

FLÄCHEN STRAHLER

Elektrostatische Lautsprechermodule von Capaciti

Mit den Elektrostaten-Modulen ESW-80/14 und ESW-80/23 gibt die in der Nähe von Karlsruhe beheimatete Firma Capaciti dem Lautsprecherhobbyisten zwei Schallwandler an die Hand, die die Realisierung von Lautsprechern mit elektrostatischem Flächenstrahler für den Mittelhochtonbereich ermöglichen. HOBBY HiFi prüfte beide Module.

Im Prinzip sind elektrostatische Lautsprecher viel einfacher gebaut als die weit verbreiteten dynamischen Wandler: Ein fest stehendes und ein bewegliches Flächenelement – Stator und Membran – bilden die Elektroden eines Kondensators. Eine anliegende Signalspannung führt zu einer anziehenden Kraft, die die Membran dem Signalverlauf folgen lässt.

So weit das Prinzip. Etwas komplizierter wird es in der Praxis dann doch, denn es sind einige Detailprobleme zu lösen. Zunächst gilt es die beim Einfachst-Elektrostaten auftretende Frequenzverdopplung zu verhindern. Positive und negative Spannungen führen nämlich gleichermaßen zu einer Anziehung von Stator und Membran; positive wie negative Halbwelle

einer Sinusschwingung lösen die gleiche Membranbewegung aus. So entsteht in erster Linie Klirrfaktor zweiter Ordnung, K2.

Polarisation

Eine Polarisationsspannung behebt diesen Effekt: Diese wird mit dem Musiksignal in Reihe geschaltet. Das Musiksignal bleibt so

immer im positiven Spannungsbereich, und die Membran folgt ohne den störenden Gleichrichter-Effekt dem Musiksignal. Allerdings steht die Membran so schon im Ruhezustand unter Spannung.

Zwei Statoren

Dieses Problem löst die Push-Pull-Anordnung mit zwei Statoren, zwischen denen die Membran angeordnet ist. Im Ruhezustand liegt zwischen der Membran und beiden Statoren die Polarisationsspannung an, wirkt also die gleiche Anziehungskraft – unterm Strich gibt es keine Kraftwirkung auf die Membran. Bewegung kommt erst ins Spiel, wenn sich – dem Musiksignal entsprechend – die Spannung eines Stators relativ zur Membran vergrößert und gleichzeitig die Spannung des anderen Stators abnimmt. Dazu muss das Musiksignal einem Stator gleichphasig und dem anderen gegenphasig zugespielt werden – die Aufgabe des Übertragers (s.u.).

Polarisationsspannung

Für die Erzeugung der Polarisationsspannung nutzen die Capaciti-Elektrostaten eine aus Kondensatoren und Dioden gebildete Hochspannungskaskade. Die macht aus den 12 Volt Betriebsspannung eines Steckernetzgeräts bis zu 3.000 Volt – allerdings mit enorm hoher Quellimpedanz, so dass im Normalfall keine Lebensgefahr besteht. Trotzdem sollte man vor jeder Manipulation an der Elektronik den Netzstecker ziehen und die Entladung der Kaskade abwarten. Selbst ein hochohmiges Multimeter führt zum umgehenden Zusammenbrechen der Spannung. Die praktisch gegen Null gehende Stromlieferfähigkeit der Polarisationsspannungsquelle ist kein Problem, da ja kein nennenswerter Stromfluss erforderlich ist; die auf Stator und Membran gespeicherten Ladungen können nur sehr langsam abfließen.

Übertrager liefert Hochspannung

Auch dem Musiksignal wird kaum Strom abverlangt, dafür aber eine viel größere Spannung, als jeder HiFi-Verstärker sie zu liefern vermag. Die erzeugt ein Ringkern-Übertrager – nicht etwa mit Ferritkern, wie bei Netztrafos üblich, sondern mit einem hochwertigen Blechkern aus 0,27 Millimeter dünnem kornorientiertem Silizium-Eisenblech; der Ringkern wird aus einem schmalen Blechstreifen gewickelt. Durch eine dünne Oxidschicht sind die Blechlagen elektrisch isoliert, Wirbelstromverluste daher sehr gering. Das Übersetzungsverhältnis liegt bei eins zu 140. Dank Mittelabgriff der Sekundärwicklung liefert der Übertrager auch gleich das invertierte Signal für den Push-Pull-Betrieb.

Messungen

Für die Messungen im Lautsprecherlabor der Redaktion waren die Elektrostatenmodule in schmale offene Schallwände eingebaut, die durch seitlich angesetzte Leisten um insgesamt 15 Zentimeter verbreitert werden konnten.

