

КОМПЕНСИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТРИЛЕНТОВА ВИСОКОГОВОРИТЕЛНА СИСТЕМА

Екатеринослав Събев Сираков

Георги Костадинов Евстатиев

ВМЕИ - Варна

Всички съвременни висококачествени акустични системи са съставени от няколко високоговорителя всеки от които работят в определен честотен диапазон.

Високоговорителните системи остават най-несвършената и същевременно са най-важната част от аудиосистемите.

При анализа на фазовата и импедансната характеристика на една високоговорителна система може да се констатира:

- модулът на импеданса в честотния диапазон често се променя до 2 - 5 и повече пъти от номиналната стойност.

- фазовата разлика между напрежението и тока от усилвателя на мощност също често се променя в границите 45 - 90 градуса.

Реактивната съставлява на модула на електрическия импеданс ограничава на практика няколкократно пълното използване на усилвателя на мощност, увеличават се нелинейните изкривявания, влошава се качеството на аудиосигнала.

За разширяване на честотния диапазон на акустичните системи, за намаляване на интермодулационните изкривявания и намаляване на доплеровите честотни съставлящи обикновено в практиката се е наложила трилентовата високоговорителна система.

Целта на работата е компенсиране на модула на електрическия импеданс до номиналната стойност в целия честотен диапазон и синфазност на тока и напрежението от усилвателя на мощност (без фазова разлика) при подходящ коефициент Q при трилентова високоговорителна система.

За разпределение на енергията на звуковия сигнал се използват пасивни RLC електрически филтри. Това са електрически вериги, които имат избирателни свойства по отношение на честотата на сигнала. Изполваните разделителни филтри за обичайни тела се различават от филтрите, използвани в радио и телевизионната техника - те разделят честотен сигнал, който имат сравнително голяма мощност в честотния диапазон от 20 Hz до 20 kHz.

С цел получаване на равномерна АЧХ на звуковото налягане при трилентовата високोगоворителна система при подходящ коеф. Q и номинална стойност на импеданса в целия честотен диапазон и симфазност на тока и напрежението от усилвателя на мощност е предложено решение на проблема математически.

В работата се предлагат оригинални математически зависимости.

За потвърждаване на теоретичния анализ са дадени компютърна симулация и реална практическа реализация.

На Фиг.1 е показан разделителен филтър от първи ред за трилентова озвучителна система.

Импедансът на нискочестотния, средночестотния и високочестотния филтър е:

$$Z_1 = j\omega L_1 + R_1 ; Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2 + R_2 ; Z_3 = \frac{1}{j\omega C_3} + R_3 \quad (1)$$

При извеждане на формулите е прието, че високочестотните имат номинален импеданс и той е само активен [2, 5 и др.]

Фиг.3 след подходяща компенсация Фиг.2.

Входният импеданс на озвучителната система е:

$$\frac{1}{Z_{in}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{R} \quad (2)$$

След заместване получаваме:

$$Z_{in} = \frac{(j\omega L_1 + R_1) \left(\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2 + R_2 \right) \left(\frac{1}{j\omega C_3} + R_3 \right)}{\left(\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2 + R_2 \right) \left(\frac{1}{j\omega C_3} + R_3 \right) + (j\omega L_1 + R_1) \left(\frac{1}{j\omega C_3} + R_3 \right) + (j\omega L_1 + R_1) \left(\frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2 + R_2 \right)} \quad (3)$$

Представяме компонентите на трилентовия филтър посредством параметъра Qi, ωi и номиналния импеданс на съответния високочестотен (4) и заместваме в (3):

$$L_1 = \frac{R_1}{\omega_1 Q_1} ; L_2 = \frac{R_2}{\omega_2 Q_2} ; C_2 = \frac{Q_2}{\omega_1 R_2} ; C_4 = \frac{Q_3}{\omega_2 R_3} \quad (4)$$

Полагаме: $R_1 = k * R_2 = R_3 = R$, $0.2 < k < 0.99$

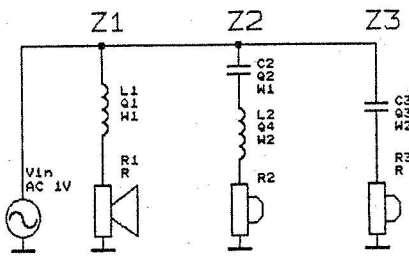
$$\omega_2 / \omega_1 = n, \quad 2 < n < 50 \quad (5)$$

