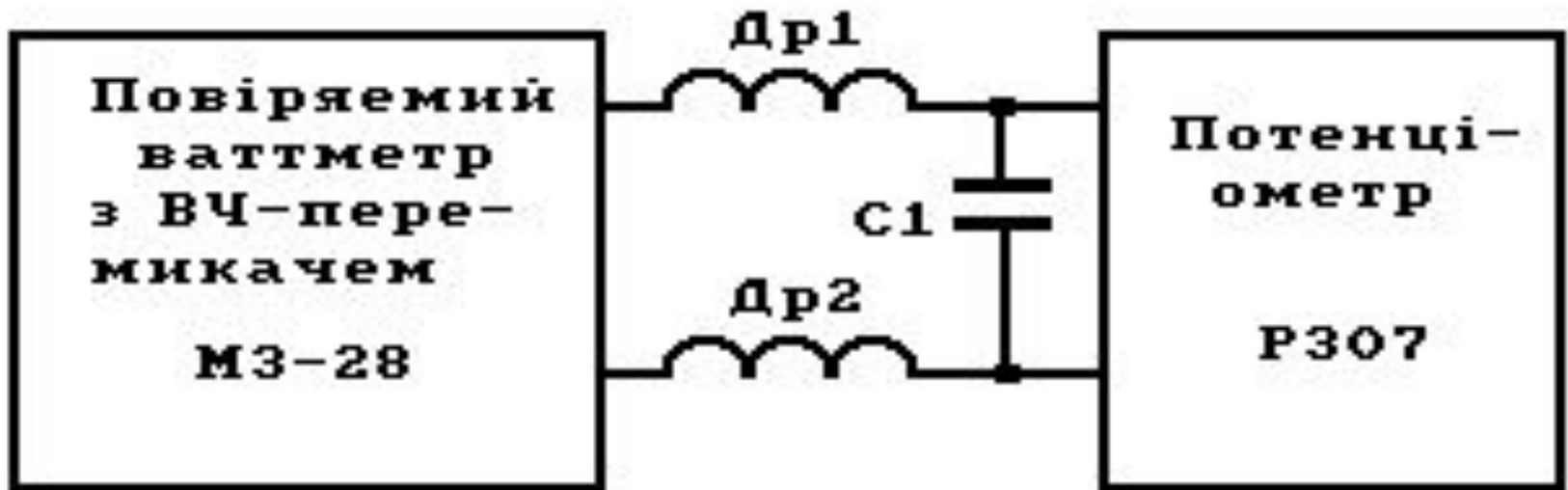
$$\delta_{R_T} = \left(\frac{R_{T1} - R_T}{R_{T1}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

де R_T - величина опору, яка встановлена на магазині опорів під час балансу мосту;

R_{T1} - значення опору термістора, яке вказане на перемикачі робочих опорів термістора ($R_{T1} = 150$ Ом).

Похибка встановлення робочого опору термістора не повинна перевищувати $\pm 0,6$ %.

Потім визначається відносна похибка мосту ватметра на постійному струмі за схемою рис. 4.



$C1 = 10 \text{ мкФ (МБГО)}$

$D_{p1,2} = > 0,5 \text{ Гн}$

рис. 4

**Паралельно з ВЧ- перемикачем до мосту ватметра
До клем ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕРМИСТОРНЫЙ через
дроселі підключається потенціометр постійного
струму Р- 307.**

**Ватметр готується до вимірювань згідно інструкції з
експлуатації.**

**На повіряємій межі вимірюється напруга
на термісторі за допомогою потенціометра Р307 при
нульових показах ватметра (U_0).**

**Вона повинна бути близька по значенню до U_0 , яке
вказане в таблиці. 1**

Таблиця 1

Опір термістора (R_T),(Ом)	Напруга на P307 (U_o), (В)
149,1	0,94583
149,2	0,94615
149,3	0,94646
149,4	0,94678
149,5	0,9471
149,6	0,94742
149,7	0,94773
149,8	0,94805
149,9	0,94837
150	0,94868
150,1	0,949
150,2	0,94932
150,3	0,94963
150,4	0,94995
150,5	0,95026
150,6	0,95058
150,7	0,95089
150,8	0,95121
150,9	0,95153

Ручками встановлення нуля стрілка індикатора ватметра встановлюється на відмітку шкали, яка підлягає повірці, і на термісторі вимірюється напруга (U_1).

