

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Първият блок в схемата на измервателните преобразуватели са входни стъпала за напрежение и ток за трите фази, които са необходими за нормиране на сигналите.

За напрежителните входове най-често се използват напрежителни трансформатори или резистивни делители. Преобразуването на входните токове в напрежение става с шунтови резистори или токови трансформатори. Вторият вариант има предимството, че осигурява и галванично развързване между входната и измервателната вериги.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Използването на шунтови резистори позволява лесно постигане на точността, но остава въпроса за галваничното развързване от изхода.

Измервателните токови трансформатори са скъпи устройства, особено за точности, по-големи от 0,5%. При тях се предпочитат поевтини трансформатори с електронна компенсация – схемите поддържат “нулева” индукция в магнитопровода. Измерител на тази индукция е или допълнителна намотка или вграден в магнитопровода сензор на Хол. Недостатък е значителното увеличение на консумацията на уреда и отделното захранване е задължително.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

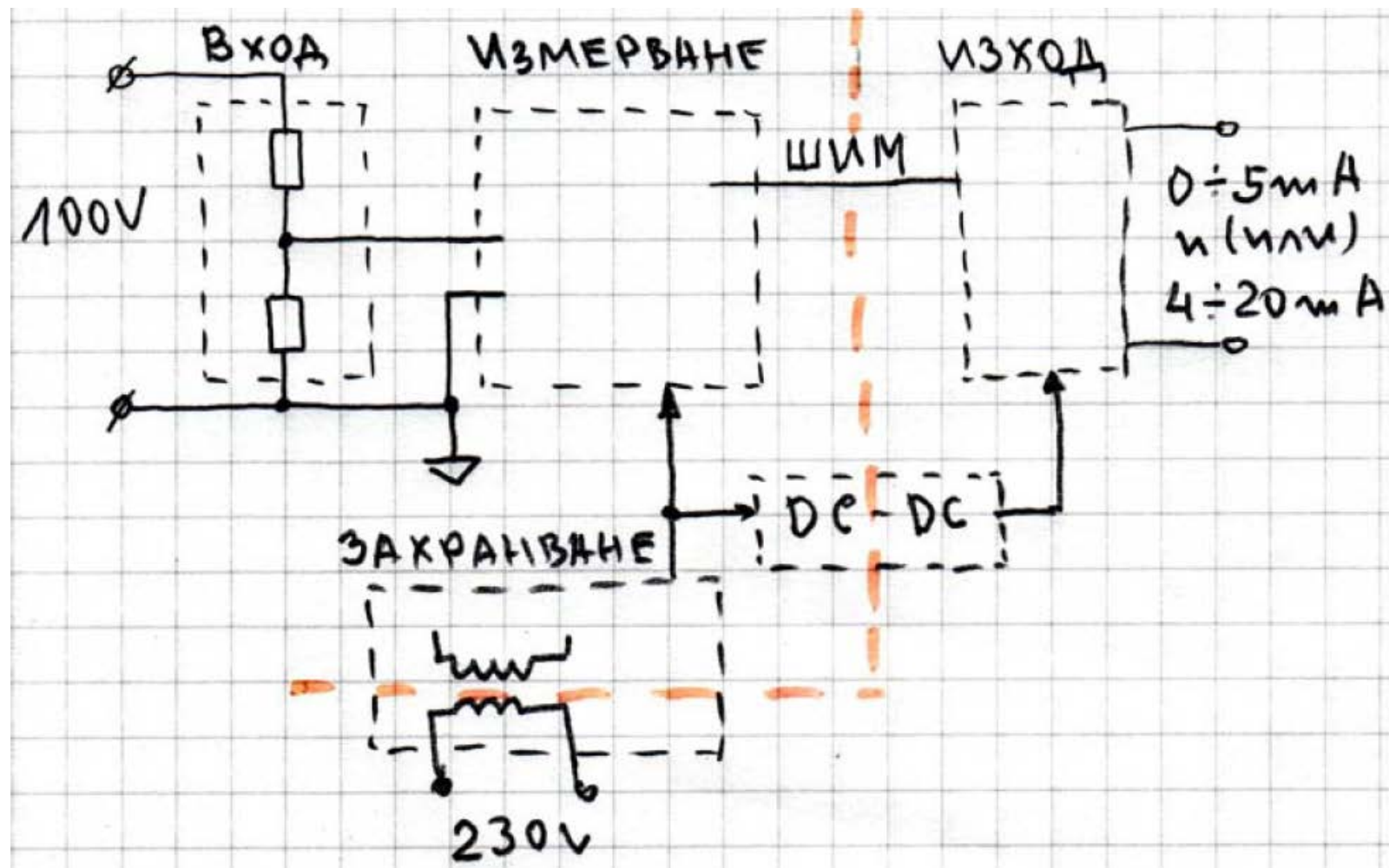
Преобразувателите на напрежение имат входен обхват 100V, токов изход 0-5 mA или 4-20mA, захранване от 230V/AC. В по-редки случаи захранването може да е от акумулаторна батерия 200V. Тези преобразуватели практически винаги са едноелементни, т.е само за едно напрежение, тъй като напрежението на всички фази на трифазната мрежа нормално е равно.

При най-често използваната схема измерваната верига е свързана галванично (с обща маса) с измервателно-управляващия блок.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