Besonders der größere, 23 Zentimeter breite Schallwandler überzeugt mit einem ausgewogenen Frequenzgang und schnellen sowie gleichmäßigen Ausschwingen. Die Überhöhung im Mittelhochtonbereich lässt sich durch geschickte Dimensionierung eines passiven Hochpassfilters erster Ordnung weitgehend ausgleichen. Als besonders günstig erwiesen sich hierfür 15 bis 22 Mikrofarad. Um die Pegelfestigkeit auszureizen, ist ein steiltankigeres Filter zweiter Ordnung einsetzbar. Dabei sollte die parallel zum Lautsprecher liegende Spule relativ hochohmig ausfallen, da andernfalls ein

Drahtstatoren

0,9 Millimeter dicke isolierte Kupferdrähte bilden die Statoren, zwischen denen eine 4,5 Mikrometer dünne, hochohmig leitend beschichtete Polyesterfolie aufgespannt ist. Diese Statoren besitzen im Gegensatz zu aus Lochblech gefertigten Statoren keine scharfen Kanten. Deshalb, und weil sie durch ein spezielles Fertigungsverfahren linealgerade sind, erzeugen sie ein besonders homogenes elektrisches Feld. Spannungsüberschläge vermeidet diese Bauweise zuverlässig. Daher kann der Elektrodenabstand geringer ausfallen, was wiederum zu einem höheren Wirkungsgrad führt. Außerdem ist der durch die Statoren abgedeckte Anteil der Membranfläche besonders gering.

Segmentierung

Verbessertes Rundstrahlverhalten ergibt sich durch die Segmentierung der Statoren. Diese schon bei den legendären Quad-Elektrostaten angewandte Bauweise realisiert Capaciti durch Stator-Widerstände, die in Reihe mit den äußeren Segmenten geschaltet sind. In Verbindung mit der kapazitiven Impedanz ergibt sich eine Tiefpassfunktion, die durch die Größe der Widerstände einstellbar ist. Der zentrale Membranstreifen, der als einziger über den vollen Frequenzbereich angesteuert wird und daher für die Höhenabstrahlung allein zuständig ist, misst in der Breite gerade mal 23 (beim ESW-80/14) bzw. 28 Millimeter – vergleichbar mit einem Kalottenhöchthörer.

Komfort

Die im Lieferumfang der Elektrostaten enthaltene Elektronikplatine enthält neben der Hochspannungskaskade eine Einschaltautomatik, die die Polarisationsspannung ab 0,4 Volt Signalspannung einschaltet. Dank zehn Minuten Ausschaltverzögerung spielen die Lautsprecher auch Pianissimo passages ungehindert bis zu Ende. Für ein passives SechsdB-Filter sind Schraubklemmen vorgesehen; wer ein komplexeres Netzwerk außerhalb der Platine realisiert, führt eine Sensorleitung an die Signaleingänge, damit die Automatik mitbekommt, wann Musik spielt. Eine blaue LED signalisiert den Schutzstatus.

Die Polarisationsspannung ist über ein Trimpotentiometer feinfühlig justierbar.

Dies ermöglicht einen Feinabgleich der Empfindlichkeit, um exakte Stereo-Gleichheit sicherzustellen. Außerdem kann es bei erhöhter Luftfeuchte sinnvoll sein, die Polarisationsspannung zurück zu nehmen, um die stabile Mittellage der Membran zu gewährleisten. Bei Instabilität klebt die Membranfolie an einem der Statoren fest. Das ist aber kein Beinbruch: Kurzzeitiges Ausschalten reicht, um wieder reguläre Betriebsbedingungen herzustellen. Ein Schaden ist dabei nicht zu befürchten.

Schönheit

Einen Schönheitswettbewerb werden die Capaciti-Elektrostaten im Rohzustand nicht gewinnen; die aus dunkelbraunem Kunststoff gefertigten Module wirken erst elegant, wenn sie hinter einer halbtransparenten Stoffbespannung betrieben werden. Dies ist aus Gründen der Betriebssicherheit ohnehin dringend zu empfehlen; zwischen den Statordrähten eingedrungene Fremdkörper, etwa Flusen oder kleinste Insekten, wären kaum je wieder zu entfernen – längst nicht nur ein Schönheitsfehler, sondern ein Betriebshindernis, da solche hochohmig leitenden Fremdkörper die Ladung abfließen lassen können.