Відносна похибка термісторного мосту ватметра на постійному струмі (δ_m) визначається згідно з формулою :

$$\delta_m = \left(1 - \frac{(U_0 - U_1) \cdot (U_0 + U_1)}{P_X \cdot R_T} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

Значення початкової потужності зміщення на термісторі повинно бути близьким до 6 мВт. Визначається згідно з формулою :

$$P_0 = \frac{U^2}{R_T} \quad (4)$$

Похибка мосту на постійному струмі визначається на наступних помітках:

на межі 0,15 мВт - 0,1; 0,15,

на межі 0,5 мВт - 0,15; 0,3; 0,5,

на межі 7,5 мВт - 2; 5; 7,5.

На інших межах вимірювання похибка визначається на кінцевих помітках шкал. Вимірювання проводяться не менше трьох раз і визначається середнє арифметичне вимірювань.

Величина похибки не повинна перевищувати значень, які визначаються згідно формул:

**$\delta_M = \pm (2 + 0,5 P_K / P_X) \%$ в діапазоні потужностей
0,1-10 мВт**

**$\delta_M = \pm (0,5 + 1,5 P_K / P_X) \%$ в діапазоні потужностей
0,05 - 0,1 мВт**

б) визначення значення Ксти ВЧ-перемикачів;

Визначення Ксти входу ватметра виконується згідно схеми рисунка 5 на частотах 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 ГГц з ВЧ-перемикачем 50 Ом і 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 ГГц.

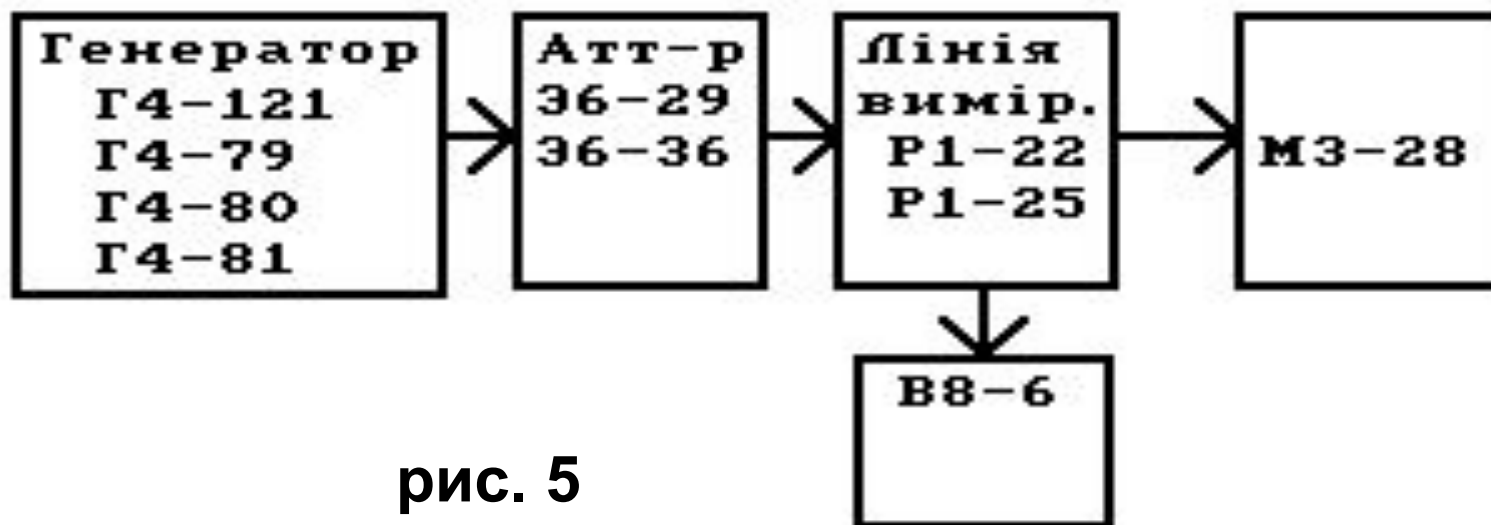


рис. 5

Визначення Ксти входу ватметра повинно виконуватись при балансі мосту як без подільника потужності, так і з подільником потужності. Визначення Ксти входу ватметра в діапазоні 0,02 - 1,0 ГГц виконується за допомогою панорамних вимірювачів Ксти РК2- 47.

