ГПА. При этом мощность составила $N_1 = N_2 = 13469{,}1$ *кВт*, $N_3 = 13555{,}7$ *кВт*, $N_\Sigma^{КС} = 40493{,}9$ *кВт*. Разность мощностей составит

$$\Delta N = N_\Sigma^{КС} - N_{опт}^{КС} = 62{,}3 \text{ кВт}.$$

При изменении $\eta_g^{гпа}$ до 0,8 ожидаемый годовой экономический эффект на одной КС увеличивается до 21 *тыс. рубл*. В случае, если ЭВМ одновременно обслуживает 5 КС одного МГ, то затраты на ЭВМ окупятся за 2 месяца ее эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жидкова М. А.* Переходные процессы в магистральных газопроводах.—Киев: Наукова Думка, 1979.—256 с.
2. *Леонтьев Е. В., Цигельников Е. В.* Изменение газодинамических характеристик ЦКМ в процессе эксплуатации // Сб.: «Труды ВНИИГаза», 1987.—С. 27—30.
3. *Бобровский С. А.* и др. Трубопроводный транспорт газа.—М.: Наука, 1976.—495 с.
4. Добыча, подготовка и транспорт природного газа и конденсата: Спр. рук. / Под ред. А. С. Коротаева в 2-х томах.—1984.—Т. 1. 360 с.—Т. 2.—288 с.
5. Инструкция по определению производительности, мощности и затрат топливного газа для ГПА с газотурбинным приводом.—М.: ВНИИГаз, 1984.—21 с.

ЕрПИ

25. X. 1989

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 3, 1991, с. 133—136

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.317.33

М. Г. АЗАРЯН

ВЧ—МЕТОД АБСОЛЮТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

Основываясь на особенностях протекания ВЧ-токов, наведенных в исследуемый образец с помощью бесконтактного ВЧ-зонда, предложен метод абсолютного определения локального удельного сопротивления в высокоомных материалах электроники, использующий частотно-модулированный ВЧ-сигнал. Метод позволяет избежать ограничений, присущих описанной технике ВЧ-зонда.

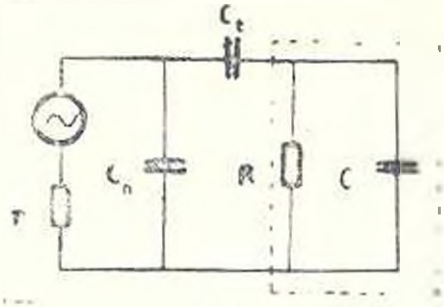
Ил. 1. Библиогр.: 6 назв.

Հիմնվելով անհպում ԲՀ-զոնդով հետազոտվող նմուշներում մակածված ԲՀ-հոսանքների անցման յուրահատկությունների վրա՝ առաջարկված է էլեկտրոնային տեխնիկայի բարձրաոհմ նյութերում տեղային տեսակարար դիմադրության որոշման բացարձակ մեթոդ, որում օգտագործվում է հաճախականային մոդուլացված ԲՀ-ազդանշան։ Մեթոդը թույլ է տալիս խուսափել սահմանափակումներից, որոնք բնորոշ են ԲՀ-զոնդի օգտագործման հայտնի տեխնիկային։

Целью работы является предложить способ, который, используя идею наведенных ВЧ-токов [1—4], позволил бы, увеличив локаль-

ность, расширить диапазон измеряемых абсолютным образом удельных сопротивлений ρ хотя бы в сторону больших сопротивлений и предполагал возможность автоматизации процесса измерений.

Рассмотрим систему, содержащую коаксиальный ВЧ-емкостной зонд, подключенный через измерительное сопротивление r к ВЧ-генератору, причем открытый торец (предварительно отшлифованный) такого зонда отделен зазором h от поверхности исследуемого образца (ИО) и образует переходную емкость C_t. Эквивалентная схема такой системы представлена на рисунке. Здесь $C_п$ — паразитная емкость коаксиальных соединительных кабелей и зонда, C_t — емкость связи, R — искомое сопротивление, C — емкость локальной области ИО, r — измерительное сопротивление. Значение C_t определяется из выражения $C_t = \varepsilon\varepsilon_0 d^2/4h$, где ε — диэлектрическая проницаемость вещества зазора между зондом и ИО, d — диаметр центрального зонда.



Рис

Согласно [1—4]

$$R = \rho/2d, \qquad C = 2d\varepsilon_м\varepsilon_0, \qquad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление ИО, $\varepsilon_м$ — диэлектрическая проницаемость ИО. Это равенство выполняется при $d/D \ll 1$, где D — внутренний диаметр внешнего электрода зонда.

