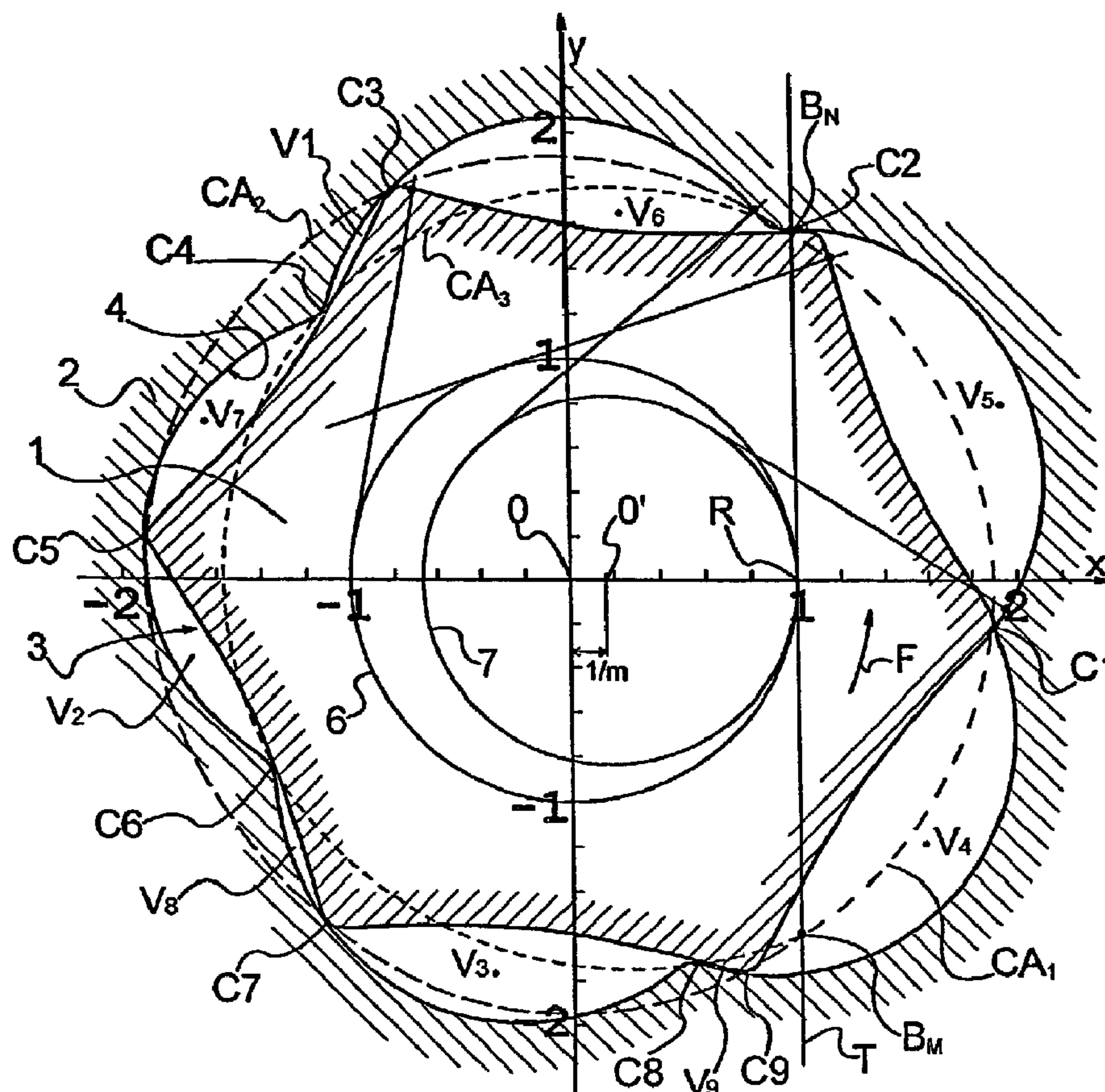




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/09/04  
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2004/03/18  
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2011/12/20  
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2005/03/02  
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/002642  
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2004/022976  
(30) Priorité/Priority: 2002/09/05 (FR02/10959)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F04C 2/08* (2006.01),  
*F01C 1/08* (2006.01), *F04C 18/08* (2006.01),  
*F04C 2/10* (2006.01)  
(72) Inventeur/Inventor:  
KATZ, ANDRE, FR  
(73) Propriétaires/Owners:  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE, FR;  
ECOLE POLYTECHNIQUE, FR  
(74) Agent: FETHERSTONHAUGH & CO.

(54) Titre : MACHINE TOURNANTE A CAPSULISME  
(54) Title: CLOSED SYSTEM ROTARY MACHINE



(57) Abrégé/Abstract:

La machine comprend un organe profilé intérieur 1 et un organe profilé extérieur 2 qui définissent entre eux des cavités - ou capsules - à volume variable ( $V_1, \dots, V_9$ ). Les points de contact délimitant les capsules ( $C_1, \dots, C_9$ ) suivent des lignes d'action ( $CA_1,$



(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

$CA_2$ ,  $CA_3$ ) concourants en des points de bifurcation  $B_N$  et  $B_M$  où naissent et respectivement meurent les cavités. Suivant l'invention les contacts ( $C_2$ ) en ces points situés sur la tangente (T) commune aux deux cercles primitifs (6, 7), sont osculateurs avec un centre de courbure commun situé au point de roulement (R) des cercles primitifs (6, 7). Utilisation pour rendre très progressive la formation et la disparition des capsules et faciliter la distribution des capsules lorsqu'elles naissent et disparaissent, augmenter les trajets de fuite.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
18 mars 2004 (18.03.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/022976 A1**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **F04C 2/08**,  
18/08, F01C 1/08, F04C 2/10(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/002642(22) Date de dépôt international :  
4 septembre 2003 (04.09.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02/10959 5 septembre 2002 (05.09.2002) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange, F-75794 Paris  
Cedex 16 (FR). **ECOLE POLYTECHNIQUE** [FR/FR];  
Route de Palaiseau, F-91128 Palaiseau Cedex (FR).

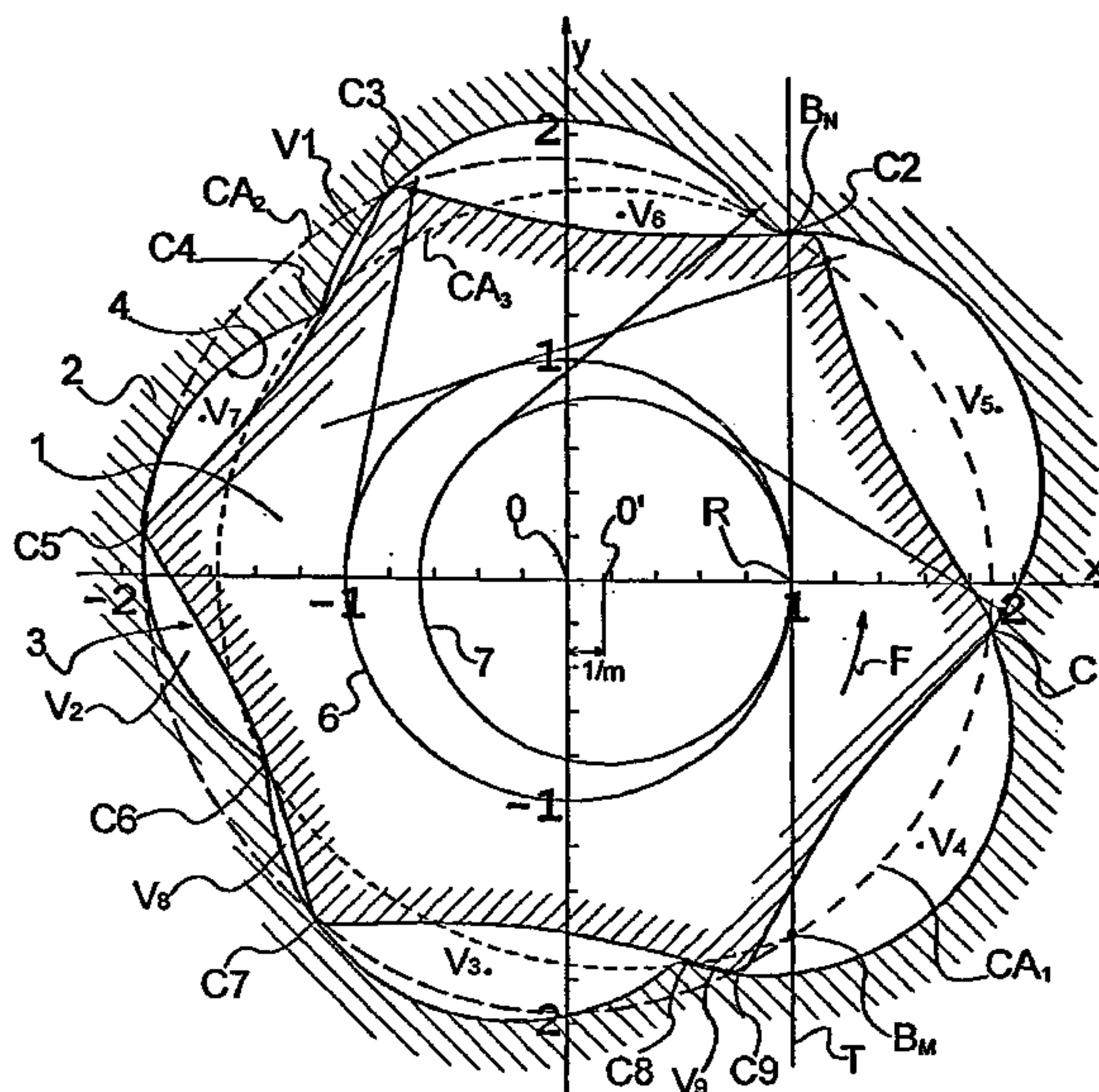
(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **KATZ, André** [FR/FR]; 33, rue Boussingault, F-75013 Paris (FR).(74) Mandataires : **PONTET, Bernard** etc.; Pontet Allano &  
Associés SELARL, 25, rue Jean Rostand, Parc Club Orsay  
Université, F-91893 Orsay Cedex (FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: CLOSED SYSTEM ROTARY MACHINE

