

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

инж. Димитър Георгиев Тодоров

ПОВИШАВАНЕ НА ТОЧНОСТТА В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛИ И
ГЕНЕРАТОРИ НА ПОСТОЯНЕН ТОК

Научна специалност; 02.20.01

Теория на електронните вериги и електронна схемотехника

ДИ С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на научна степен

"кандидат на техническите науки"

Научен ръководител : проф. Иван Илиев Стоянов

София 1993 г.

ПРЕДГОВОР	1
ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ	3
ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ	4

ГЛАВА ПЪРВА

ОБЗОР, СЪСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА ЕЛЕКТРОИЕТРИЧНАТА ИЗМЕРВАТЕЛНА АПАРАТУРА ЗА ИЗМЕРВАНЕИ ГЕНЕРИРАНЕ НА ПОСТОЯНЕН ТОК 1-1

1.1 Етапи в развитието на електронноизмервателната апаратура измерваща и генерираща малки постоянни токове 1-1

1.2 Съвременни подходи и постигнатите резултати при измерването и генерирането на малки стойности на постоянен ток 1-6

1.3 Основни насоки в развитието на съвременните измервателните уреди за измерване и генериране на малки постоянни токове 1-10

1.4 Цел и задачи на дисертационния труд 1-11

ГЛАВА ВТОРА

ГРЕШКИ И ОГРАНИЧЕНИЯ В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛИ И ГЕНЕРАТОРИ НА ПОСТОЯНЕН ТОК 2-1

2.1. Анализ на систематичните грешките в електрометричните преобразувателите на много малък постоянен ток в напрежение 2-1

2.2. Методи за намаляване на систематичните грешки в електрометричните измервателните преобразователи 2-10

2.3. Анализ на факторите ограничаващи точността в електрометричните генератори на постоянен ток и измервателите на свърхвисокоомни резистори 2-13

2.4. Шумови ограничения в електрометричните измерватели и генератори на много малки постоянни токове 2-15

2.4.1. Шумове с постоянна спектрална плътност на мощността (бял шум) 2-16

2.4.2. Шумове с честотно зависима спектрална плътност на мощността ("розов" шум) 2-18

2.4.3. Допълнителни шумове в електрометричните измерватели на ток	2-20
2.5 Анализ на възможностите за схемотехнично намаляване на "фликер" и "взривните" шумове в електрометричните преобразователи на много малък постоянен ток в напрежение.....	2-23
2.6. Шумов анализ на електрометричен I-V преобразувател.....	2-31
Изводи.....	2-35

ГЛАВА ТРЕТА

АЛГОРИТМИЧНО ПРОГРАМЕН ПОДХОД ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА СИСТЕМАТИЧНИТЕ ГРЕШКИ В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ПРОБРАЗУВАТЕЛИТЕ НА ПОСТОЯНЕН ТОК В НАПРЕЖЕНИЕ.....	3-1
Изводи.....	3-7

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

ЕЛЕКТРОМЕТРИЧЕН ГЕНЕРАТОР НА ПОСТОЯНЕН ТОК И ИЗМЕРВАТЕЛ НА ВИСОКООМНИ РЕЗИСТОРИ.....	4-1
4.1. Електрометричен генератор-измервател на много-малки постоянни токове.....	4-1
4.2. Корекция на адитивната и мултипликативна съставна на грешките в ЕСИМ.....	4-5
Изводи.....	4-13

ГЛАВА ПЕТА

ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ЗА ИЗМЕРВАНЕ И ГЕНЕРИРАНЕ НА ПОСТОЯННИ ТОКОВЕ И ИЗМЕРВАНЕ НА ГОЛЕМИ СЪПРОТИВЛЕНИЯ.	5-1
Изводи -	5-10

ГЛАВА ШЕСТА

ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНА ИЗМЕРВАТЕЛНА АПАРАТУРА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА МАТЕРИАЛИ, ПРИБОРИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	6-1
6.1. Структура и организация на IV/CV измервателя.....	6-1