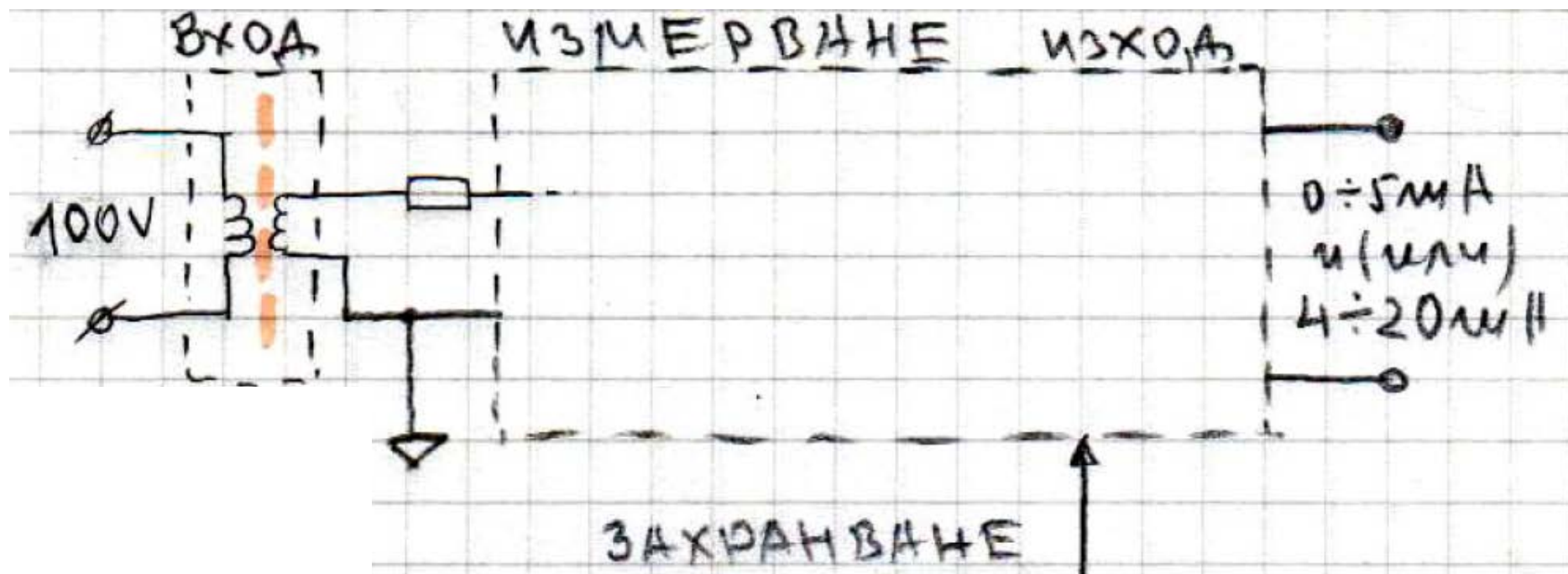
Преобразуватели на напрежение

Изходите са развързани галванично. Захранващият блок осигурява развързването от мрежовото напрежение 230V. Изходите се захранват чрез DC/DC преобразуватели. С пунктир е показана линията на галванично развързване. В захранването развързването е чрез трансформатор. Той може да е мрежов (за 50Hz) или импулсен, ако захранването е ключово (импулсно). При импулсно захранване може да се предвиди отделна намотка за захранване на изходите.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение



Сравнително рядко във входната верига на преобразуватели за напрежение се ползва трансформатор. Тогава не се налага изходите да са развързани от измервателния блок.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

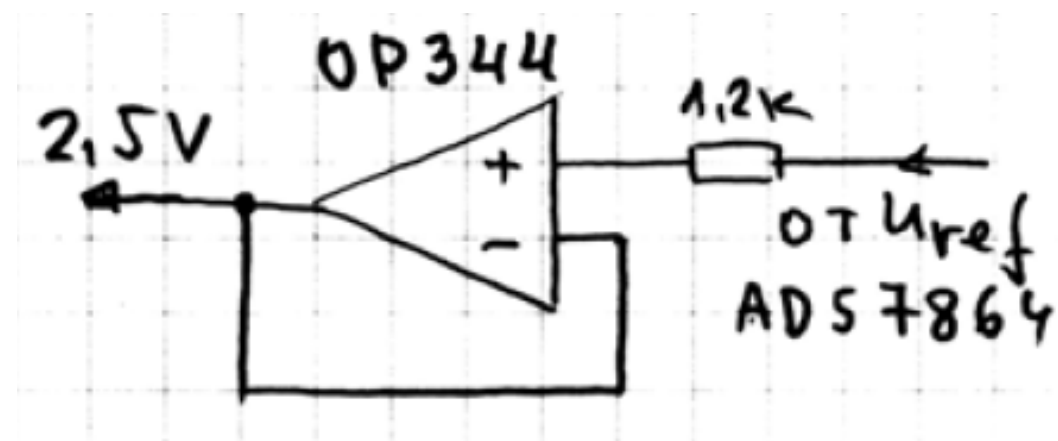
Входното съпротивление на входовете за напрежение трябва да е по-голямо от $500\Omega / V$. Входните сигнали са променливотокови и имат положителни и отрицателни стойности спрямо общия проводник. При еднополярно захранване се прави изкуствена "0". В следващия пример за тази цел се използва опорното напрежение на АЦП със стойност $2,5V$. То се буферира с прецизен операционен усилвател ОР344 и цялата схема се изгражда, като това напрежение се приема като средна точка (аналогично на нулата при схеми с двуполярно захранване).

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

Средната стойност на входните сигнали, тъй като са променливотокови, е нула. Дори и напрежението на изкуствената нула да се променя (дрейф) това няма да се отрази на точността защото средната стойност се изчислява при всеки цикъл на измерване.



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

За изчисляване на входния делител са необходими параметрите на входната верига на преобразувателя – амплитуда и входно съпротивление. Амплитудата се определя от опорното напрежение – в случая 2,5V. Максималната амплитуда на линейното напрежение в подстанциите е **120V (100 + 20%). $\sqrt{2} = 170V$** . Тогава за фазното напрежение се получава **$U_{\phi} = U_{л}/\sqrt{3}$** , което е приблизително **100V**. Така за входния делител се получава коефициент на деление **100 / 2,5 = 40**.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

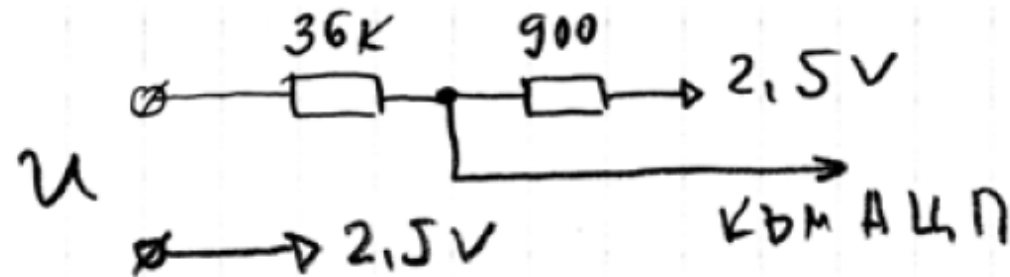
Този делител може да се получи от безкраен брой стойности. Изборът се прави според зададената стойност на входното съпротивление на уреда. В случая тя трябва да е по-голяма от 500Ω на волт, от което се изчислява **$57,7.500 = 28,75k$** . Обикновено, при такива приложения се избира по-голяма, но близка до тази стойност защото колкото входното съпротивление е по-малко, толкова схемата е по-устойчива на смущения.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

За входен резистор е избрана стойност 36k, следователно вторият резистор трябва да има стойност 900Ω.