(54) Titre : MACHINE TOURNANT A CAPSULISME



(57) **Abstract:** The invention relates to a closed system rotary machine. The inventive machine comprises an inner shaped element (1) and an outer shaped element (2) which define therebetween cavities or capsules having a variable volume ( $V_1, \dots, V_9$ ). The contact points which define the capsules ( $C_1, \dots, C_9$ ) are disposed along lines of action ( $CA_1, CA_2, CA_3$ ) which are concurrent at junction points  $B_N$  and  $B_M$ , where said cavities begin and end respectively. According to the invention, the contacts ( $C_2$ ) at points located on the tangent (T) common to both pitch circles (6, 7) are osculating elements with a shared centre of curvature which is situated at the rolling point (R) of the pitch circles (6, 7). The invention can be used to ensure that the capsules form and disappear very gradually and to facilitate the distribution of the capsules when they are forming and disappearing in order to increase the leak paths.

(57) **Abrégé :** La machine comprend un organe profilé intérieur 1 et un organe profilé extérieur 2 qui définissent entre eux des cavités - ou capsules - à volume variable ( $V_1, \dots, V_9$ ). Les points de contact délimitant les capsules ( $C_1, \dots, C_9$ ) suivent des lignes d'action ( $CA_1, CA_2, CA_3$ ) concourants en des points de bifurcation  $B_N$  et  $B_M$  où naissent et respectivement meurent les cavités. Suivant l'invention les contacts ( $C_2$ )

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/022976 A1

## WO 2004/022976 A1



DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés (régional) :** brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

en ces points situés sur la tangente (T) commune aux deux cercles primitifs (6, 7), sont osculateurs avec un centre de courbure commun situé au point de roulement (R) des cercles primitifs (6, 7). Utilisation pour rendre très progressive la formation et la disparition des capsules et faciliter la distribution des capsules lorsqu'elles naissent et disparaissent, augmenter les trajets de fuite.

"Machine tournante à capsulisme"

La présente invention concerne une machine tournante à capsulisme.

Par « machine à capsulisme », on entend une machine dans laquelle deux organes profilés présentent des profils annulaires qui engrènent l'un avec l'autre en définissant entre eux des chambres - ou capsules - à volume variable.

L'invention s'intéresse plus particulièrement aux machines dont l'un des profils est intérieur à l'autre, l'un étant m-lobé et l'autre (m-1)-lobé, où le nombre entier m est supérieur ou égal à 2.

On appelle un profil « m-lobé » un profil annulaire défini par un motif formant un dôme de lobe et un creux de lobe, ce motif se répétant m fois autour du centre d'un cercle primitif associé à ce profil.

Un profil (m-1)-lobé est un profil annulaire défini par un motif formant un dôme de lobe et un creux de lobe, ce motif se répétant (m-1) fois autour du centre d'un cercle primitif associé à ce profil.

Les profils coopèrent l'un avec l'autre par une sorte d'engrènement au cours duquel leurs cercles primitifs respectifs roulent l'un sur l'autre en un point de roulement qui est fixe par rapport à un organe de liaison par rapport auquel tourillonnent les deux organes profilés, chacun suivant un axe passant par le centre de son cercle primitif.

Les machines à capsulisme peuvent par exemple être des moteurs hydrauliques, des pompes hydrauliques, des compresseurs ou des machines de détente.

Le EP-A-0870926 décrit une machine à capsulisme du type dit « gérotor », c'est-à-dire dans lequel l'organe profilé intérieur est (m-1)-lobé. La géométrie de cette machine est classique en elle-même. Le document concerne plus particulièrement la réalisation d'un jeu déterminé entre les profils.

Le EP-539273-B1 décrit diverses machines à capsulisme, en particulier des machines avec deux lobes sur le profil intérieur et trois sur le profil extérieur, et inversement des machines avec trois lobes sur le profil intérieur et deux lobes seulement sur le profil extérieur.

Le US-A-1 892 217 décrit la pompe Moineau. Au lieu de présenter des profils cylindriques, cette machine de type gérotor présente des organes profilés hélicoïdaux avec un angle total d'hélice de plusieurs tours. Les capsules sont formées à une extrémité axiale des organes profilés puis sont transportées sans variation de volume jusqu'à l'autre extrémité, où elles viennent disparaître. Deux résultats remarquables sont obtenus : La distribution est simplifiée à l'extrême puisqu'il suffit que les capsules s'ouvrent librement sur l'admission à une extrémité et sur le refoulement à l'autre extrémité. Et d'autre part, le débit est strictement constant.

De nombreux documents tels que US-A-6 106 250, DE 42 04 186 A1, EP 0 094 379 B1, DE 44 25 429 A1, EP 0 799 966 A2, décrivent des machines avec une géométrie de type Wankel, c'est-à-dire avec un rotor de forme générale triangulaire à faces bombées effectuant un mouvement planétaire dans un stator bi-lobé.

Le WO 93/08402 décrit des perfectionnements à la pompe Moineau.

Dans l'art antérieur les profils ne sont souvent conjugués que de manière approximative. Des organes d'étanchéité élastiques sont prévus pour compenser les approximations de la conjugaison. Par exemple, dans la pompe Moineau (US-A-1 892 217), le revêtement intérieur de l'organe profilé extérieur est élastique. Dans la plupart des machines de type Wankel, des segments rétractables sont prévus aux extrémités du rotor triangulaire et parfois aussi aux sommets des lobes de l'organe profilé extérieur. Même dans les meilleures machines connues, les trajets de fuite entre capsules successives sont

relativement courts et il y a des problèmes pour commuter une capsule de l'admission au refoulement.

Le but de la présente invention est de rechercher une optimisation en ce qui concerne la qualité des contacts entre  
5 les profils, la commutation entre l'aspiration et le refoulement par la distribution, et la progressivité de la naissance et de la disparition de chaque capsule.

Il a plus particulièrement été trouvé suivant l'invention une famille de géométries, et des méthodes de détermination  
10 associées, grâce auxquelles les profils sont en contact osculateur aux stades de la naissance et de la disparition d'une capsule. Par contact osculateur, on entend un point de contact où les courbures des deux profils sont continues, égales et de même sens. A la naissance d'une capsule, le  
15 contact osculateur se scinde en deux contacts entre lesquels se forme la capsule. A la disparition d'une capsule, deux contacts distincts se rapprochent de plus en plus jusqu'à devenir un seul contact osculateur, puis simple.

Suivant l'invention, la machine à capsulisme  
20 comprenant :

- deux organes profilés, intérieur et respectivement extérieur, qui portent un profil annulaire intérieur et respectivement un profil annulaire extérieur,
- un organe de liaison lié de façon rotative avec chacun  
25 des deux organes profilés selon un axe de rotation respectif,

et dans laquelle :

- les profils sont l'un m-lobé, l'autre (m-1)-lobé, et sont définis autour de l'axe de rotation de leur organe  
30 profilé respectif par m et respectivement (m-1) motif(s) comprenant un arc de dôme de lobe et un arc de creux de lobe,
- chaque profil est l'enveloppe de l'autre lors de rotations relatives des organes profilés autour de leur  
35 axe de rotation respectif avec engrènement de leurs profils qui définissent entre eux les contours de capsules, et roulement sans glissement entre deux

4

cercles primitifs centrés sur les axes de rotation respectifs,

est caractérisé en ce que dans les positions relatives des organes profilés pour lesquelles un point de contact  
5 entre les profils se trouve sur la tangente aux deux cercles primitifs en leur point de roulement mutuel, les organes profilés présentent audit point de contact des courbures continues égales et de même sens ayant pour centre commun ledit point de roulement.