6.1.1 Измервателна секция.....	6-1
6.1. 2 Цифрова секция.....	6-4
6.1.3. Стимулиращи източници.....	6-6
6.2. Измервателни възможности.....	6-8
6.2.1. Независимо измерване на ток - режим I.....	6-9
6.2.2. I-V режим.....	6-10
6.2.3. C-V режим.....	6-11
6.3. Системна работа на I-V/C-V измервателя.....	6-12
Изводи.....	6-12
ПРИНОСИ.....	7-1
ВНЕДРЯВАНИЯ.....	8-1
ЛИТЕРАТУРА.....	9-1

ПРЕДГОВОР

Съвременното развитие на микроелектрониката и електронно изчислителната техника се основават на непрекъснатото усъвършенстване и използване на нови материали и технологии е процеса на непрекъснатата миниатюризация и повишаване плътността на компа-новката с цел изграждане на свръх големи интегрални схеми <СГИС). Появата и непрекъснатото усъвършенстване на нови материали и технологии, подходящи за изграждане на СГИС с намалена консума-ция, довежда до необходимостта от тяхното окачествяване.

Това наложи в последните години (след 1985) развитието на проблема свързан с измерването и генерирането на малки токове в измервателните обхвати под 10pA с повишени метрологични характе-ристики, свързано с измерване параметрите на новите материали и технологии с цел успешно моделиране при конструиране на СГИС. Точността на моделирането и оценката качествата на използваните материали и технологии, определящи рандемана при производството на СГИС, е в пряка зависимост от точността на измервателния процес при определяне стойностите на параметрите на заложения модел.

Тези изисквания на най-бурно развиващият се клон на световната промишленост - електронната, определят и съвременните изисквания за повишаване на точността и разрешаващата способност на електрометричните измерватели и генератори на постоянен ток работещи в диапазона под 100 pA.

Развитието на микроелектрониката и електронно-изчислителната техника спомогнаха за бързото техническо и метрологично осигуряване на измервателната апаратура. Появяването на микропроцесорите в началото на 70-те години, а по-късно и на микрокомпютрите, довеждат до поврат в измервателната техника, Това се отразява в подобряване на точността, разрешаващата способност на измервателите, в повишаване надеждността, осигуряване стабилност при функционирането им, гъвкавост, пренастройка на измервателната структура, адаптивност и висока степен на автоматизация на измервателния процес .

Вграждането на изчислително средство в измервателните уреди осигурява възможност да се решават сравнително сложни изчислителни и логически задачи свързани с обработката на информацията от измервателния процес на ниво уред, а също така и изграждане на функции за самоконтрол и самодиагностика.

Тези концепции на развитие определят съвременните измервателните уреди като с сложен научен продукт, имащ качествата на автоматизирани измервателни системи, притежаващи определено ниво на "интелект" .

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

АЦП – аналогово цифров преобразувател.

ДУ – диференциален усилвател.

ЕПТУ – електрометричен постояннотоков усилвател.

ЕСИИ – електрометричен стимулиращо измервателен модул.

ЕОУ – електрометричен операционен усилвател.

ЕИАС – електрометрична измервателно стимулираща апаратура.

ИОН – източник на образцово напрежение.

СГИС – свръх големи интегрални схеми.

МДМ – модулация – демодулация.

НМЦ – Национален метрологичен център.

ОЦВ – образцов цифров волтметър.

СИМ – стимулиращо измервателен модул.

ЦАП – цифрово аналогов преобразувател.

ЦСГТ – цифрова стойност на генерирания ток.

MD – "medium" – средно.

LG – "long" – дълго.

Rdg – измервана стойност

RAM – оперативна памет.

ROM – постоянна памет.

SH – "short" – късо

ИЗПОЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ

A - коефициент на усилване на ПТУ

C_p - паразитен или паралелен капацитет ГРЗ

C(t) - автоковарационна Функция.

dV/dt - скорост на нарастване за линейно напрежение [V/s]

F(X) - реална предавателна характеристика.