След подходящи преобразувания получаваме системата от уравнения (8):

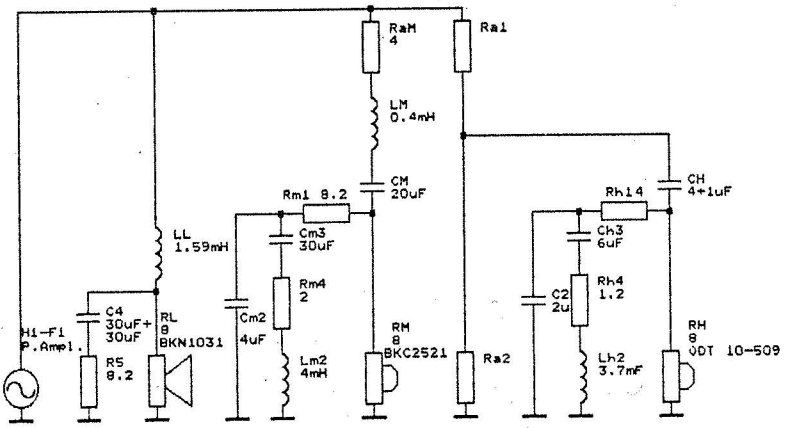
$$\frac{n}{Q_1 Q_3} = \frac{n \cdot k}{Q_1 Q_3} + k + 1$$

$$\frac{n}{Q_1 Q_2 Q_3} = \frac{1}{Q_2} + \frac{n \cdot k}{Q_3} ; \frac{1}{Q_1 Q_3 Q_4} = \frac{1}{n Q_4} + \frac{k}{Q_1} \quad (6)$$

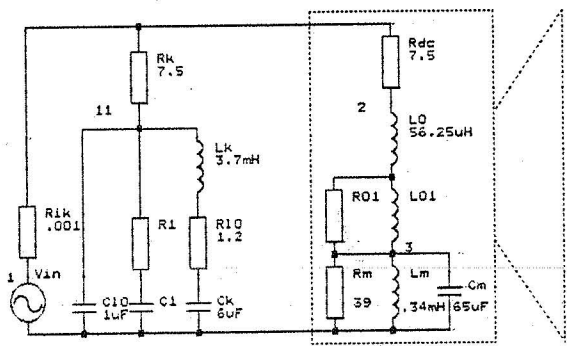
Една примерна реализация на трилентова озвучителна система е дадена на Фиг.2 при :



Part 1



Part 2



Part 3

FIG_4_1.sch
FIG_4_11.sch

$$f_1 = 800 \text{ Hz}, f_2 = 4 \text{ kHz}, f_1/f_2 = 5, k = 2/3, Q_1 = Q_2 = 1$$

$$Q_3 = Q_4 = Q = 12/10 = 1.2 \quad (7)$$

Резултатите от компютарния анализ на съответните характеристики при реалните стойности на компонентите определени от (6) и (7) са както следва: АЧХ – Фиг.4, ФЧХ – Фиг.5, изходна мощност – Фиг.6 и импедансна характеристика – Фиг.7.

От основното уравнение (2) за входния импеданс търсим математически зависимости за компонентите на средночестотната част при активен входен импеданс.

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R} - \frac{1}{Z_1} - \frac{1}{Z_3} \quad (8)$$

След заместване и математически преобразувания получаваме формулата (9), която определя конфигурацията на средночестотната част (10):

$$Z_2 = R \frac{\frac{L_1}{C_3} + R^2}{\frac{L_1}{C_3} - R^2} + \frac{1}{j\omega(\frac{L_1}{R^2} - C_3)} + \frac{j\omega}{\frac{1}{C_3 R^2} - \frac{1}{L_1}} \quad (9)$$

$$Z_2 = R_2 + \frac{1}{j\omega \cdot C_2} + j\omega \cdot L_2 \quad (10)$$

От уравненията (9) и (10) изразяваме компонентите на средночестотната част чрез следните математични зависимости:

$$R_2 = R \cdot \frac{\frac{L_1}{C_3} + R^2}{\frac{L_1}{C_3} - R^2} = R \cdot \frac{\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{1}{Q_1 Q_3} + 1}{\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{1}{Q_1 Q_3} - 1}$$

$$L_2 = \frac{1}{\frac{1}{C_3 R^2} - \frac{1}{L_1}} = \frac{1}{\frac{\omega_2}{\omega_1 R} - \frac{\omega_1 Q_1}{R}}$$

$$C_2 = \frac{L_1}{R^2} - C_3 = \frac{1}{\omega_1 Q_1 R} - \frac{Q_3}{\omega_2 R} \quad (11)$$