Рівень НВЧ потужності, який подається на ВЧ-перемикач в положенні 1 не повинен перевищувати 10 мВт.

Ксти не повинен перевищувати:

в коаксіальному тракті 50 Ом:

1,3 в діапазоні частот від 0,02 до 1,0 ГГц,

1,5 в діапазоні частот від 1,0 до 5,5 ГГц,

1,7 з ВЧ кабелем в діапазоні частот від 0,02 до 3,0 ГГц,

2,1 з ВЧ кабелем в діапазоні частот від 3,0 до 5,5 ГГц,

в коаксіальному тракті 75 Ом:

1,5 в робочому діапазоні частот без ВЧ кабелю,

1,7 в робочому діапазоні частот з ВЧ кабелем.

в) визначення значення K і похибки визначення значення $K_e(\delta_{ke})$ ВЧ- перемикачів

Визначення значення K_e ВЧ перемикачів виконується згідно схеми рисунка 6 на частотах 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 ГГц в коаксіальному тракті 75 Ом і 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 ГГц з ВЧ- перемикачем 50 Ом .

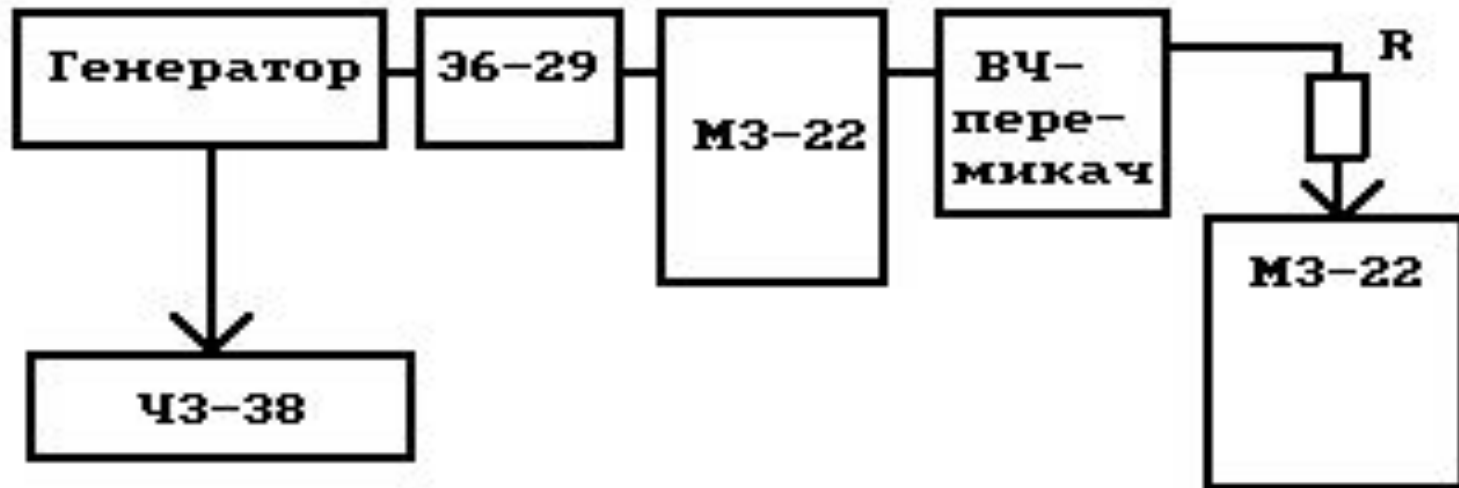


рис. 6.