F_n(X) - номинална предавателна характеристика.

F - коефициент на шум.

I_p - решетъчен ток на електрометрични лампи [A].

I_h - входен поляризиращ ток [A].

I_{io} - входен ток на несиметрия [A]. I_x - измерван ток [A].

I_{rang} - стойност на тока за края на обхвата [A].

I_{vb} - електростатично генериран ток [A].

I_{n p-p} - шумов ток от пик до пик [A].

I_x - изборна стойност на тока [A].

I_{out} - изходен генериран ток [A].

I_{offset} - ток на изместване [A].

K - константа на Болцман 1.38. 10⁻²³ [W.s/°K].

K_p - коефициент на усилване по мощност.

K_n - напрежителен коефициент за високоомни резистори [Ω/V].

l - разрядност на АЦП [bit]

L - разрядност ЦАП [bit]

M - изчислителен коефициент.

p - брой усреднявания.

q - заряд на електрона 1.6021.10⁻¹⁹ [C].

R_i - входно съпротивление [Ω].

R_g - вътрешно съпротивление на източник на ток [Ω].

R_{ном} - номинална стойност на резистор [Ω].

R_{ism} – синфазно входно съпротивление [Ω].

$R_{вхду}$ – входно съпротивление на ДУ [Ω].

$R_{ут}$ – утечно съпротивление [Ω].

R_a – еквивалентно съпротивление на входа на ЕПТУ [Ω].

$R(\tau)$ – автокорелационна функция [$W.s$]

R_{iout} – еквивалентно изходно съпротивление [Ω].

$S_{v,n}(W)$ – средна стойност на спектралната плътност на мощността на еквивалентен генератор на шумово напрежение [$W.s.\Omega$].

$S_{i,n}(W)$ – средна стойност на спектралната плътност на мощността на еквивалентен генератор на шумов ток [$W.s.\Omega$]

$S_s(W)$ – средна спектрална плътност на мощността на "Шотки" шума (С.А)

$S_f(W)$ – средна спектрална плътност на мощността на "фликер" шума [$W.s$].

$S_b(W)$ – средна спектрална плътност на мощността на "взривния" шум [W/Hz].

$S_q(W, T_n)$ – средна спектрална плътност на мощността на флукуациите на повърхностните обемни заряди [$W.s/\Omega$]

S/N – отношение на мощностите на сигнал/шум

$TK_{U_{io}}$ – температурен коефициент на U_{io} [$V/^\circ C$].

TK_{I_b} – температурен коефициент на I_b [$A/^\circ C$].

$TK_{I_{io}}$ – температурен коефициент на I_{io} [$A/^\circ C$].

TK_R – температурен коефициент на резистор [$\Omega /^\circ C$].

T_n – време на наблюдение [s].

T_i – време на интегриране [s].

t_o – време на единичното измерване [s].

U_{io} – входно напрежение на несиметрия [V].

$U_{мадс}$ – измервателен обхват на АЦП [V].

V – средно количество взривни преходи в секунда [брой/ s].

W – $W=2.\pi.f$ текуща кръгова честота [rad/s].

W_f – честота от която започва проявата на "фликер" шума [rad/s].

Θ - температура на физичната среда [oK].

σ - средноквадратично отклонение.

$\delta_{зад}$ - зададена относителна грешка [%].

$\delta_{I_{out}}$ - приведена грешка за генериран ток [%].

$\delta R(t)$ - изменение на съпротивлението на високоомен резистор за срока му на работа [%]

Δ_{adc} - 1 LSB АЦП.

Δ_{dac} - 1 LSB ЦАП.

<ОЦВ> - измерена цифрова стойност от образцов волтметър.

<ADC[Ux]> - измерена цифрова стойност от АЦП.

<DAC> - задавана цифрова стойност на ЦАП.