10 De préférence, la machine à capsulisme est caractérisée en ce que

- des points M d'un premier des deux arcs du profil m-lobé étant définis par deux fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$  reliant les paramètres  $\rho$  et  $\sigma$  au paramètre  $\delta$  considéré comme une  
15 coordonnée sur l'arc et qui sont :

$\rho$  : mesurée le long de la normale à l'arc au point M, la distance entre le point M et le milieu N entre les deux points d'intersection P et D, proximal et respectivement distal, de ladite normale avec le cercle primitif de centre  
20 O du profil m-lobé, et de rayon supposé égal à 1, le point d'intersection proximal P étant situé entre le point M de l'arc donné et le point d'intersection distal D,

$\delta$  : demi-distance angulaire entre D et P par rapport au centre O, mesurée dans le sens direct

25  $\sigma$  : angle polaire du point d'intersection proximal P par rapport à O, diminué de  $\delta$ ,

les fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$  ayant un domaine de définition allant de  $\delta=0$  à  $\delta=\pi$ ,

- deux arcs du motif du profil (m-1)-lobé sont un arc  
30 conjugué proximal et un arc conjugué distal définis ci-après dans un repère cartésien ayant pour origine le centre O du cercle primitif associé au profil m-lobé :

a) arc conjugué proximal :

$$x_{CJP}(\delta) = (1 + (\sin(\delta) - m\rho(\delta)) \sin(\frac{\delta - m\sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \cos(\frac{\delta - m\sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

$$y_{CJP}(\delta) = ((\sin(\delta) - m \rho(\delta)) \cos(\frac{\delta - m \sigma(\delta)}{m-1}) - (m-1) \cos(\delta) \sin(\frac{\delta - m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

b) arc conjugué distal :

$$x_{CJD}(\delta) = (1 + (\sin(\delta) + m \rho(\delta)) \sin(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \cos(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

$$y_{CJD}(\delta) = (- (\sin(\delta) + m \rho(\delta)) \cos(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \sin(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

Si l'on se réfère à la complexité mathématique associée à la conception des machines à capsulisme, la solution proposée suivant l'invention est remarquablement simple.

On peut choisir un premier arc de l'un des profils et un cercle primitif pour ce profil, puis on définit mathématiquement cet arc dans le paramétrage très particulier qui a été imaginé selon l'invention, en établissant les deux fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$ . On appelle « arc donné » cet arc choisi initialement.

Et on obtient ensuite directement, par application des formules selon l'invention, l'arc conjugué proximal et l'arc conjugué distal par leurs coordonnées cartésiennes ayant pour origine le centre O du cercle primitif associé à l'arc donné. Le profil conjugué de l'arc donné est obtenu par concaténation de l'arc conjugué proximal et de l'arc conjugué distal. La concaténation signifie que les deux arcs, pris chacun dans la totalité de son étendue correspondant à une variation de  $\delta$  sur l'intervalle  $[0, \pi]$ , sont raccordés bout à bout par les points où  $\delta = 0$ . Les formules réalisent automatiquement que les deux arcs, proximal et distal, ont non seulement même tangente mais également même courbure en leur point de raccordement et cette courbure est également la même que celle à une extrémité correspondante de l'arc donné. La normale au profil conjugué en le point de raccordement est tangente aux cercles primitifs respectifs de l'arc choisi et du profil conjugué en le point de roulement de ces cercles l'un sur l'autre. Le rayon du cercle primitif de l'arc donné ayant été choisi arbitrairement égal à 1, le rayon du cercle primitif du profil conjugué est égal à  $(m-1)/m$ . Le cercle primitif du profil conjugué est donc déterminé. On obtient ensuite le profil conjugué complet en

6

concaténant (m-1) fois le motif constitué de l'arc conjugué proximal et de l'arc conjugué distal selon (m-2) rotations d'angle  $2\pi/(m-1)$  autour du centre O' du cercle primitif du profil conjugué.

5 Pour le deuxième arc du profil m-lobé, ou arc complémentaire de l'arc donné, deux cas sont possibles suivant la géométrie choisie pour l'arc donné. On distingue, suivant l'invention, ces deux cas d'après la valeur de la dérivée  $\rho'$  de la fonction  $\rho$  par rapport à sa variable  $\delta$  aux points 0 et  
10  $\pi$ .

Dans un premier cas, la dérivée  $\rho'$  par rapport à  $\delta$  pour  $\delta = 0$  et  $\delta = \pi$  satisfait les inégalités strictes suivantes :

$$1/m > \rho'(0) > 0$$

15  $-1/m < \rho'(\pi) < 0$

le profil m-lobé est alors intérieur au profil (m-1)-lobé, et

le motif m-lobé est complété par un arc complémentaire proximal défini par ses coordonnées dans ledit repère  
20 cartésien :

$$x_{CpP}(\delta) = ((2 \sin(\delta) - m \rho(\delta)) \sin(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \cos(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta))) / m$$

$$y_{CpP}(\delta) = ((2 \sin(\delta) - m \rho(\delta)) \cos(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta)) - m \cos(\delta) \sin(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta))) / m$$

On réalise ainsi une première classe de machines selon l'invention, dans lesquelles le profil intérieur présente un  
25 lobe de plus que le profil extérieur.

Pour cette première classe de machines, les deux arcs conjugués, proximal et respectivement distal, définis par les formules selon l'invention, viennent se placer radialement à l'extérieur de l'arc donné, et l'arc complémentaire de l'arc  
30 donné vient compléter le profil m-lobé à l'intérieur du profil conjugué, (m-1)-lobé.

Dans un second cas, la dérivée  $\rho'$  par rapport à  $\delta$  pour  $\delta = 0$  et  $\delta = \pi$  satisfait les inégalités strictes suivantes :

$$-1/m < \rho'(0) < 0$$

$$1/m > \rho'(\pi) > 0$$

Le profil m-lobé est extérieur au profil (m-1)-lobé ;  
et

le motif m-lobé est complété par un arc complémentaire  
5 distal défini par le jeu de coordonnées cartésiennes suivant  
autour du centre O :

$$x_{CPD}(\delta) = ((2 \sin(\delta) + m \rho(\delta)) \sin(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \cos(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta))) / m$$

$$y_{CPD}(\delta) = (-(2 \sin(\delta) + m \rho(\delta)) \cos(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \sin(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta))) / m$$

On a alors une seconde classe de machines dans laquelle  
10 le profil conjugué, (m-1)-lobé, est automatiquement défini  
comme se trouvant radialement à l'intérieur du profil m-lobé  
auquel appartient l'arc donné.

Les formules précédentes, qu'elles soient relatives à la  
première où à la seconde classe de machines, ne requièrent pas  
15 que l'arc donné présente un axe de symétrie.

Si l'arc donné ne présente pas d'axe de symétrie, on  
réalise des machines dans lesquelles les processus de  
croissance et décroissance des capsules ne sont pas  
symétriques l'un de l'autre.

20 D'autres particularités et avantages de l'invention  
ressortiront encore de la description ci-après, relative à des  
exemples non limitatifs.

Aux dessins annexés :

- la figure 1 est une vue de face des organes  
25 profilés, montrant certaines particularités  
géométriques d'une machine de la première classe  
selon l'invention ;
- les figures 2A à 2F sont des vues analogues à la  
figure 1, mais à plus petite échelle, et montrant  
30 six états successifs de la machine de la figure  
1 ;
- la figure 3 est une vue analogue à la figure 1  
mais relative à une machine de seconde classe ;
- les figures 4A à 4F sont des vues analogues à la  
35 figure 3, mais à plus petite échelle, et montrant  
six états successifs de la machine ;

8

- la figure 5 est une construction géométrique illustrant la détermination des paramètres des profils selon l'invention ;
- les figures 6A, 6B et 6C montrent le détail, à grande échelle, du passage des profils par l'osculation, dans l'exemple de la figure 1, la figure 6B étant celle relative à l'osculation, les figures 6A et 6C étant décalées d'une rotation de trois degrés du profil intérieur dans un sens et dans l'autre ;
- les figures 7A et 7B montrent, en deux états différents, une machine de la première classe selon l'invention avec profil intérieur bi-lobé ;
- les figures 8A et 8B montrent, en deux états différents, une machine de la première classe selon l'invention avec profil intérieur tri-lobé ;
- les figures 9A et 9B montrent, en deux états différents, une machine de la première classe selon l'invention avec profil intérieur octo-lobé ;
- les figures 10A à 10I représentent neuf géométries différentes pour une machine de la première classe selon l'invention, à profil intérieur quadri-lobé ;
- les figures 11A, 11B et 11C représentent trois géométries différentes pour une machine de la première classe selon l'invention à profil intérieur penta-lobé ;
- la figure 12 est une vue de la machine de la figure 11B à échelle agrandie, avec schématisation de certains moyens de distribution ;
- la figure 12A est une vue de détail montrant une variante pour la distribution dans la réalisation de la figure 12 ;
- la figure 13 est une vue analogue à la figure 12 mais relative à la machine de la figure 1 ;
- la figure 14 est une vue schématique en perspective d'une machine dont les organes

9

profilés sont hélicoïdes avec des profils successifs selon la figure 1;

- la figure 15 est une demie-vue en coupe axiale, schématique, d'une machine selon l'invention ;
- 5 - la figure 16 est une vue en coupe axiale partielle d'une machine selon l'invention, à cylindrée variable ;
- les figures 17A et 17B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur mono-lobé ;
- 10 - les figures 18A et 18B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur di-lobé ;
- les figures 19A et 19B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur tri-lobé ;
- 15 - les figures 20A et 20B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur quadri-lobé ;
- 20 - les figures 21A et 21B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur penta-lobé ;
- les figures 22A et 22B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur hepta-lobé ;
- 25 - les figures 23A et 23B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur tri-lobé dans une géométrie différente de celle des figures 19A et 19B ;
- 30 - les figures 24A et 24B sont analogues aux figures 23A et 23B respectivement, mais dans une géométrie encore différente ;
- 35 - les figures 25A et 25B sont analogues aux figures 23A et 23B respectivement, mais dans une géométrie encore différente ;

10

- les figures 26A et 26B représentent dans deux états différents une machine de la deuxième classe selon l'invention, à profil intérieur di-lobé mais dans une géométrie différente de celle des figures 18A et 18B, plus particulièrement appropriée pour la réalisation d'un compresseur ;
- les figures 27A et 27B sont analogues aux figures 26A et 26B, mais avec des profils asymétriques ;
- les figures 28A à 28F représentent très schématiquement dans six états différents un premier mode de réalisation d'une machine gigogne selon l'invention, avec un organe profilé intermédiaire di-lobé monté entre deux profils tri-lobés ; et
- les figures 29A à 29F représentent très schématiquement dans six états différents un deuxième mode de réalisation d'une machine gigogne selon l'invention, avec un organe profilé intermédiaire tri-lobé monté entre deux profils di-lobés ;

Dans l'exemple représenté à la figure 1, la machine comprend un organe profilé intérieur 1 et un organe profilé extérieur 2 qui entoure l'organe profilé intérieur 1.