Befestigungsbohrungen für den Einbau der Elektrostaten in eine Schallwand oder ein Gehäuse gibt es nicht. Diese Art der Montage verbietet sich, da ein Verziehen des Rahmens und damit ein Faltenwurf der Membran die unausweichliche Folge wäre. Die Capaciti-Elektrostaten werden mit einer drei bis fünf Millimeter breiten transparente Silikonfuge eingeklebt. Dies führt zu einer sehr guten Entkopplung vom Gehäuse. Die Demontage gelingt problemlos: Die Silikonfuge wird mit einem scharfen Messer durchtrennt und die Silikonreste abgezogen oder weggerubbelt – eine Sache von fünf Minuten.

Ein echter Hingucker: Gerade mal 18 Zentimeter breit ist die schlanke offene Schallwand für den ESW-80/14. Dieser agiert hinter einer halbtransparenten Stoffabdeckung, die das Elektrostatenmodul vor Staub und Fremdkörpern schützt.



der Hochtonwiedergabe auf Achse automatisch zu einer Einbuße bei außermittiger Betrachtung führt – schließlich ist die Ursache ja eine Verbreiterung des die Höhen abstrahlenden Bereichs. Bei der Optimierung ist daher die Betrachtung unter verschiedenen Winkeln wichtig.

Durch Verbreitern der Schallwand gewinnt der Anwender im Grundtonbereich bei beiden

Die Stator-Widerstände, die die äußeren Bereiche der Elektrostaten vom Hochtonbereich abkoppeln, sind unmittelbar an die Drahtstatoren angelötet. Sie bieten dem Anwender die Möglichkeit, eine klangliche Retusche vorzunehmen.

stärker bündelt. Beide dürfen aber hinsichtlich ihres Rundstrahlverhaltens als ausgesprochen gutmütig bezeichnet werden.

Etwas problematisch ist das Zeitverhalten des ESW-80/14: Im Mittelhochtonbereich schwingt er deutlich verzögert aus. Der große Bruder hat in dieser Disziplin eindeutig die Nase vorn.

Beide Elektrostaten brillieren mit ausgesprochen niedrigen Verzerrungen. Dies ist maßgeblich das Verdienst des aufwändig gefertigten Signalübertragers. Beim Akustik-Perfekt-Elektrostaten (HOBBY HiFi 6/2000) hatte HOBBY HiFi zehn mal stärkere Verzerrungen diagnostiziert.

Fazit

Die Capaciti-Elektrostaten zeigen überzeugende akustische Qualitäten und machen damit Lust auf ein audiophiles Lautsprecherprojekt. Der kleinere ESW-80/14 ist kaum weniger überzeugend als der größere ESW-80/23, der unter akustischen Gesichtspunkten aber doch klar die bessere Wahl ist. Wer einen ausgesprochen schlanken Hybrid-Elektrostaten bauen möchte, darf aber auch mit dem ESW-80/14 ein ausgezeichnetes Ergebnis erwarten. Mit um die 300 bzw. 400 Euro einschließlich Übertrager und Polarisationsspannungsquelle sind beide Module verblüffend preiswert. Gemessen an den akustischen Qualitäten ginge auch ein wesentlich höherer Preis in Ordnung.

Schallbild der Capaciti-Elektrostaten: Der Übertrager besitzt eine Sekundärwicklung mit Mittelanzapfung. Bezogen auf diesen Punkt liefern die beiden Ausgänge der Sekundärwicklung betragsgleich identische, aber gegenphasige Signale, die den Statorn zugespielt werden. Die Statorn sind drei- bzw. fünf-segmentig, und nur das zentrale Segment wird mit dem Vollbereichssignal beaufschlagt. Die Statorwiderstände koppeln die seitlichen Segmente vom Hoch-



Überschwingen im Bereich der Trennfrequenz zu beobachten wäre.

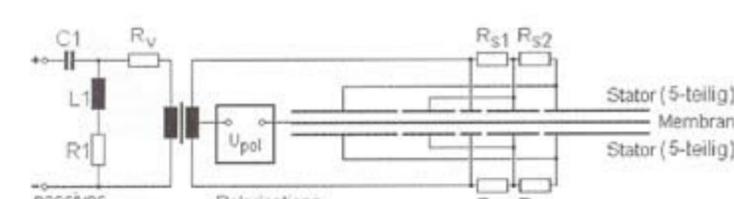
Bis 200 Hertz hinan ist der ESW-80/23 ohne Einschränkung der Dynamik zu betreiben, so dass er auch für größere Tieftöner ein adäquater Partner ist. Der ESW-80/14 ist immerhin ab 300 Hertz optimal einsetzbar.