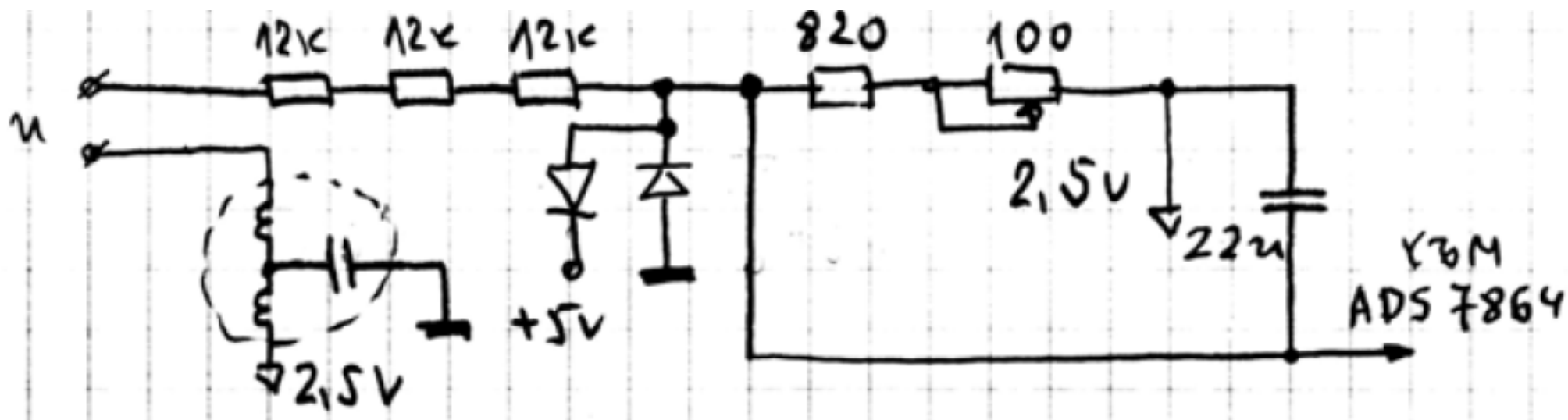


На практическата схема се вижда, че входният резистор е съставен от три резистора по 12k. Това не е случайно. Мощността която се отделя върху резисторите е около 150mW. Тази мощност не е по-голяма от допустимата за един резистор, но е по-добре резисторите да се загряват по-малко. Така промените на стойността от температурата са по-малки.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение



Вторият резистор може да се донастройва с тример за точно задаване на коефициента на входния делител (за компенсирание на толерансите).

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на напрежение

Освен това на входа има два диода за предпазване от пренапрежения и филтров кондензатор (22nF). Филтърът предпазва от високочестотни смущения и грешки от огледални честоти (anti-aliasing filter).

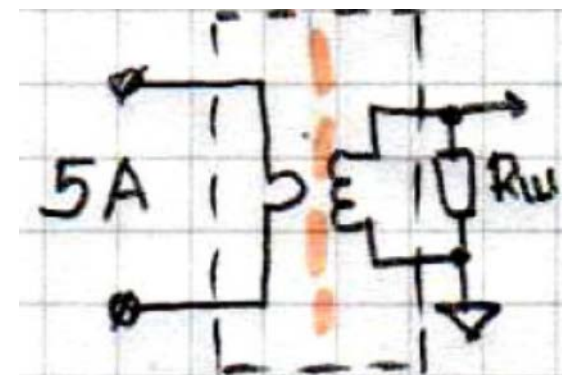
Нулевият проводник ($2,5\text{V}$) е свързан към общия проводник през филтър подтискащ високочестотни смущения (заграден с пунктир).

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на ток

За преобразувател на ток може да се използва същата схема като се смени входната верига. Разликата е най-вече в трансформатора – брой навивки, вид и размери на магнитопровода. В принципната схема също има разлика – в стойностите на елементите и защитите. Във вторичната намотка на трансформатора задължително трябва да има шунт – **Rш**.



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на ток

В схемата на преобразувател на ток може да се използва шунт вместо трансформатор. Блоковата схема е подобна на схемата за измерване на напрежение, като вместо входния делител се поставя шунт и защитен резистор. В този случай галваничното развързване се прави в изходите.

При използването на шунтови резистори трябва да се отчита разсейваната мощност. Напрежението върху шунтовете е стандартизирано и е от 10 до 60 mV. При ток 5A се получават 300 mW. Затова при измерване на големи токове се предпочитат токови трансформатори.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на ток

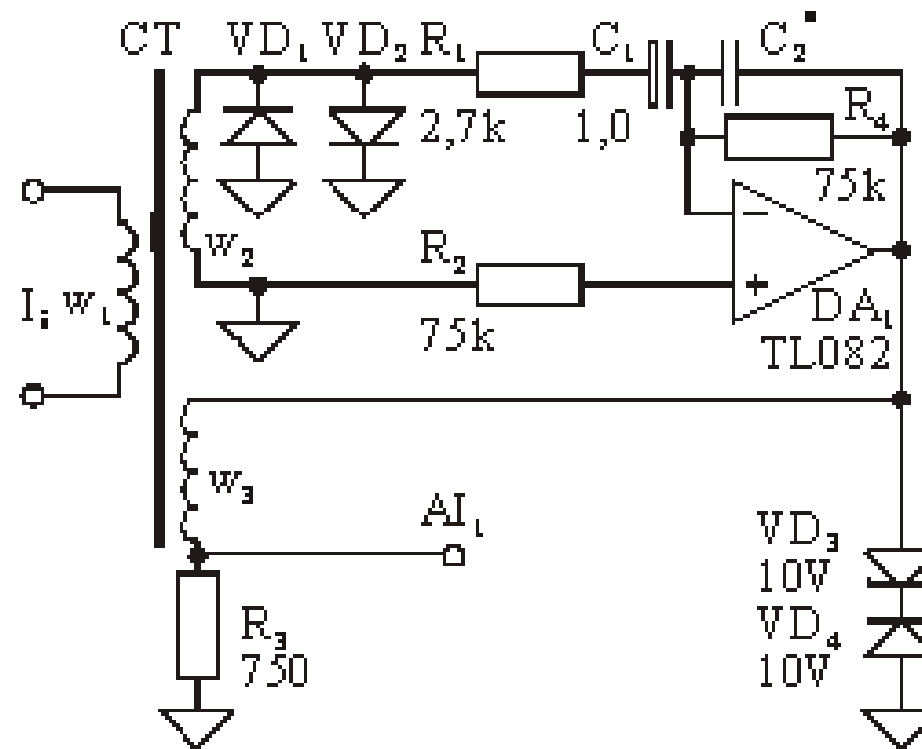
Следващият пример е на преобразувател на ток в напрежение, в който се използва токов трансформатор, включен в активна компенсационна схема. Токовият трансформатор СТ има две еднакви вторични намотки като преводното отношение е $1:1000$. Предназначението на схемата е да генерира същия магнитен поток като в първичната намотка. В този случай напрежението във вторичната намотка w_2 ще бъде равно на нула и изходният ток през вторичната намотка w_3 ще бъде 1000 пъти по-малък от входния ток.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на ток