L'organe profilé intérieur 1 présente sur sa périphérie extérieure un profil lobé 3 et l'organe profilé extérieur 2 présente sur sa périphérie intérieure un profil lobé 4 qui entoure le profil lobé 3 de l'organe profilé intérieur 1.

L'un des profils a un lobe de plus que l'autre. Dans l'exemple de la figure 1, qui correspond à ce qu'on appelle dans le cadre de l'invention une machine de la première classe, c'est le profil intérieur 3 qui a un lobe de plus que le profil extérieur 4. On dit que le profil intérieur 3 est m-lobé et que le profil extérieur 4 est (m-1)-lobé.

Dans l'exemple de la figure 1,  $m = 6$ , de sorte que le profil intérieur 3 est hexa-lobé et le profil 4 de l'organe profilé extérieur 2 est penta-lobé.

11

Chaque profil 3, 4 présente une symétrie par rotation autour de l'origine du cercle primitif qui lui est associé et l'ordre de cette symétrie est le nombre de ses lobes.

Ainsi, le profil 3 de l'organe intérieur 1 présente une  
5 symétrie d'ordre 6 autour d'un centre O, et le profil 4 de l'organe profilé extérieur 2 présente une symétrie d'ordre 5 autour d'un centre O'.

Il y a entre les centres O et O' une distance  $1/m$  suivant un axe Ox.

10 Chaque lobe est défini par un motif respectif, le profil 3 ou 4 étant défini en reportant  $m$  fois ou respectivement  $(m-1)$  fois son motif respectif par rotation de  $2\pi/m$  ou respectivement  $2\pi/(m-1)$  autour du centre de symétrie O ou respectivement O'.

15 Chacun des profils 3, 4, a un cercle primitif 6, 7, de centre O et respectivement O'. Les rayons des cercles primitifs sont proportionnels au nombre de lobes du profil auquel ils sont respectivement associés, de sorte qu'ils sont tangents l'un à l'autre en un point R situé sur l'axe Ox.

20 Chaque motif se compose d'un « dôme de lobe » et d'un « creux de lobe ». Un « dôme de lobe » est une partie saillante, donc une partie radialement éloignée du centre lorsqu'il s'agit du profil intérieur et une partie radialement proche du centre lorsqu'il s'agit du profil  
25 extérieur. Inversement, un « creux de lobe » est une partie généralement concave, donc proche du centre lorsqu'il s'agit du profil intérieur et éloignée du centre lorsqu'il s'agit de profil extérieur. On appelle « sommet de lobe » le point culminant d'un dôme de lobe et « fond de lobe » le point le  
30 plus profond d'un creux de lobe.

Dans l'exemple représenté, les profils présentent une symétrie miroir par rapport à des rayons passant par les sommets de lobes et les fonds de lobes, mais cette symétrie n'est pas indispensable au sens de l'invention, comme on le  
35 verra plus loin.

L'organe profilé  $m$ -lobé 1 est articulé à un organe de liaison, non représenté à la figure 1, suivant un axe de rotation coïncidant avec le centre O. De même, l'organe

12

profilé (m-1)-lobé 2 est articulé à l'organe de liaison suivant un axe de rotation coïncidant avec le centre O' de son cercle primitif.

En fonctionnement, les deux organes profilés effectuent par rapport à l'organe de liaison une rotation autour de leur axe de rotation respectif O, O', de telle manière que les deux cercles primitifs 6, 7 roulent l'un sur l'autre au point R qui demeure immobile par rapport à l'organe de liaison. Par conséquent, le repère Ox, Oy est  
10 immobile par rapport à l'organe de liaison, de même que les centres O et O'. Par ailleurs, la description faite jusqu'à présent implique également que l'organe profilé m-lobé 1 exécute (m-1)/m tour lorsque l'organe profilé (m-1)-lobé 2 effectue un tour complet.

15 Au cours de ce mouvement combiné des deux organes profilés 1 et 2, chaque dôme de lobe de chaque profil 3 ou 4 est en contact avec l'autre profil. Dans une région située à droite de la figure 1 et plus précisément radialement au-delà d'une tangente commune T aux deux cercles primitifs 6 et 7 en leur point de roulement mutuel R, chaque dôme de  
20 lobe de l'un des profils forme un contact unique avec un dôme de lobe de l'autre profil. Un tel contact unique C<sub>1</sub> est notamment représenté. De l'autre côté de la tangente commune T, chaque dôme de lobe de l'un des profils est en contact avec un creux de lobe de l'autre profil. On voit ainsi des  
25 contacts C<sub>3</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>9</sub> entre un dôme du profil m-lobé et un creux du profil (m-1)-lobé, qui alternent avec des contacts C<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>, C<sub>8</sub> entre un dôme du profil (m-1)-lobé et un creux du profil m-lobé.

30 On appelle courbes d'action, les trajectoires des points de contact par rapport à l'organe de liaison symbolisé par le repère Oxy. Dans la région située à droite de la tangente commune T, il y a une seule courbe d'action CA<sub>1</sub> dont les extrémités sont des points B<sub>N</sub> et B<sub>M</sub> situés sur  
35 la tangente T. De l'autre côté de la tangente T, il y a deux courbes d'action CA<sub>2</sub> et CA<sub>3</sub> qui correspondent à la trajectoire des points de contact formés par les dômes du profil m-lobé 3, et respectivement par les points de contact

13

formés par les dômes du profil (m-1)-lobé 4. Les extrémités des deux courbes d'action  $CA_2$  et  $CA_3$ , sont également constituées par les points  $B_N$  et  $B_M$ , qu'on appellera points de bifurcation des courbes d'action.

5 Dans la situation particulière représentée à la figure 1, l'un des points de contact, désigné par  $C_2$ , coïncide avec le point de bifurcation  $B_N$ . Ce point de contact marque la limite entre un creux et un dôme sur un versant du motif de chacun des deux profils. Dans une autre situation,  
10 représentée à la figure 2C, un point de contact coïncide avec le point de bifurcation  $B_M$  et marque la limite entre un creux et un dôme sur l'autre versant du motif de chacun des deux profils.

Suivant une particularité importante de la présente  
15 invention, les profils, déterminés d'une manière qui sera décrite plus loin, définissent un contact osculateur entre les deux profils lorsque le point de contact est réalisé en  $B_N$  ou  $B_M$ . Ceci signifie que les profils présentent en leur point de contact situé en  $B_N$  ou  $B_M$  non seulement une tangente  
20 commune, mais ont en outre des courbures continues, égales et de même sens.

En outre, le centre de courbure commun aux deux profils en leur osculation coïncide avec le point de roulement  $R$ , en sorte que leur rayon de courbure est égal à  
25 la distance entre  $R$  et  $B_N$ , ou respectivement  $B_M$ . Cette osculation assure entre les deux profils un contact qui est d'excellente qualité.

Lorsque l'organe profilé 1 tourne autour de son centre  $O$  dans le sens indiqué par la flèche  $F$ , le contact tel que  
30  $C_1$ , suit la courbe d'action  $CA_1$  jusqu'à venir coïncider avec le point de bifurcation  $B_N$  pour former l'osculation précitée. A partir de là, le contact se scinde en deux contacts distincts suivant chacun l'une des deux courbes d'action  $CA_2$  et  $CA_3$ . Puis ces deux contacts distincts  
35 viennent à nouveau se fusionner en un contact osculateur au point de bifurcation  $B_M$ .

Des capsules - ou chambres - sont définies entre les deux profils 3 et 4 et entre les points de contact

14

successifs. Dans la situation représentée à la figure 1, une capsule est en train de naître au point de contact  $C_2$ . Au cours de la rotation de l'organe profilé intérieur 1 et de la rotation corrélative de l'organe profilé extérieur 2, la capsule en train de naître au point de bifurcation  $B_N$  formera successivement les capsules  $V_1, V_2, \dots, V_9$ . Les capsules  $V_1$  à  $V_4$  sont en phase de croissance de volume alors que les capsules  $V_5$  à  $V_9$  sont en phase de décroissance de volume. La phase de croissance s'étend sur presque un tour complet, la phase de décroissance également, de sorte que le cycle complet s'étend sur un peu moins de deux tours. Si la machine est un moteur hydraulique, le fluide hydraulique est à pression élevée dans les capsules  $V_1$  à  $V_4$  en phase de croissance, et à basse pression dans les capsules  $V_5$  à  $V_9$  en phase de décroissance. Les capsules en phase de croissance et soumises à la pression alternent avec les capsules en phase de décroissance et qui ne sont pas soumises à la pression. Si la machine hydraulique fonctionne en pompe, on constate la même alternance sauf que ce sont les capsules en phase de décroissance qui sont soumises à la pression et les capsules en phase de croissance qui sont en cours d'admission du fluide à pomper.