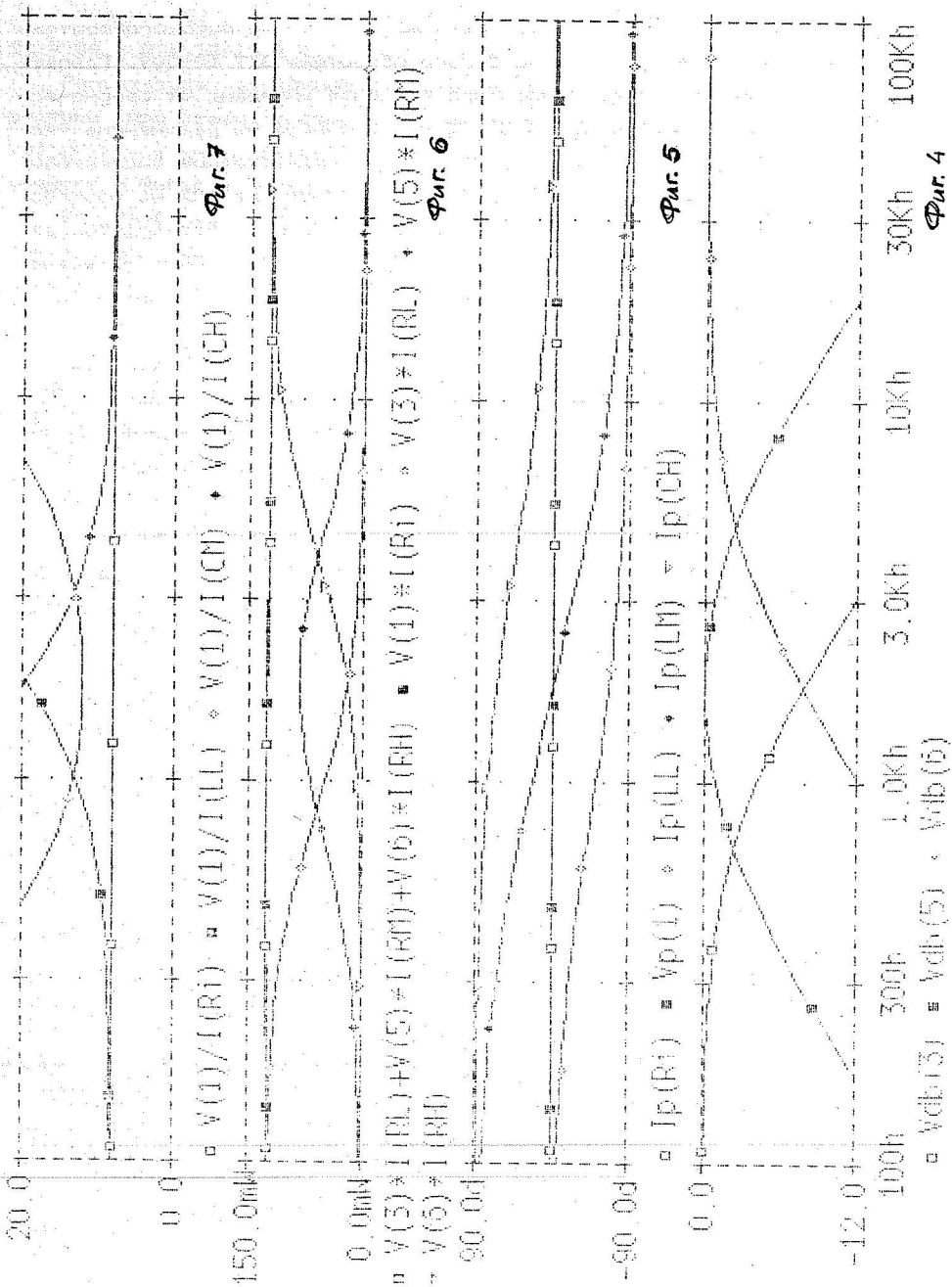
При практическата реализация бобината LL с индуктивност 1.59mH е филтър за нискочестотния електродинамичен високоговорител ВКН1031 с номинален импеданс 8 ома. Бобината LM с индуктивност 0.4mH, кондензатора CM с капацитет 20uF и резистора RaM със съпротивление 4 ома са филтъра за средночестотния високоговорител ВКС2521 с номинален импеданс 8 ома. Кондензатора CN с капацитет 4+1 uF са филтър за високочестотния високоговорител ОДТ 10-509. Групата C4, R5 компенсира индуктивността на