Напрежителният сигнал върху резистора R_3 е пропорционален на входния ток. Схемата е предвидена за номинална стойност на тока 5А и осигурява много добра линейност.



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

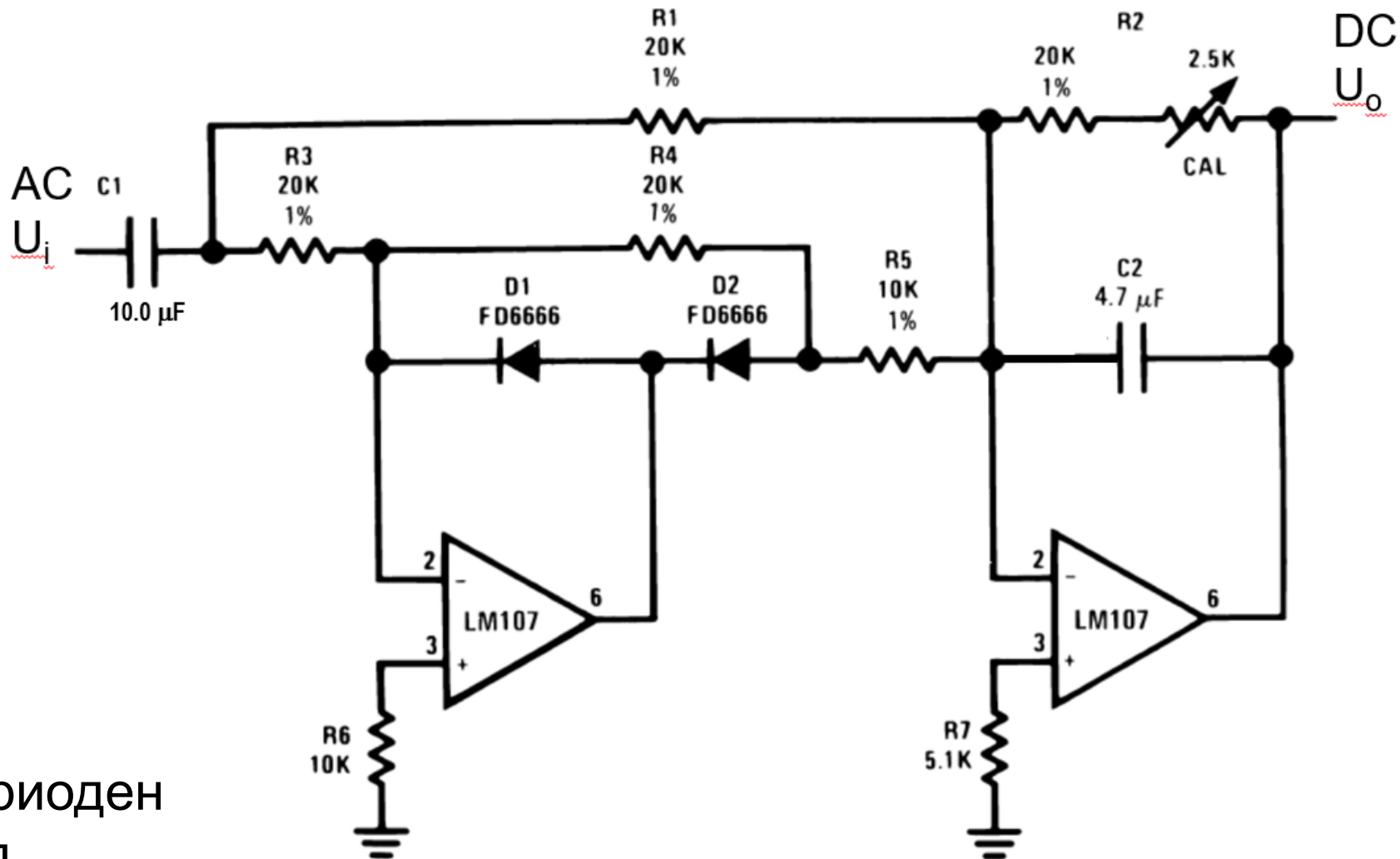
За еднофазни преобразуватели на средна стойност или истинска ефективна стойност на ток се използват няколко различни подхода.

Когато формата на напрежението и тока е близка до синусоидалната се използват прости схеми на преобразуватели (изправители) за средна стойност, които са настроени да показват ефективна стойност. Това е приложимо в близост до генераторите.