Il en résulte deux conséquences. D'une part la charge radiale sur les paliers de la machine est faible. D'autre part, il y a en chaque point de contact une autolubrification due aux fuites entre la haute pression et la basse pression. Cette autolubrification devrait en particulier favoriser le démarrage de la machine, sans effet de collage.

Et par ailleurs, le contact osculateur à la naissance et à la mort des capsules aux bifurcations  $B_N$  et  $B_M$  respectivement, a d'une part comme conséquence que chaque capsule naît et meurt sur une surface de contact relativement grande et d'autre part avec une croissance très lente de son volume. Ces deux circonstances favorisent la réalisation d'orifices de taille appropriée pour commencer l'alimentation et terminer le refoulement de chaque capsule,

15

à sa naissance et respectivement à sa mort, comme on le verra plus loin.

Les figures 2A à 2F montrent six positions angulaires successives des deux organes profilés 1 et 2 de la machine de la figure 1, à partir de la situation représentée à la figure 1, qui est également celle de la figure 2A. La situation représentée à la figure 2F correspond au passage de la capsule V4 par son volume maximum. Ces vues permettent en particulier de suivre l'évolution de la capsule qui se forme au point  $B_N$  à la figure 2A. On voit également comment la capsule  $V_9$  de la figure 2A vient mourir au point de bifurcation  $B_M$  à la figure 2C.

L'exemple de la figure 3 ne sera décrit que pour ses différences par rapport à celui de la figure 1.

Le profil m-lobé 13 est maintenant extérieur au profil (m-1)-lobé 14, et appartient à un organe profilé 11 qui est extérieur et entoure l'organe profilé 12 portant le profil (m-1)-lobé 14.

Il y a cette fois deux courbes d'action  $CB_2$  et  $CB_3$  radialement au-delà du point de roulement R et une seule courbe d'action  $CB_1$  de l'autre côté de la tangente T. Les courbes d'action sont concourantes en des points de bifurcation  $B_N$  et  $B_M$  situés sur la tangente commune T comme précédemment, excepté que la bifurcation  $B_N$  correspondant à la naissance des capsules est maintenant située en amont relativement au sens F de rotation pris comme exemple, par rapport à la bifurcation  $B_M$  correspondant à la mort des capsules. Au-delà du point  $B_M$ , les capsules  $V_2$ ,  $V_3$  et  $V_4$  sont toutes en croissance puis les capsules  $V_5$ ,  $V_6$  et  $V_7$  sont en décroissance tandis qu'il est en train de naître par osculation au point  $B_N$  dans la situation représentée une nouvelle capsule en croissance. Il n'y a donc alternance de capsules en croissance et en décroissance que radialement au-delà de la tangente T. Les points de contact sont moins nombreux que dans la machine de première classe des figures 1 et 2A à 2F.

Les figures 4A à 4F représentent six états successifs de la machine de la figure 3, à partir de la situation

16

représentée à la figure 3, qui est également celle de la figure 4A.

Dans la situation représentée à la figure 4F, la capsule  $V_4$  a atteint une position où elle est symétrique par rapport à l'axe Ox de sorte que le sens de variation de son volume est en train de changer. C'est pourquoi c'est à cette figure qu'on a également représenté les lumières d'admission 8 et de refoulement 9 pratiquées à travers un flasque qui, par ailleurs, ferme latéralement les capsules. La capsule  $V_4$  ne communique ni avec la lumière 8 ni avec la lumière 9. Les capsules en phase de croissance communiquent avec la lumière 8 qui s'étend jusqu'au point de contact arrière  $C_4$  de la capsule  $V_4$ . Les capsules en phase de décroissance communiquent avec la lumière de refoulement 9 qui part du point de contact avant  $C_5$  de la capsule  $V_4$ . Le ou les flasque(s) dans le(s)quel(s) sont définies les lumières 8, 9, sont solidaires de l'organe de liaison symbolisé par le repère Oxy.

On va maintenant décrire en référence à la figure 5, la paramétrisation particulière permettant la mise en œuvre des définitions géométriques de profil selon l'invention.

On considère dans le plan euclidien le cercle de centre O et de rayon 1, destiné à constituer le cercle primitif du profil m-lobé. On choisit arbitrairement l'arc  $M_0M_\pi$ , qui dans l'exemple de la figure 5 est représenté identique au dôme d'un lobe du profil 3, y compris en ce qui concerne sa distance et son orientation par rapport au centre O, et un rayon issu de ce centre. Par l'expression « on choisit arbitrairement », on ne veut pas dire que tout arc peut convenir, et on donnera plus loin des conditions nécessaires que doit vérifier ce choix. En-dehors des types d'arc à exclure, on peut également choisir la forme et la dimension de l'arc, ainsi que sa position par rapport au centre O en fonction de desiderata sur la géométrie recherchée, compte-tenu par exemple des différents exemples de géométrie représentés et décrits plus loin. On appelle « arc donné » l'arc  $M_0M_\pi$ , et on appelle M un point quelconque de l'arc donné. L'une des caractéristiques que l'arc donné

doit présenter est que ses normales  $N_0$  et  $N_\pi$  aux extrémités  $M_0$  et  $M_\pi$  soient tangentes à deux points différents du cercle primitif 6.

On appelle P et D les deux intersections de la normale  
 5 à l'arc en M avec le cercle primitif 6, le point P étant  
 situé entre M et D. On appelle en outre N le milieu du  
 segment PD. On appelle  $2\delta$  l'angle DOP, mesuré entre 0 et  $2\pi$   
 dans le sens direct, de sorte que  $\delta$  est compris entre 0 et  
 $\pi$ . On appelle  $\sigma$  l'angle polaire de P diminué de  $\delta$ , qui est  
 10 aussi l'angle polaire de D augmenté de  $\delta$ . On observe que  
 pour  $\delta < \pi/2$ ,  $\sigma$  est l'angle polaire de N et que pour  $\delta > \pi/2$ ,  
 $\sigma$  est l'angle polaire du point symétrique de N par rapport à  
 l'origine 0.

On appelle enfin  $\rho$  la distance MN comptée  
 15 positivement.

Les grandeurs  $(\delta, \sigma, \rho)$  sont définies univoquement par  
 le point M. Réciproquement, le point M est défini  
 univoquement par ces grandeurs: on construit la demi-droite  
 d'origine 0 et d'angle polaire  $\sigma$ , puis les points P et D en  
 20 portant les angles  $\pm\delta$  à partir de cette demi-droite. Le  
 point N est le milieu du segment PD et on construit M en  
 portant la longueur  $MN = \rho$  sur la droite PD du côté de P.

On choisit l'arc donné comme étant un arc  
 différentiable sur lequel l'angle  $\delta$  est une coordonnée entre  
 25 0 et  $\pi$ . Cela signifie que quand le point M parcourt cet arc,  
 l'angle  $\delta$  qui lui est associé prend une fois et une seule  
 chaque valeur entre 0 et  $\pi$ . On s'intéresse donc à des arcs  
 dont la normale balaye régulièrement (d'une tangente  $N_0$  à  
 une tangente  $N_\pi$ ) le cercle primitif, quand on les parcourt de  
 30 l'origine à l'extrémité. Ces arcs forment deux classes  
 suivant le sens relatif du parcours et du balayage, et ces  
 deux classes sont associées aux deux classes précitées de  
 profils conjugués et par conséquent de machines.

En choisissant  $\delta$  comme paramètre le long de l'arc,  
 35 l'arc est caractérisé par les deux fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$ .

Ces deux fonctions ne sont pas indépendantes ; elles sont liées par la relation suivante entre leurs dérivées  $\rho'(\delta)$  et  $\sigma'(\delta)$  par rapport à  $\delta$  :

$$\sigma'(\delta) \cos(\delta) = \rho'(\delta)$$

5 L'addition d'une constante à la fonction  $\sigma(\delta)$  correspond à une rotation globale de l'arc autour de l'origine O. Du fait que dans les problèmes de conjugaison, on s'intéresse à des arcs définis à une telle rotation près, il est naturel de caractériser les arcs par la fonction  
10  $\rho(\delta)$ , la fonction  $\sigma(\delta)$  s'en déduisant par la quadrature :

$$\sigma(\delta) = \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{\rho'(\tau) d\tau}{\cos(\tau)}$$

cette intégration étant faite de  $\tau = \delta_0$  à  $\tau = \delta$ , et où  $\tau$  est une variable d'intégration muette et où l'arbitraire sur la constante d'intégration  $\delta_0$  correspond à une rotation  
15 arbitraire de l'arc autour de l'origine O.