Die Statorwiderstände bieten die Möglichkeit zur feinfühligsten Modellierung des Frequenzgangs im Mittel- und Hochtonbereich. Hierbei ist zu beachten, dass eine Verbesserung

der Elektrostaten einige dB an Schalldruckpegel, während gleichzeitig der Mittelhochtonbereich reduziert wird. Dies verbessert die Frequenzlinearität bei axialer Messung und unter 15 Grad, während unter 30 Grad eher eine Beeinträchtigung erkennbar wird. Eine breitere Schallwand muss also nicht unbedingt von Vorteil sein.

Die Segmentierung führt besonders beim ESW-80/14 zu ausgezeichnetem Rundstrahlverhalten, während der ESW-80/23 etwas

Die für die Ansteuerung der Elektrostaten erforderliche Elektronikplatine nebst Steckernetzteil und Sicherungshalter sowie der Ringkern-Übertrager sind im Lieferumfang enthalten. Die Elektronikplatine enthält neben der Hochspannungskaskade eine Einschaltautomatik mit zehnminütiger Ausschaltverzögerung. Außerdem ist Platz für ein passives Hochpassfilter erster Ordnung.



Messergebnisse

ESW-80/23

Schalldruck-Frequenzgang axial, unter 15° und 30° (Schallwand 35 cm breit, Statorwiderstände 70 kOhm u. 105 kOhm)

Schalldruck-Frequenzgang axial, unter 15° und 30° (Schallwand 50 cm breit, Statorwiderstände 70 kOhm u. 105 kOhm)

Schalldruck-Frequenzgang axial (Schallwand 50 cm breit, Statorwiderstände 70/105 kOhm, 70/35 kOhm)

Schalldruck-Frequenzgang axial (Schallwand 35 cm breit, ohne und mit positivem Hochpassfilter 4 und 12 dB/oct)

Springantwort (Schallwand 35 cm u. 50 cm breit)

Wellenfallpektrum 0° (Schallwand 50 cm breit)

Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 80 dB mittlerem Schalldruckpegel

Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 90 dB mittlerem Schalldruckpegel

Impedanz-Frequenzgang ohne und mit positivem Hochpassfilter

Technische Daten

Typenbezeichnung	ESW-80/23
Ca. Preis	400 Euro
Hersteller	Capaciti Ltd., Karlsruhe, FRG
Membranfläche	800x230x25 mm
Anzahl Segmente	5
Elektrodenabstand	1 mm
Resonanzfrequenz	90 Hz
Empf. Transfrequenz	200 Hz
Übertragungsbereich (-6 dB)	90 Hz - 20 kHz
Polarisationsspannung	2.800 V
Wesentlichste Dämpfung	2 Ohm
Impedanzminimum	2,0 Ohm/20 kHz
Empfindlichkeit/2,83 V/1 m	85 dB

ESW-80/14

Schalldruck-Frequenzgang axial, unter 15° und 30° (Schallwand 18 cm breit, Statorwiderstände 140 kOhm, Hochpass 12 dB/oct.)

Schalldruck-Frequenzgang axial, unter 15° und 30° (Schallwand 24 cm breit, Statorwiderstände 140 kOhm, Hochpass 12 dB/oct.)

Schalldruck-Frequenzgang axial (Schallwand 18 cm breit, Statorwiderstände 140 kOhm, Hochpass 12 dB/oct.)

Schalldruck-Frequenzgang axial (Schallwand 18 cm breit, ohne und mit positivem Hochpassfilter 4 und 12 dB/oct)

Springantwort (Schallwand 18 cm u. 24 cm breit)

Wellenfallpektrum 0° (Schallwand 18 cm breit)

Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 80 dB mittlerem Schalldruckpegel

Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 90 dB mittlerem Schalldruckpegel

Impedanz-Frequenzgang ohne und mit positivem Hochpassfilter

Technische Daten

Typenbezeichnung	ESW-80/14
Ca. Preis	300 Euro
Hersteller	Capaciti Ltd., Karlsruhe, FRG
Membranfläche	800x140x25 mm
Anzahl Segmente	3
Elektrodenabstand	1 mm
Resonanzfrequenz	120 Hz
Empf. Transfrequenz	300 Hz
Übertragungsbereich (-6 dB)	120 Hz - 25 kHz
Polarisationsspannung	3.000 V
Wesentlichste Dämpfung	2 Ohm
Impedanzminimum	2,0 Ohm/20 kHz
Empfindlichkeit/2,83 V/1 m	85 dB