На рисунке пунктиром отмечена эквивалентная схема локальной области ИО. В случае стационарности для импеданса нагружающего ВЧ-генератор можно записать [5]:

$$z_{вх} = (r + x_t^2 R/(R^2 + x^2)) + i(x_п^2 - x_t^2 x/(R^2 + x^2)),$$

где $x_t = 1/\omega C_t$, $x = 1/\omega C$, $x_п = 1/\omega C_п$ — соответствующие реактивные сопротивления, ω — круговая частота сигнала ГВЧ.

Комплексное напряжение $\dot{U}$ определяется из выражения $\dot{U} = \mathrm{Re}\,[U_0 \exp(i\omega t)]$, а ток —

$$I(t) = U_0 \cos(\omega t - \mathrm{arctg}\,\Phi)/[(r + x_t^2 R/(R^2 + x^2))(1 + \Phi^2)^{1/2}], \qquad (2)$$

где $\Phi = (x_п^2 - x_t^2 x/(R^2 + x^2))/(r + x_t^2 R/(R^2 + x^2))$.

Воспользовавшись (1), оценим параметр Φ^2 в зависимости от ω, ρ, $C_п$ и C_t. Для $Ga\,As$ ($\varepsilon_м = 13{,}1$) при $\omega = 250 \cdot 10^6$ Гц, $h = 5 \cdot 10^{-4}$ м, $d = 20 \cdot 10^{-6}$ м, $\varepsilon = 11$, $C_п = 20 \cdot 10^{-12}$ Ф для $\rho \geqslant 20$ Ом·м $\Phi^2 < 7{,}4 \cdot 10^{-2}$ м, а для Si ($\varepsilon_м = 11{,}9$) при тех же условиях $\Phi^2 < 9 \cdot 10^{-2}$, т. е. значением Φ^2 в (2) можно пренебречь. Тогда

$$I(t) = U_0 \cos(\omega t - \mathrm{arctg}\,\Phi)/(r + x_t^2 R/(R^2 + x^2)). \qquad (3)$$

Это выражение также можно упростить, т. к. при $r = 10$ Ом для $\rho \leqslant 20 \cdot 10^3$ Ом·м r меньше $x_t^2 R/(R^2 + x^2)$ в 17,3 раза. Таким образом, в диапазоне 20...20·10³ Ом·м (3) можно заменить выражением

$$I(t) = [U_0 RC_t^2 \omega^2 + (U_0/R)(C_t/C)^2] \cos(\omega t - \psi), \tag{4}$$

где $\Psi_0 = \operatorname{arctg} \Phi$.

Введем в (4) следующие обозначения:

$$U_0 RC_t^2 = B, \quad (U_0/R)(C_t/C)^2 = P, \quad P\omega_0^2 + P = \Sigma_м.$$

Тогда

$$I(t) = \Sigma_м \cos(\omega t - \psi). \tag{5}$$

Заметим, что в (5) функция Ψ зависит от времени. Однако, относительно первого слагаемого угла $(\omega t - \Psi)$ значению Ψ меняется во времени медленнее (в 10^3 раз) и при этом $0 \leqslant \Phi \leqslant 2 \cdot 10^{-4}$, поэтому Ψ практически можно считать постоянной.

Пусть сигнал ВЧ-генератора частично-модулирован. Как известно [6], если имеется некоторый сигнал (5), а мгновенная частота равна

$$\omega t = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\theta t), \tag{6}$$

где $\Delta\omega$ — девиация частоты, то спектр при $m = \Delta\omega/\theta \ll 1$ можно записать

$$I_{ам}(t) = P \cos(\omega_0 t + mP/2) \cos(\omega_0 + \theta) t - (mP/2 \cos(\omega_0 - \theta) t +$$
$$+ B\omega^2 \cos \omega_0 t - (mB\omega^2/2) \cos(\omega_0 + \theta) t - (mB\omega^2/2) \cos(\omega_0 - \theta) t.$$

Согласно (6) получим

$$I_{ам} = [P + B\omega_0^2(1 + k/2)] \cos \omega_0 t + [mp/2 + mB\omega_0^2 [1/2 + k^2/2 +$$
$$+ k/m)] \cos(\omega_0 + \theta) t + [-mp/2 + mB\omega_0^2 (k/m - 1/2 - k^2/B)] \cos(\omega_0 - \theta) t +$$
$$+ [B\omega_0^2 k^2/4 (1 + 2m/k)] \cos(\omega_0 + 2\theta) t +$$
$$+ [B\omega_0^2 k^2/4 (1 - 2m/k)] \cos(\omega_0 - 2\theta) t + (mB\omega_0^2 k^2/8) \cos(\omega_0 + 3\theta) t =$$
$$= (mB\omega_0^2 k^2/8) \cos(\omega_0 - 3\theta) t,$$

где $k = \Delta\omega/\omega_0$.