Avec ces définitions, les coordonnées cartésiennes  $(x(\delta), y(\delta))$  d'un arc défini par la fonction  $\rho(\delta)$  et un choix de la constante dans  $\sigma(\delta)$  s'écrivent :

$$x(\delta) = \cos(\delta) \cos(\sigma(\delta)) + \rho(\delta) \sin(\sigma(\delta))$$

$$20 \quad y(\delta) = \cos(\delta) \sin(\sigma(\delta)) + \rho(\delta) \cos(\sigma(\delta))$$

Etant donnés un arc défini comme ci-dessus par la fonction  $\rho(\delta)$  et un nombre entier  $m \geq 2$ , on définit ses quatre arcs associés par les expressions suivantes :

- **arc conjugué proximal :**

$$25 \quad x_{CJP}(\delta) = (1 + (\sin(\delta) - m \rho(\delta)) \sin(\frac{\delta - m \sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \cos(\frac{\delta - m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

$$y_{CJP}(\delta) = ((\sin(\delta) - m \rho(\delta)) \cos(\frac{\delta - m \sigma(\delta)}{m-1}) - (m-1) \cos(\delta) \sin(\frac{\delta - m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

- **arc conjugué distal :**

$$x_{CJD}(\delta) = (1 + (\sin(\delta) + m \rho(\delta)) \sin(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \cos(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

$$y_{CJD}(\delta) = (- (\sin(\delta) + m \rho(\delta)) \cos(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \sin(\frac{\delta + m \sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

30 - **arc complémentaire proximal :**

19

$$x_{cpP}(\delta) = ((2 \sin(\delta) - m \rho(\delta)) \sin(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \cos(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta))) / m$$

$$y_{cpP}(\delta) = ((2 \sin(\delta) - m \rho(\delta)) \cos(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta)) - m \cos(\delta) \sin(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta))) / m$$

- arc complémentaire distal

$$x_{cpD}(\delta) = ((2 \sin(\delta) + m \rho(\delta)) \sin(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \cos(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta))) / m$$

$$5 \quad y_{cpD}(\delta) = (-(2 \sin(\delta) + m \rho(\delta)) \cos(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \sin(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta))) / m$$

A partir d'un arc donné défini par la fonction  $\rho(\delta)$  et des arcs associés, on définit une paire de profils conjugués.

10 Comme il a été indiqué plus haut, il y a deux classes de tels profils, qui correspondent aux deux sens relatifs de balayage du cercle par la normale à l'arc donné, quand on parcourt cet arc.

Ces deux classes sont très simplement caractérisées par le signe des dérivés  $\rho'(0)$  et  $\rho'(\pi)$ .

15 Les profils sont engendrés, pour l'un, par la concaténation (c'est à dire mise bout à bout en conservant l'orientation relative) de l'arc donné et d'un des arcs complémentaires : c'est le profil complété ; pour l'autre, par la concaténation des deux arcs conjugués : c'est le  
20 profil conjugué.

L'arc donné est de première classe lorsque :  $\rho'(0) > 0$  et  $\rho'(\pi) < 0$

L'étude de la régularité des raccordements montre que l'on doit avoir plus précisément :

$$25 \quad 1/m > \rho'(0) > 0 \text{ et } -1/m < \rho'(\pi) < 0$$

Dans ce cas, le profil complété est constitué par la concaténation de l'arc donné et de l'arc complémentaire proximal, répétée par rotations de  $2\pi/m$  autour de l'origine. Le profil est d'ordre  $m$ , c'est à dire, qu'il est conservé  
30 par la rotation de  $2\pi/m$  (autour de l'origine) et qu'il présente  $m$  lobes ou dents. C'est le profil représenté partiellement à la figure 5.

Le profil conjugué est constitué par la concaténation de l'arc conjugué proximal et de l'arc conjugué distal, répétée par rotations de  $2\pi/(m-1)$  autour du centre  $O'$  de coordonnées  $(1/m, 0)$ . Le profil est d'ordre  $(m-1)$ , au même sens que précédemment. Le rapport des vitesses de rotation est  $(m-1)/m$ .

Le profil complété est intérieur au profil conjugué.

L'arc donné est de seconde classe lorsque :  $\rho'(0) < 0$  et  $\rho'(\pi) > 0$ .

L'étude de la régularité des raccordements montre que l'on doit avoir plus précisément :

$$-1/m < \rho'(0) < 0 \text{ et } 1/m > \rho'(\pi) > 0$$

Dans ce cas, le profil complété est constitué par la concaténation de l'arc donné et de l'arc complémentaire distal, répétée par rotations de  $2\pi/m$  autour de l'origine. Le profil est d'ordre  $m$ .

Le profil conjugué est constitué, comme pour la première classe, par la concaténation de l'arc conjugué proximal et de l'arc conjugué distal, répétée par rotations de  $2\pi/(m-1)$  autour du centre  $O'$  de coordonnées  $(1/m, 0)$ . Le profil est d'ordre  $(m-1)$ . Le rapport des vitesses de rotation est  $(m-1)/m$ .

Le profil complété est extérieur au profil conjugué.

Les inégalités portant sur  $\rho'(0)$  et  $\rho'(\pi)$  sont strictes. Ce point contrôle la continuité de la courbure des profils aux raccords entre les arcs.

Ces inégalités sont nécessaires et suffisantes pour la régularité des raccords, mais n'assurent pas la régularité des arcs eux-mêmes, qui doit être étudiée par ailleurs. Autrement dit, toute fonction  $\rho(\delta)$  ne mène pas nécessairement à une paire de profils conjugués réguliers.

Voici quelques indications sur la régularité aux points intérieurs des arcs associés.

On peut montrer que les seules singularités susceptibles d'apparaître sur les arcs associés à un arc donné régulier sont du type de la queue d'aronde : deux rebroussements encadrant une auto-intersection. La condition

21

pour que cela n'arrive pas est simplement que le vecteur vitesse (vecteur dérivé du point courant sur l'arc par rapport au paramètre) ne s'annule pas sur l'intervalle  $]0, \pi[$ . Ces quatre vitesses (correspondant aux quatre arcs dont sont formés les deux profils) sont des expressions dépendant de  $\delta$ , de  $\rho(\delta)$  et de la dérivée  $\rho'(\delta)$ . La non-annulation de ces expressions est donc une contrainte sur la fonction  $\rho(\delta)$ . Il faut aborder cette contrainte sous l'angle de la vérification, faute de savoir résoudre les systèmes d'inéquations différentielles non linéaires. Pour l'arc donné, la condition sur l'amplitude de la vitesse s'écrit :

$$V(\delta) = (\rho(\delta)\rho'(\delta))/\cos(\delta) - \sin(\delta) \neq 0$$

et cette condition exprime simplement que le quotient par  $\cos(\delta)$  de la dérivée du carré du rayon vecteur garde un signe constant.

Les expressions correspondantes pour les arcs associés sont moins simples. Les voici :

pour l'arc complémentaire proximal :

$$V_{CpP}(\delta) = (m\rho(\delta) - 2\sin(\delta))\rho'(\delta)/(m\cos(\delta)) - (2m\rho(\delta) + (m^2 - 4)\sin(\delta))/m^2 \neq 0$$

pour l'arc complémentaire distal :

$$V_{CpD}(\delta) = (m\rho(\delta) + 2\sin(\delta))\rho'(\delta)/(m\cos(\delta)) + (2m\rho(\delta) - (m^2 - 4)\sin(\delta))/m^2 \neq 0$$

pour les arcs conjugués :

$$V_{CjP}(\delta) = (m\rho(\delta) - \sin(\delta))\rho'(\delta)/((m-1)\cos(\delta)) - (\rho(\delta) + (m-2)\sin(\delta))/(m-1) \neq 0$$

$$V_{CjD}(\delta) = (m\rho(\delta) + \sin(\delta))\rho'(\delta)/((m-1)\cos(\delta)) + (\rho(\delta) - (m-2)\sin(\delta))/(m-1) \neq 0$$

25

Une famille intéressante de paires de profils de la première classe est obtenue à partir d'arcs d'épicycloïdes raccourcies. Il s'agit en fait de solutions typiques, plus que d'un exemple.

Ces arcs dépendent de trois paramètres :  $n$  est l'ordre de l'épicycloïde, qu'on peut choisir réel (positif et pas trop petit),  $\varphi$  est un paramètre angulaire compris entre 0 et  $\pi/2$ , qui décrit le raccourcissement (ou l'excentricité) ; enfin,  $\rho_0$  est le paramètre de parallélisme, c'est à dire un

paramètre caractérisant la distance à l'épicycloïde de base.  
Le calcul de  $\rho(\delta)$  et de  $\sigma(\delta)$  donne :

$$\rho(\delta) = (1 - 1/n)(1/\cos(\varphi)^2 - \cos(\delta)^2)^{1/2} + (1/n)\sin(\delta) + \rho_0$$

$$\sigma(\delta) = (1 - 1/n) \arccos(\cos(\delta)\cos(\varphi)) + (\delta/n)$$

5 La meilleure osculation des profils est trouvée pour  $n$  voisin de  $2m-2$  ;  $\rho_0$  ne doit pas trop s'éloigner de 0 ; des  $\varphi$  petits correspondent à des dents fines et quand  $\varphi$  tend vers  $\pi/2$ , les profils s'arrondissent et s'agrandissent sans limite ; les valeurs raisonnables de  $\varphi$  sont vers  $\pi/3$  ou  $\pi/4$ .

10 Une famille d'exemples de profils de la seconde classe est de manière similaire fournie par :

$$\rho(\delta) = (1 + 1/n)(1/\cos(\varphi)^2 - \cos(\delta)^2)^{1/2} - (1/n)\sin(\delta) - \rho_0$$

$$\sigma(\delta) = (1 + 1/n) \arccos(\cos(\delta)\cos(\varphi)) - (\delta/n)$$

15 La variabilité des paramètres (avant qu'on bute sur une singularité) est plus grande que dans le cas précédent, notamment en ce qui concerne  $\rho_0$ .