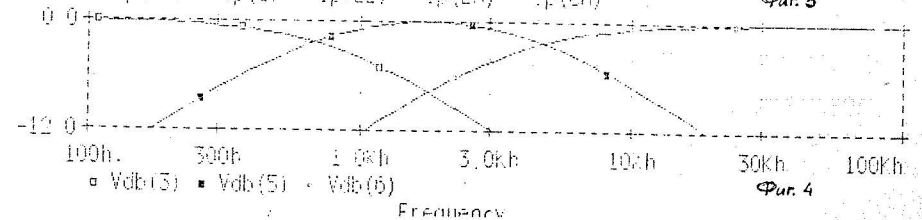
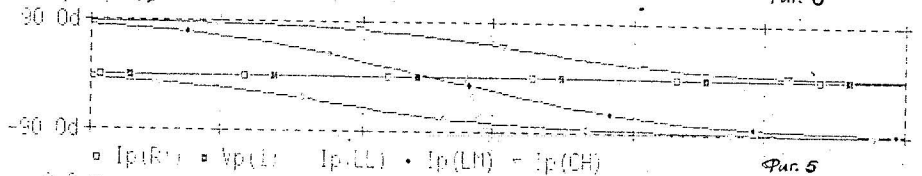
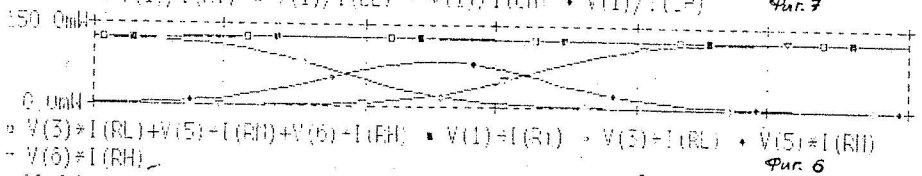
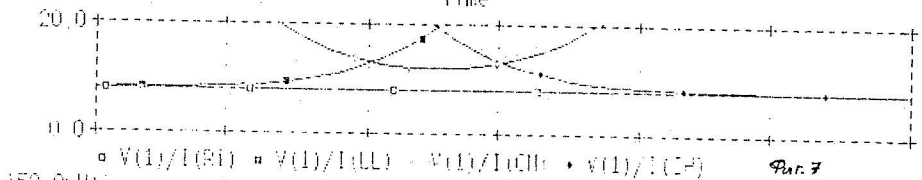
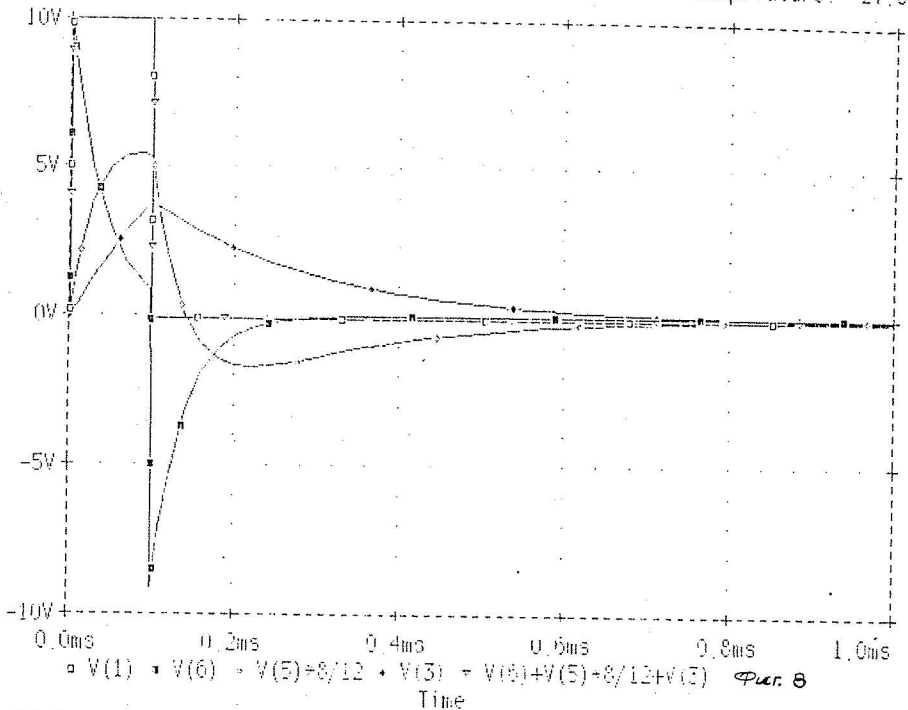
високоговорителя ВКН1031, R_{m1} , C_{m2} - на високоговорителя ВКН2521, а R_{h14} , C_2 - на високоговорителя ОДТ 10-509. Групата C_{m3} , L_{m2} , R_{m4} и R_{m1} компенсира внесенния импеданс от средночестотния високоговорител ВКН2521 на основната му резонансна честота, а C_{h3} , L_{h2} , R_{h4} и R_{h14} - за високочестотния високоговорител ОДТ 10-509. За осигуряване на равномерна АЧХ на звуковото налягане се използва атенюатора реализиран посредством резисторите R_{a1} и R_{a2} [4] компенсиращ производствения толеранс. Аналогичен атенюатор може да се наложи да се използва и за средночестотния високоговорител.