Введем обозначения для амплитуд каждого члена полученного ряда:

$$A_1 = P + B\omega_0^2(1 + k/2), \quad A_2 = mp/2 + mB\omega_0^2 [1/2 + k^2/2 + k/m],$$

$$A_3 = -mp/2 + mB\omega_0^2 (k/m - 1/2 - k^2/B), \quad A_4 = B\omega_0^2 k^2/4 (1 + 2m/k),$$

$$A_5 = B\omega_0^2 k^2/4 (1 - 2m/k), \quad A_6 = mB\omega_0^2 k^3/8, \quad A_7 = -mB\omega_0^2 k^3/8,$$

тогда

$$I_{ам} = A_1 \cos(\omega_0 t) + A_2 \cos(\omega_0 + \theta) t + A_3 \cos(\omega_0 - \theta) t +$$
$$+ A_4 \cos(\omega_0 + 2\theta) t + A_5 \cos(\omega_0 - 2\theta) t + A_6 \cos(\omega_0 + 3\theta) t +$$
$$+ A_7 \cos(\omega_0 - 3\theta) t.$$

Легко заметить, что $A_2 + A_3 = 2\omega_0^2 Bk$, $A_4 + A_5 = \omega_0^2 Bk^2/2$, тогда $(A_2 + A_3)^2/(A_4 + A_5)8 = B\omega_0^2$ и $A_1 - (A_2 + A_4)(4 - (A_2 + A_3)^2 (A_4 + A_5)8 = P$.

С учетом (2) окончательно запишем

$$\rho = [2d(A_2 + A_3)^2]/8(A_4 + A_5)/(U_0 C_i^2 \omega_0^2)$$

или

$$\rho = [2dU_0 C_i^2/C^2][A_1 - [A_2 + A_4)4 - (A_3 + A_2)^2(A_4 + A_5)8].$$

Таким образом, получены выражения, в левой части которых находится искомое удельное сопротивление, а в правой—измеряемые величины A, U_0, ω_0, d и с помощью которых можно найти C

$$C = [2U_0 C_i^2 \omega_0^2 (A_2 + A_3)]/(2(A_1 + A_3)/(A_2 + A_3) \times$$

$$\times [A_1 - (A_3 + A_1)4 - (A_2 + A_3)^2 (A_4 + A_3)8]^{1/2}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Брайант, Ганн.* Бесконтактный метод измерения местного удельного сопротивления полупроводниковых материалов // Приборы для научных измерений.—1965.—№ 11.—С. 93—97.
2. *Ягудин Г. Х.* Бесконтактное измерение удельного сопротивления полупроводниковых образцов произвольной геометрии // Электронная техника.—1967.—Сер. II, вып. 2.—С. 129—139.
3. *Мицмото, Нисидзава.* Бесконтактный метод измерения удельного сопротивления пластинок полупроводниковых материалов // Приборы для научных исследований.—1967.—№ 3.—С. 49—55.
4. *Хольм Р.* Электрические контакты.—М.: Изд-во ин. лит., 1961.—464 с.
5. *Бонч-Бруевич А. М.* Радиоэлектроника в экспериментальной физике.—М.: Наука, 1966.—766 с.
6. *Баскаков С. И.* Радиотехнические цепи и сигналы.—М.: Высш. школа, 1988—448 с.

ИРФЭ АН РА

25. XII. 1989

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 3, 1991, с. 136—141

ГИДРАВЛИКА

УДК 532.546

Э. К. МУРАДЯН

ФИЛЬТРАЦИЯ В МНОГОСЛОЙНОЙ ТОЛЩЕ БЕЗ ИНФИЛЬТРАЦИИ ПРИ МАЛЫХ И БОЛЬШИХ ВРЕМЕНАХ ОТКАЧКИ ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ ИЗ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Рассматриваются задачи определения уровня подземных вод в двухслойной гидравлически связанной водоносной толще, разделенной слабоводопроницаемым слоем при различных режимах откачки из водоносных слоев в малых и больших временах без учета инфильтрации поверхностных стоков. Предлагаемые расчетные формулы будут использоваться для определения гидродинамических параметров и подсчета эксплуатационных запасов подземных вод.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.