En résumé, l'arc donné doit présenter la propriété suivante: quand on le parcourt de son origine à son extrémité, sa normale "balaye régulièrement" le cercle primitif, et en particulier, les normales à l'origine et à l'extrémité de l'arc sont tangentes au primitif. Les arcs possibles se répartissent en deux classes disjointes: ceux dont la normale balaye le cercle primitif "dans le sens opposé" du point courant  $M$  et ceux dont la normale le balaye  
20 "dans le même sens" que le point courant  $M$ .

A ces deux possibilités correspondent les deux classes de solutions déjà discutées en ce qui concerne le problème de conjugaison intérieure maximale. La première classe est constituée de paires de profils tels que le profil intérieur ait un lobe de plus que le profil extérieur; la seconde, à l'inverse, est telle que le profil intérieur ait un lobe de moins que le profil extérieur. Ces deux classes ont des morphologies et des propriétés très différentes comme on l'a décrit précédemment.

35 Dans le cas général, les formules obtenues pour les arcs sont inversibles, en ce sens qu'on peut construire la

famille des quatre arcs qui définissent les deux profils, à partir de l'un quelconque d'entre eux. Ceci ne signifie pas qu'ils jouent des rôles complètement symétriques: en fait, des deux arcs qui constituent chaque profil, un des deux vient en contact avec les deux arcs de l'autre profil, et l'autre avec un seul d'entre eux. Telle est la conjugaison maximale, dont il résulte que les courbes d'action sont formées de trois arcs concourant en deux points de bifurcation  $B_M$  et  $B_N$ . Le passage du contact par ces "points triples" se produit au raccord entre les deux arcs qui constituent chacun des deux profils.

La paramétrisation selon l'invention a permis de déterminer pour les machines selon l'invention, des expressions mathématiques simples pour les courbes d'action, à savoir :

- le contact entre l'arc donné et son conjugué proximal est la courbe d'action proximale, d'équation:

$$x(\delta) = 1 - \sin(\delta) (\sin(\delta) - \rho(\delta))$$

$$y(\delta) = \cos(\delta) (\sin(\delta) - \rho(\delta))$$

- le contact entre l'arc donné et son conjugué distal est la courbe d'action distale, d'équation:

$$x(\delta) = 1 - \sin(\delta) (\sin(\delta) + \rho(\delta))$$

$$y(\delta) = -\cos(\delta) (\sin(\delta) + \rho(\delta))$$

- le contact entre le complémentaire proximal de l'arc donné et son conjugué proximal est la courbe d'action complémentaire proximale, d'équation:

$$x(\delta) = 1 - \sin(\delta) (((m-2)/m)\sin(\delta) + \rho(\delta))$$

$$y(\delta) = -\cos(\delta) (((m-2)/m)\sin(\delta) + \rho(\delta))$$

- le contact entre le complémentaire distal de l'arc donné et son conjugué distal est la courbe d'action complémentaire distale, d'équation:

$$x(\delta) = 1 - \sin(\delta) (((m-2)/m)\sin(\delta) - \rho(\delta))$$

$$y(\delta) = \cos(\delta) (((m-2)/m)\sin(\delta) - \rho(\delta))$$

Ces quatre arcs sont concourants aux points  $\delta = 0$  et  $\delta = \pi$ .

Les courbes d'action proximale et complémentaire distale passent radialement au-delà du point de roulement R, et les

deux autres de l'autre côté de l'origine O par rapport au point de roulement R. Seulement trois de ces quatre courbes d'action interviennent: la courbe d'action complémentaire distale est absente pour la première classe pour laquelle l'arc complémentaire distal n'intervient pas, et la courbe d'action complémentaire proximale est absente de la seconde classe pour laquelle l'arc complémentaire proximal n'intervient pas.

Les figures 7A, 7B, 8A, 8B, 9A, 9B, montrent différentes réalisations de machines de la première classe. Il apparaît que lorsque le nombre de lobes est petit, par exemple égal à 2 ou à 3, les creux lobaires sont simplement des régions moins saillantes, dont le profil peut même être convexe en ce qui concerne l'organe profilé intérieur.

Dans le cas très particulier où le profil (m-1)-lobé ne présente qu'un seul lobe (figures 7A et 7B), le sommet de lobe et le creux de lobe sont diamétralement opposés, si le profil est symétrique.

Les figures 10A à 10I représentent neuf variantes de géométries pour un profil intérieur quadri-lobé dans un organe profilé extérieur tri-lobé.

Les figures 11A à 11C montrent trois exemples d'une machine de première classe à rotor intérieur penta-lobé.

Le mode de réalisation de la figure 11B se caractérise par le fait que les deux contacts osculateurs ont lieu simultanément, de part et d'autre d'une capsule  $V_1$  dont le volume est alors maximal.

Et par comparaison, le mode de réalisation de la figure 11A est analogue à celui de la figure 1, en ce sens qu'une capsule  $V_2$  dont le bord arrière a dépassé le point de bifurcation  $B_M$  et a donc vu disparaître derrière elle une capsule  $V_1$ , n'a pas encore atteint par son bord avant l'autre point de bifurcation  $B_N$  où va naître devant elle une future nouvelle capsule  $V_3$  qui n'est donc indiquée que par un trait mixte.

A l'opposé, dans le mode de réalisation de la figure 11C, une même capsule  $V_2$  recouvre à la fois les deux points de bifurcation  $B_N$ ,  $B_M$ , de sorte qu'elle est encore suivie par

25

une capsule  $V_1$  mourante et déjà précédée par une capsule  $V_3$  naissante.

On va maintenant décrire en référence à la figure 12 un mode de distribution pour une machine, en particulier hydraulique, de la première classe.

A la figure 12, on considère le cas de la machine de la figure 11B. On considère qu'il y a contre chaque face radiale des organes profilés 1 et 2 un flasque fermant latéralement les capsules à l'exception des lumières que l'on va décrire. Ces flasques sont solidaires en rotation du profil extérieur 2. Dans le flasque situé du côté de l'observateur à la figure 12, des lumières 16 en forme de gouttes ou de virgules dont la pointe anguleuse coïncide avec le raccord des deux arcs constitutifs du profil extérieur, sur le versant arrière des lobes, ont été formés à travers le flasque (le flasque lui-même n'étant pas représenté).

A partir de leur pointe coïncidant avec le raccord des arcs constitutifs du profil 4, les lumières s'étendent d'une manière générale vers les axes O et O'. Ces lumières 16, selon qu'elles sont recouvertes ou non par l'organe profilé m-lobé, font sélectivement communiquer les capsules avec l'admission. Dans l'autre flasque, situé à l'extrémité axiale qui est cachée pour l'observateur de la figure 12, sont pratiquées des lumières 17 qui sont symétriques des lumières 16 par rapport à des rayons passant par les sommets de lobes du profil (m-1)-lobé 4, et dont la pointe anguleuse coïncide avec le raccord des deux arcs constitutifs du profil (m-1) lobé 4 sur le versant avant de chaque lobe. Les lumières 17 communiquent avec le refoulement hydraulique de la machine.

Grâce à la particularité de la géométrie représentée, selon laquelle la capsule  $V_1$  est adjacente d'une part à une capsule mourante au point  $B_M$  et d'autre part à une capsule naissante au point  $B_N$ , la capsule  $V_1$  n'est isolée que pendant un court instant alors que son volume est maximal et n'est donc pas en train de varier. A l'instant précédant, la capsule mourante communiquait encore avec la lumière de

26

refoulement 17 voisine tandis que la capsule  $V_1$  communiquait avec la lumière d'admission 16. A l'instant suivant la nouvelle capsule communiquera avec la lumière d'admission 16 correspondante, tandis que la capsule  $V_1$  communiquera  
5 avec la lumière de refoulement 17.

La figure 12A montre qu'en remplacement ou en complément des lumières 16 et 17 on peut également prévoir dans l'organe profilé (m-1)-lobé, des canaux d'admission 18 et de refoulement 19 qui débouchent à travers les versants  
10 respectifs des lobes du profil extérieur 4, sensiblement aux raccords entre les deux arcs constitutifs du profil 4 de façon à être obturés lorsque les profils sont en contact osculateur, puis à être progressivement dégagés par la capsule se formant entre les deux contacts résultant de la  
15 désintégration du contact osculateur, dans le cas de la naissance d'une capsule pour l'admission, ou à être progressivement obturés en ce qui concerne le refoulement, dans le cas de la mort d'une capsule.

Dans l'exemple représenté à la figure 13, la machine a  
20 une géométrie correspondant à celle de la figure 1, à part le nombre de lobes. La situation est également celle représentée à la figure 11A, mais lorsque les organes profilés 1 et 2 sont dans un angle différent autour de leurs axes respectifs.