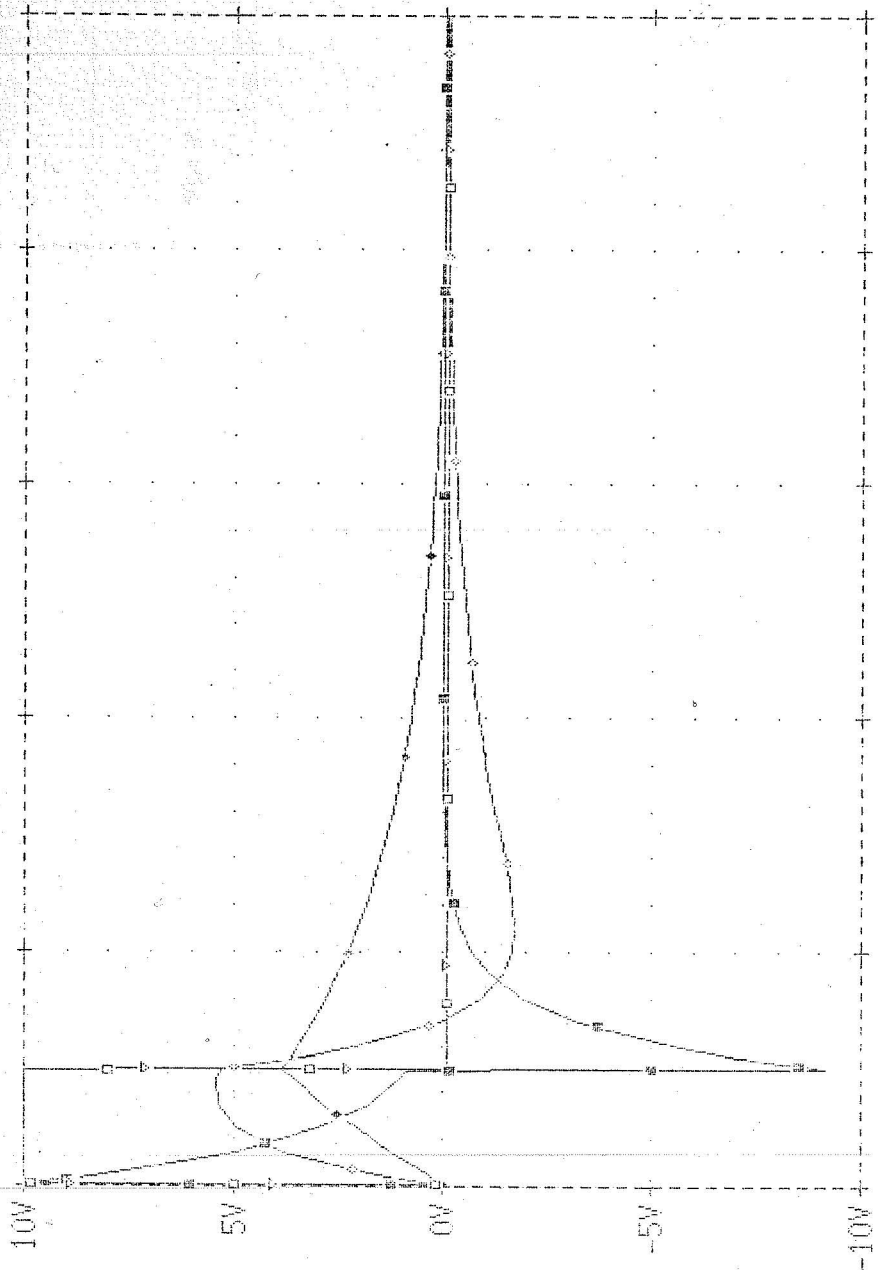
Получените резултати за импедансната характеристика са в съответствие с компютърния анализ. Отклоненията за R_{in} 5-10% са следствие избора на стандартни стойности за кондензаторите и т.н. Същото може да се каже и за фазата на изходния ток - той е синфазен спрямо изходното напрежение от усилвателя на мощност в целия честотен диапазон. При реалния експеримент има слабо изразен пик в импедансната характеристика на озвучителното тяло следствие на не дотам успешните мерки за акустическо демфиране.