Средната стойност се преобразува в изходна величина – ток или напрежение чрез типови схеми с операционни усилватели.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

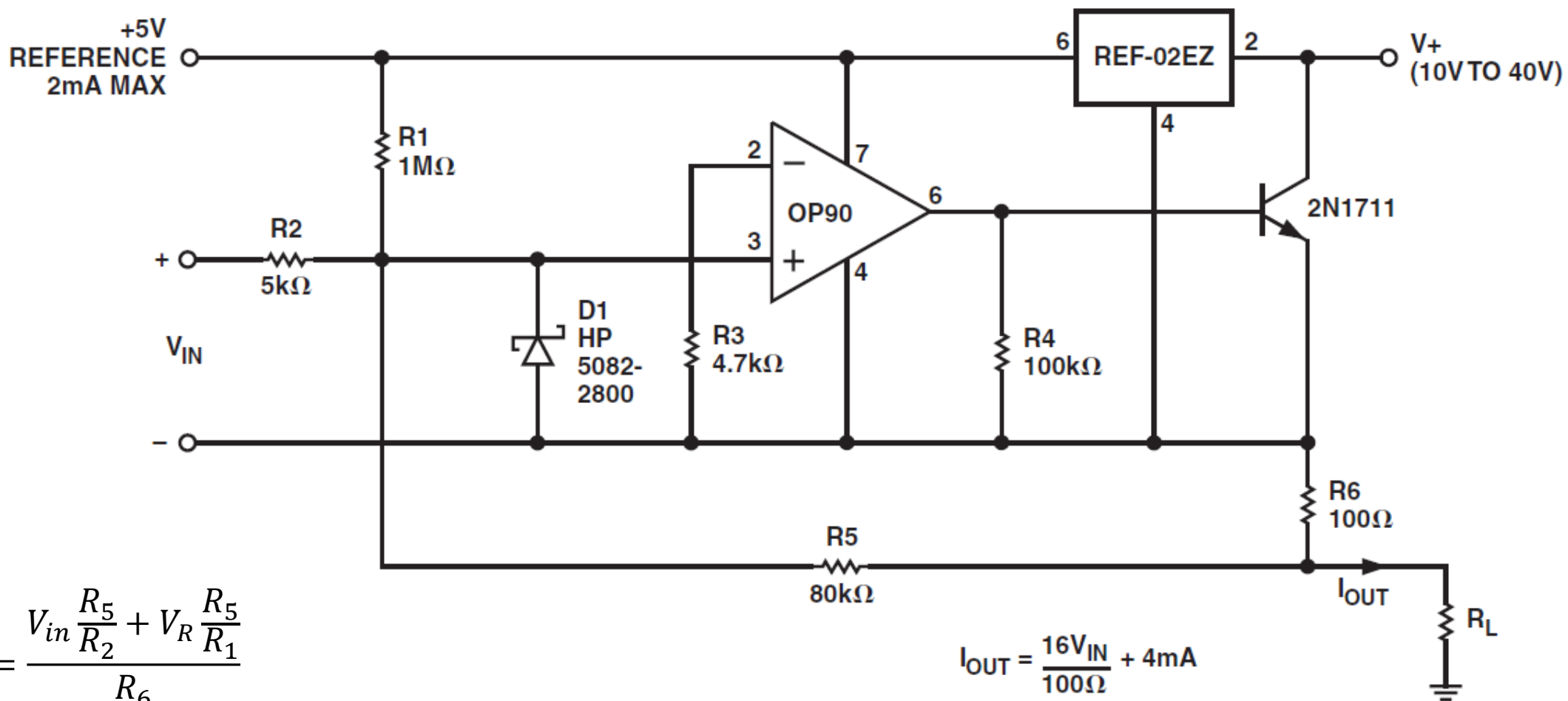


Прецизен
двуполупериоден
изправител

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

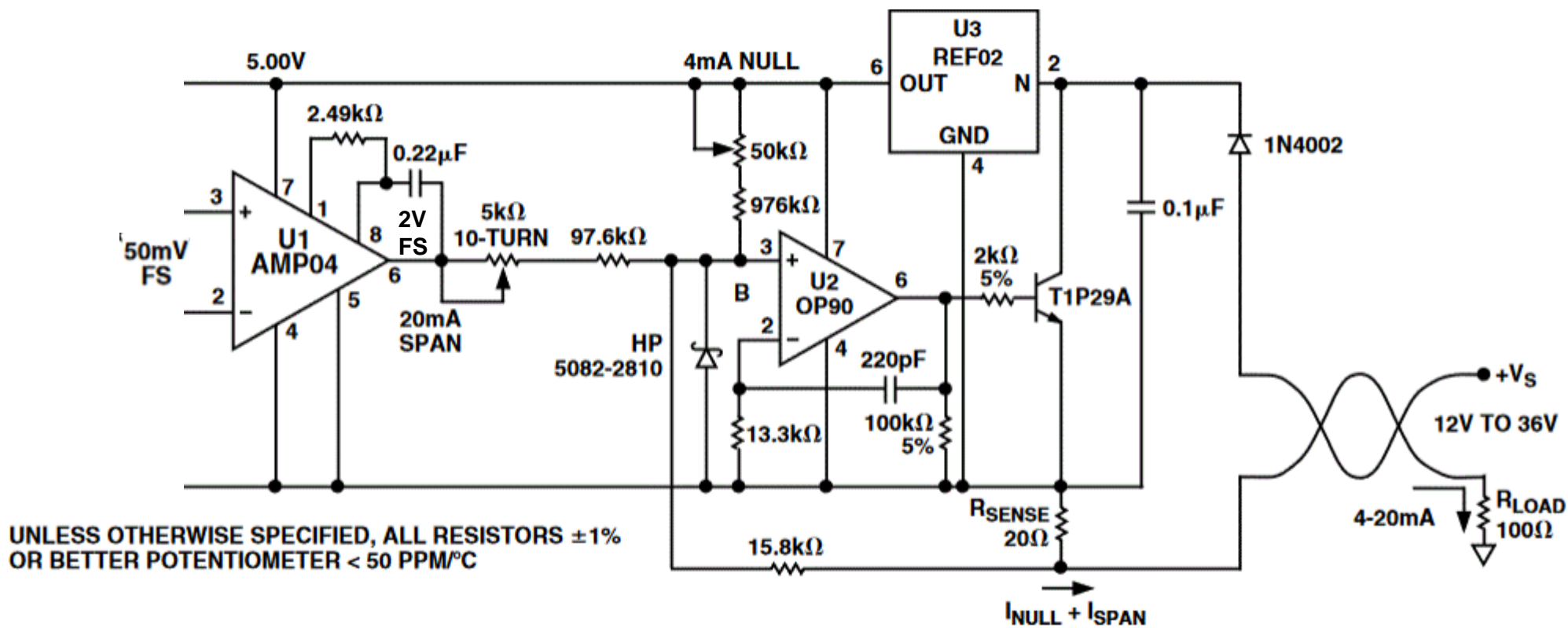
Исходни преобразуватели 4-20mA



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

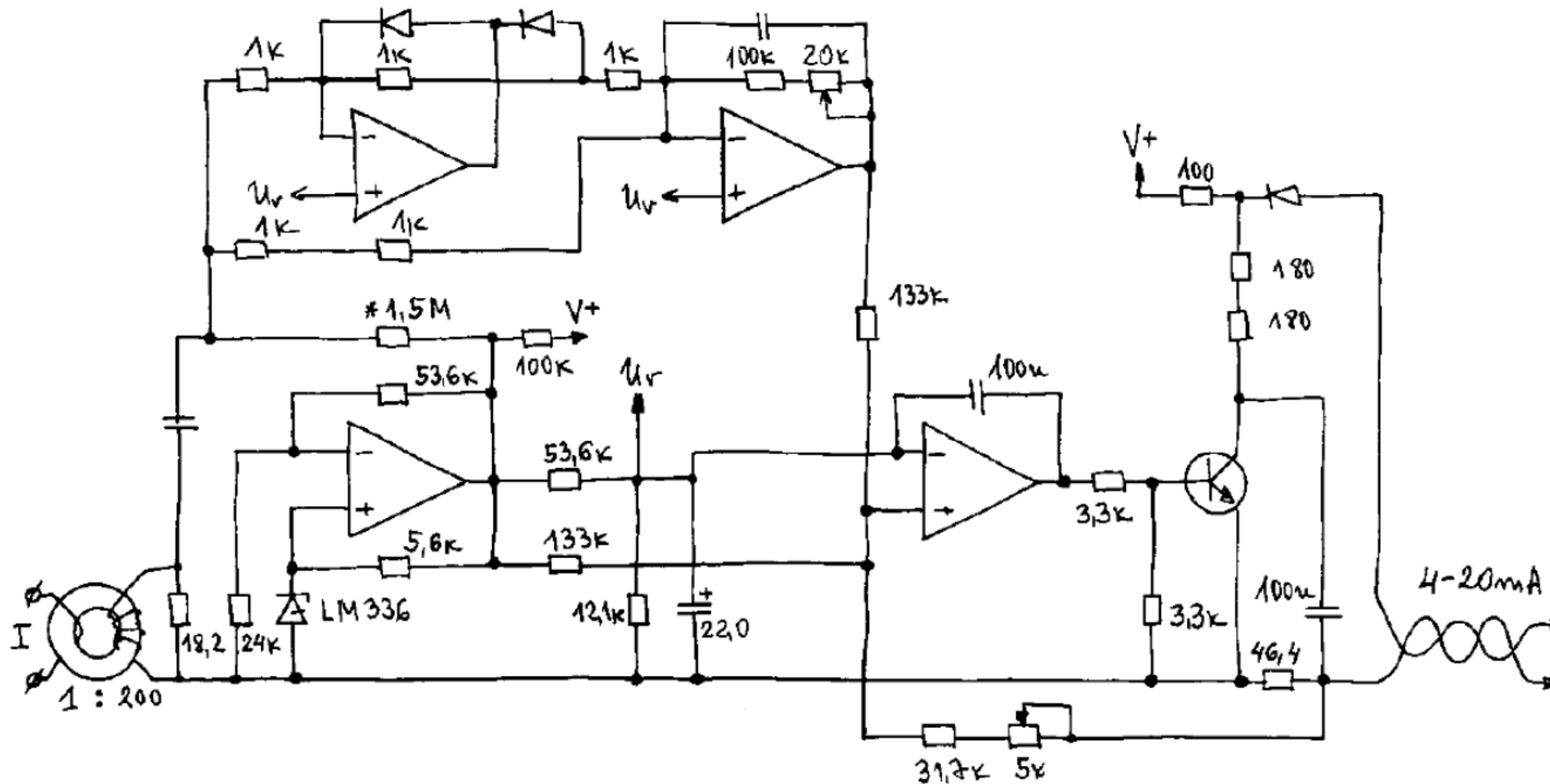
Изходни преобразуватели 4-20mA



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на ток



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Преобразуватели на ток

Входният ток е 1А, а изходният е по стандарта 4-20mA. Използва се една схема на четворен ОУ тип LM324. Два ОУ (в горната част на схемата) се използват като двуполупериоден изправител. Единият от останалите - като опорен източник, а другият - в изхода (заедно с транзистора) като генератор на ток. С двата потенциометъра се настройват наклона и нулата (4mA) на характеристиката на уреда. Точността е 1%. Изправителят е за средна (не е true RMS) стойност. Захранването е по токовата връзка 4-20mA, а галваничното развързване е с трансформатора 1:200.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

За измерване на истинска ефективна стойност на напрежението и тока може да се използват интегрални схеми на преобразуватели true rms-to-dc converter или програмно изчисление, което се прилага върху моментните стойности на сигнала, снети от аналогово-цифров преобразувател.

Типичен представител на true rms-to-dc преобразувателите е AD736 – прецизна монолитна ИС с ниска консумация. Тя запазва висока точност при измерване на входни сигнали с различна форма.

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Истинската ефективна стойност на напрежителен сигнал, който в общия случай е неперiodичен, се изчислява с израза:

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [U(t)^2] dt} , \quad (1)$$

където U_{RMS} е истинската ефективна стойност на напрежението, T е времето за измерване и $U(t)$ са моментните стойности във времето.