Перевірка ВЧ- перемикачів виконується шляхом вимірювання потужності зразковим термісторним мостом з повіряємим ВЧ перемикачем і опорним вимірювачем потужності.

Рівень потужності на виході повіряємого ВЧ- перемикача повинен бути не менше 4- 5 мВт.

Визначення K_e ВЧ- перемикача з мостом ватметра МЗ-22 виконується на робочому опорі 200 Ом. При цьому перемикач підключається до мосту через опір 50 Ом $\pm 2\%$, який увімкнений послідовно в коло робочого термістора.

K_e визначається згідно з формулою :

$$K_{e\hat{A}\hat{E}\hat{I}} = \frac{0,75 \cdot P_H \cdot A}{a (1 - |K_{\hat{A}^2\hat{A}}|^2) \cdot P_0} \quad (5)$$

де P_n - потужність, яка виміряна термісторним мостом, в схему якого увімкнений повіряємий ВЧ- перемикач;
 P_o - покази опорного мосту;
 a - коефіцієнт передачі калібратора;
 $|K_{\text{від}}|$ - модуль коефіцієнта відбиття на вході повіряємого ВЧ- перемикача.

$$\left| K_{\hat{A}^2\hat{A}} \right| = \frac{1 + K_{CTU}}{1 - K_{CTU}} \quad (6)$$

A - коефіцієнт, який враховує втрати в коаксіальному переході (Для ВЧ перемикача 50 Ом);

$A = 1$ в діапазоні частот від 1 до 3 ГГц,

$A = 1,005$ в діапазоні частот понад 3 до 5,5 ГГц.

Відлік P_o і P_n виконується одночасно, кількість вимірювань на одній частоті не менше п'яти.

По результатам п'яти вимірювань визначається середнє арифметичне значення K_e і заноситься в формуляр на ватметр. Відхилення значень кожному ряду з п'яти вимірювань повинне бути не більше 2,0%.

$$\frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{\tilde{n}\delta}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Похибка атестації ВЧ- перемикачів по K_e обчислюється згідно з формулою

$$\delta_{K_e} = \delta_{\hat{a}1} + Y_{\zeta} \cdot \delta_{D1} \quad (8)$$

де δ_{ke} - похибка атестації ВЧ - перемикачів по K_e
 δ_{ke1} - похибка атестації ВЧ - перемикачів по K_e без
урахування похибки за рахунок неузгодження

$$\delta_{\hat{E}a} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2} \quad (9)$$

де δ_1 - відносна похибка коефіцієнта передачі перетворювача падаючої, яка наведена в свідотстві під час його атестації;

δ_2 – відносна похибка мосту ватметра МЗ-28;

δ_3 – відносна похибка за рахунок неточності значення K_{CTU} , яка обчислюється

$$\frac{1 + K_{CTU}}{1 - K_{CTU}} \cdot \frac{\Delta K_{CTU}}{K_{CTU}} \cdot 100\% \quad (10)$$

де $K_{\text{стУ}}$ – коефіцієнт стоячої хвилі, який виміряний на вході повіряємого ВЧ- перемикача в діапазоні частот від 1 до 3 ГГц або переходу, який підключений до повіряємого ВЧ- перемикача 50 Ом в діапазоні частот понад 3 до 5,5 ГГц;

$\Delta K_{\text{стУ}}$ - відносна похибка визначення коефіцієнта стоячої хвилі;

δ_4 - випадкова похибка результату вимірювання K_e ВЧ- перемикача, яка визначається згідно з формулою

$$\delta_4 = M_n \left(\frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{ch}} \right) \cdot 100\% < 1,16\% \quad (11)$$

m_n - коефіцієнт , який залежить від числа вимірювань(для 5-вимірювань $m_n = 0,58$);

δ_5 - відносна похибка за рахунок втрат в коаксіальному переході (для ВЧ- перемикача 50 Ом).

ПИТАННЯ ?

Література:

1. Измерения в электронике, энергоатомиздат, 1987.

2. Федоров А.М., Циган Н,Я., Мичурин В.И., Метрологическое обеспечение электронных средств измерений электрических величин, довідкова книга, Електроатомиздат 1987.

3. Конспект лекцій