Литература:

1. Keywood Noel "A new technology-Noel Keywood tests Audax's high technology high definition Aerogel drive units." Hi-Fi world supplement, December 1994.
2. Евстатиев Г.К., Ек.С. Сираков "Компенсация на електрическия импеданс на електродинамичен високоговорител" Дни на науката-Варна '94.
3. Полянев Д.Ф. "Конструиране на озвучителни тела", София, издателство "Техника", 84.
4. Алдошина И.А., А.Г. Войшибилло "Высококачественные акустические системы и излучатели", Москва, Радио и связь, 1985.
5. Сираков Ек.С., Г.К. Евстатиев "Компенсация на електрическите характеристики на двулентова високоговорителна система", Трета Национална Научно-приложна конференция "ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА '94" с международно участие, гр. Сопот, 1994г.
6. Ибанов Др. Ал., М. Хр. Драгодиноба "Высококачественные транзисторные низкочастотные усилители" Държавно издателство "Техника" София 1970г.







COMPENSATION ELECTRIC CHARACTERISTICS OF THREE-WAY SPEAKER SYSTEM

E.S.Sirakov, G.K.Evstatiev, Technical University, Varna

The up to today high quality acoustic systems consist of a few speakers, each one of which works in his frequency range.

Speaker system remains most imperfect and at the same time most important part of audiosystems.

Analyzing phase and impedance response of speaker system it is obvious that: - Impedance in frequency range is changing very often from two to five and more times in comparison with nominal impedance, - Phase shift between voltage and current from power amplifier reaches 45 - 90 degrees.

The reactive component of the entrance impedance of speaker system restricts many times the whole use of power level, harmonic distortions increase, the quality of audio signal worsens. In order to enlarge frequency range of acoustic systems, to decrease the intermodulation distortion and to decrease the dopler frequency components in practice is used the tree-way loadspeaker system.

The purpose of this work is the compensation of electricity impedance to nominal value in whole frequency range and in face of current and voltage of the power amplifier. For distribution of audiosygnal energy is used passive RLC crossover network of tree-way speaker system. These are electric circuits, which have selective quality towards the frequency of signal. The crossover network which are used for loadspeaker systems are different from filters, which are used in radio and television system. They devide frequency sygnals, which have comperatively high power in frequency range from 20 Hz - 20 kHz. In order to recieve constant frequency response of acoustic level in tree-way loadspeaker system with suitable coefficient Q and nominal quality of impedance in whole frequency range and in face of current and voltage of the power amplifier it is suggested mathematical conclusion of the problem.

In the work are revealed original mathematical design /formulas/. In order to confirm the theory computer simulation and practical realization are added.