След повдигане двете страни на уравнение 1 на квадрат се получава:

$$U_{RMS}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [U(t)^2] dt . \quad (2)$$

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели

Интегрирането може да се апроксимира чрез усредняване:

$$Avg[U(t)^2] = \frac{1}{T} \int_0^T [U(t)^2] dt . \quad (3)$$

Тогава уравнение 2 придобива вида:

$$U_{RMS}^2 = Avg[U(t)^2] . \quad (4)$$

След разделяне на двете страни на U_{RMS} се получава:

$$U_{RMS} = \frac{Avg[U(t)^2]}{U_{RMS}} . \quad (5)$$

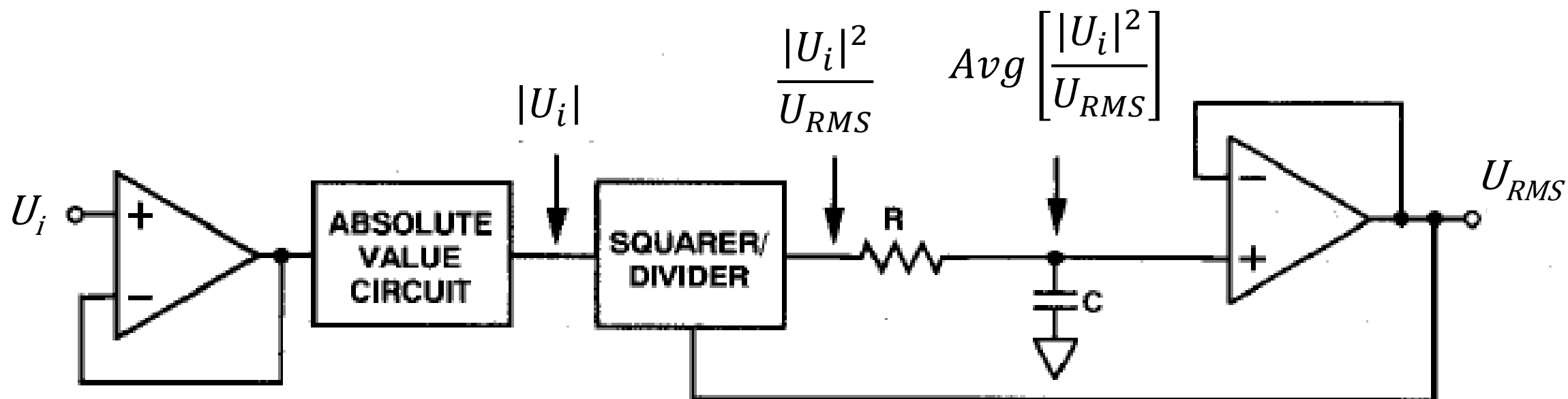
Определянето на квадратен корен на двете страни на уравнение 4 дава друго изразяване на истинската ефективна стойност:

$$U_{RMS} = \sqrt{Avg[U(t)^2]} . \quad (6)$$

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

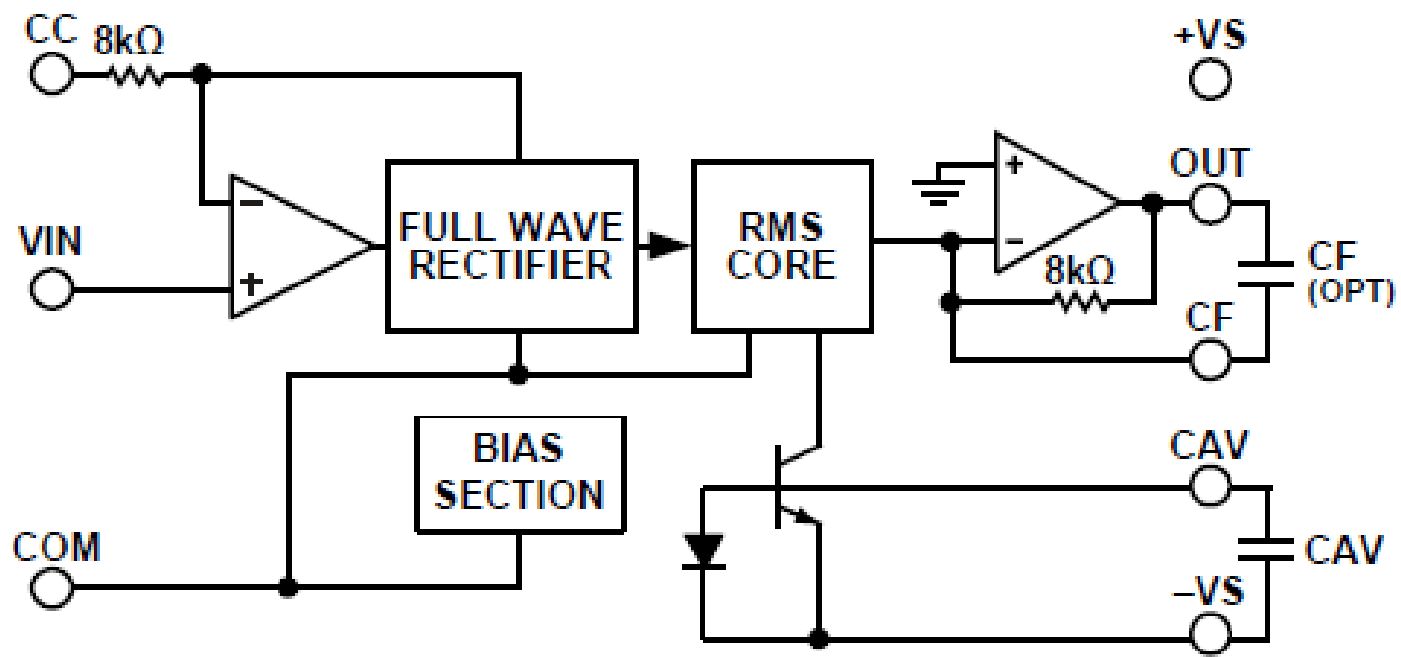
Схемотехника на измервателни преобразуватели

Уравнение 5 е основата на метода на Analog Devices за реализиране на true rms-to-dc преобразувателите.



Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

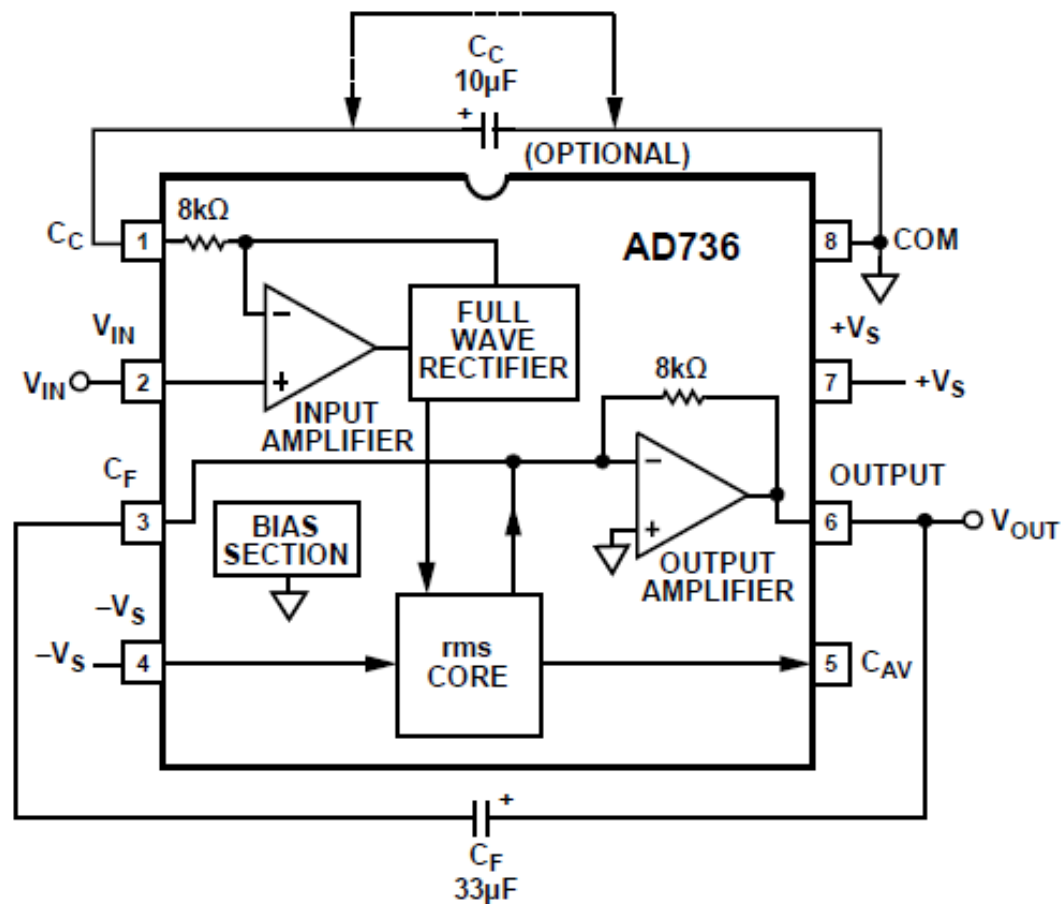
Схемотехника на измервателни преобразуватели



Функционална блокова схема на AD736

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

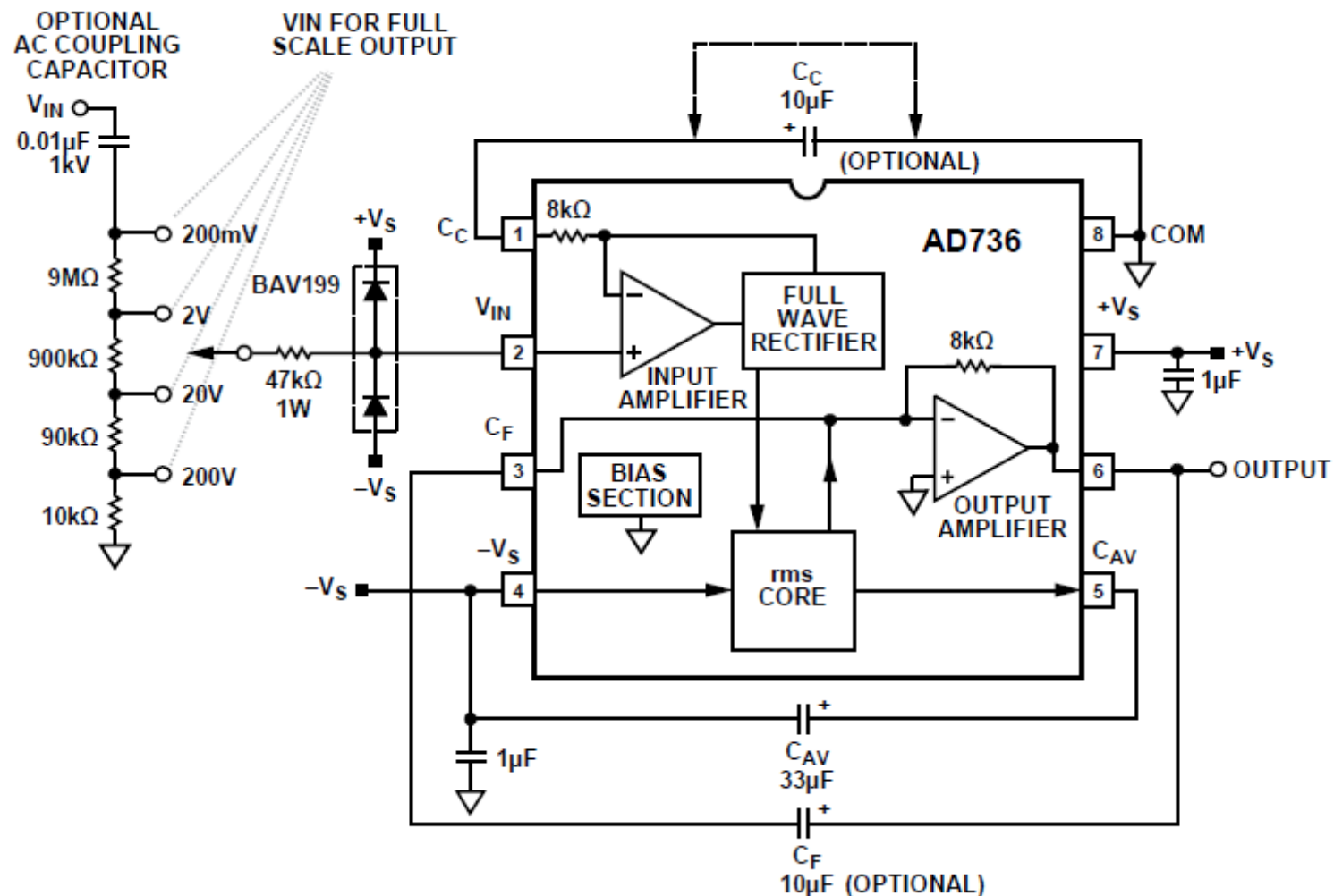
Схемотехника на измервателни преобразуватели



Свързване на AD736 като преобразувател на средна стойност

Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Схемотехника на измервателни преобразуватели



Свързване на AD736 като преобразувател на истинска ефективна стойност