25 La situation représentée à la figure 13 correspond sensiblement à celle de la figure 2A. En observant la figure 2D, on comprend que la capsule  $V_4$  dont le bord arrière a déjà dépassé le point de bifurcation  $B_M$  et communiquerait par conséquent déjà avec la lumière de refoulement d'une  
30 distribution selon la figure 12 n'a toujours pas atteint le point  $B_N$  et communiquerait donc toujours avec la lumière d'admission d'une telle distribution, ce qui est d'ailleurs nécessaire puisque le volume de la capsule  $V_4$  est encore en train de croître. C'est donc la communication avec la  
35 lumière de refoulement qu'il faut supprimer. C'est pourquoi il est prévu à la figure 13 un masque 21 solidaire du carter (de l'organe de liaison) et qui s'étend sur une certaine distance angulaire vers l'avant relativement au sens de

27

rotation défini par la flèche F, à partir du point de bifurcation  $B_M$ , pour occulter la lumière de refoulement dans cette zone.

Pour des raisons tout à fait symétriques, un masque 22 est prévu pour occulter les lumières d'admission sur une certaine zone angulaire à partir du point de bifurcation  $B_N$  vers l'arrière relativement au sens de rotation.

Dans la situation représentée à la figure 11C, la capsule  $V_2$  subit des variations de volume entre le moment où son bord avant vient recouvrir le point de bifurcation  $B_N$  et jusqu'à ce que son bord arrière ne recouvre plus l'autre point de bifurcation  $B_M$ .

Dans cette plage angulaire, la capsule  $V_2$  ne communiquerait plus avec aucune des lumières d'une distribution telle que celle de la figure 12. Pour pallier cette difficulté, des communications supplémentaires, commandées par exemple par une came lorsqu'une capsule telle que  $V_2$  passe dans cette zone, sont en principes nécessaires, où autres solutions analogues.

La figure 14 représente une réalisation particulièrement préférée pour une machine ayant un profil selon la figure 1. Le principe de distribution est le même qu'à la figure 12, et dans chaque plan perpendiculaire aux axes les profils 3 et 4 sont ceux de la figure 1. Toutefois, d'un plan à l'autre, chaque profil 3 ou 4 est décalé angulairement d'un pas déterminé autour de son axe respectif de façon à donner à l'ensemble des organes profilés une allure hélicoïde. Le décalage angulaire entre les profils des deux extrémités est tel que dans la situation représentée où la capsule  $V_5$  côté admission atteint le point de bifurcation  $B_N$ , cette capsule ayant elle-même une allure hélicoïde vient juste de quitter par son bord arrière l'autre osculation à l'autre point de bifurcation  $B_M$ . On rétablit ainsi grâce à l'hélicité la situation qui était obtenue par un profil dans un seul plan dans le cas des figures 11B et 12, à savoir qu'une même cavité est adjacente à une cavité naissante par son bord avant et à une cavité mourante par son bord arrière. Cette cavité  $V_5$  n'est donc

isolée qu'à un court instant où la vitesse de variation instantanée de son volume est égale à zéro. A la figure 14, on a représenté en trait plein les sommets du profil 3 de l'organe profilé intérieur et en trait mixte avec des croix certains des sommets des lobes du profil de l'organe profilé extérieur 4. Les centres O et O' des profils des plans successifs sont alignés selon des axes de rotation parallèles qui sont également parallèles à une droite  $R_R$  sur laquelle s'alignent les points de roulements R.

La figure 15 représente schématiquement un exemple de réalisation d'une machine de première classe selon l'invention. L'organe profilé intérieur 1 est solidaire d'un arbre 23 d'entraînement qui est moteur dans le cas d'une pompe et récepteur dans le cas d'un moteur hydraulique. L'arbre 23 est supporté en rotation, de part et d'autre de l'organe profilé 1, par deux paliers 24 dans un carter fixe 25 qui constitue l'organe de liaison selon l'invention. L'organe profilé extérieur 2 est supporté en rotation par des paliers périphériques 26 installés entre la paroi périphérique extérieure de l'organe profilé 2 et une couronne périphérique 27 faisant partie du carter 25. L'axe géométrique de l'arbre 23 correspond au centre O alors que l'axe géométrique, non représenté, des paliers 26 correspond au centre O'. Dans la zone où sont formés les profils 3 et 4, les organes profilés 1 et 2 sont installés entre deux flasques 28, 29 à travers lesquels sont formées les lumières d'admission 16 et respectivement de refoulement 17.

Les organes profilés 1 et 2 ont des faces d'extrémité planes et coplanaires sur lesquelles s'appuient de manière étanche et glissante des faces d'extrémité planes correspondantes des flasques 28 et 29 de façon à fermer les capsules sauf pour ce qui concerne les communications établies sélectivement par les lumières 16 et 17.

Il y a entre chaque flasque 28 ou 29 et une paroi d'extrémité correspondante 31 ou 32 du carter, une butée axiale respective 33, 34. Les flasques 28, 29 sont liés en rotation avec l'organe profilé extérieur 2 tout en étant libres en translation par rapport à celui-ci grâce à des

cannelures 36. L'espace intérieur compris entre la paroi d'extrémité 31 du carter d'une part et le flasque 28 et la face correspondante de l'organe profilé 1 d'autre part est aménagé en chambre soumise à la pression d'admission. De même, une chambre soumise à la pression de refoulement est formée entre l'autre paroi d'extrémité 32 du carter d'autre part et l'autre flasque 29 ainsi que l'autre face d'extrémité de l'organe profilé intérieur 1 d'autre part. Ces deux chambres sont fermées par des dispositifs d'étanchéité dynamiques 38, 39, 41, 42 qui empêchent le fluide hydraulique d'accéder aux paliers 24 et 26, et empêchent les deux chambres de communiquer l'une avec l'autre entre l'organe profilé extérieur 2 et la couronne 27 du carter.

En service, celle des deux chambres qui est soumise à la haute pression (l'admission dans le cas d'un moteur et le refoulement dans le cas d'une pompe) comprime l'empilement axial constitué par les deux flasques et les deux organes profilés 1 et 2 montés en sandwich entre eux, en appui axial contre la butée axiale de la chambre opposée. L'aire exposée à la pression pour fournir cette force pressante axiale est choisie pour que la poussée axiale soit appropriée pour réaliser l'étanchéité entre les flasques et les organes profilés, mais sans être excessive.

En outre, si les organes profilés sont hélicoïdes comme décrit en référence à la figure 14, la poussée axiale ainsi créée doit être suffisante pour équilibrer la tendance des organes profilés à se « dévisser » l'un par rapport à l'autre sous l'action des forces de travail s'exerçant entre les profils 3 et 4.

Par exemple, si avec le mode de réalisation représenté à la figure 15 la poussée axiale retenue est trop forte, on peut reporter radialement vers l'extérieur au-delà des butées axiales 33 et 34, donc entre chaque flasque et la paroi d'extrémité 31 correspondante du carter, les dispositifs d'étanchéité 41 et 42 représentés comme agissant au contact de l'arbre 23. Par ailleurs, l'arbre 23 doit être monté avec une certaine liberté de coulissement axial pour

30

permettre le flottement axial de l'organe profilé 1 entre les flasques 31 et 32. L'organe profilé extérieur 2 est libre en rotation de sorte que son entraînement résulte de sa coopération avec l'organe profilé 1 et le fluide de travail.

Dans l'exemple représenté à la figure 16, la machine est à cylindrée variable. Pour cela, les organes profilés 1 et 2 sont axialement coulissants l'un par rapport à l'autre. Dans l'exemple représenté, l'organe profilé 2 est fixe axialement en s'appuyant contre le carter 25 par l'intermédiaire d'une butée axiale 53 et d'un flasque 51. L'organe profilé 1 est axialement coulissant par rapport au carter au moyen d'un actionneur 49 qui n'est que schématiquement représenté, agissant sur l'organe 1 par l'intermédiaire d'une butée axiale 54 et d'un flasque 52. Le flasque 51 s'appuie de manière étanche contre une face d'extrémité plane de l'organe profilé extérieur 2 et présente en tant que bord radialement intérieur une face profilée 47 qui est exactement complémentaire du profil 3 de l'organe profilé 1. Ainsi, le flasque 51 est en contact étanche avec le profil 3 sur tout le pourtour de l'organe profilé 1, pour coulisser axialement par rapport à l'organe profilé 1 tout en étant entraîné en rotation par l'organe profilé 1.

De façon semblable, le flasque 52 est appuyé de façon étanche contre une face d'extrémité plane de l'organe profilé 1 et présente sur son pourtour extérieur une face profilée 48 qui est exactement complémentaire du profil 4 de l'organe profilé 2 de façon à s'y appuyer de manière étanche, axialement coulissante, et assurant l'entraînement en rotation du flasque 52 avec l'organe profilé 2. La distribution est assurée par des canaux 18, 19 selon le mode de réalisation de la figure 12A.

Les figures 17A à 22B représentent divers modes de réalisation, chacun en deux états de fonctionnement, pour des machines de la seconde classe, avec des nombres de lobes allant de 1 pour l'organe profilé intérieur et 2 pour l'organe profilé extérieur (figures 17A et 17B), à 7 pour

l'organe profilé intérieur et 8 pour l'organe profilé extérieur (figures 22A et 22B).

Par comparaison avec le mode de réalisation des figures 19A et 19B dans le cas où l'organe profilé intérieur est tri-lobé et l'organe profilé extérieur est quadri-lobé, les figures 23A à 25B représentent trois autres géométries possibles qui illustrent la grande variété des géométries réalisables pour les machines de seconde classe.

Dans le cas des machines de seconde classe, il y a deux courbes d'action du côté du point de roulement et une seule du côté opposé. Les courbes extérieures sont des arcs simples. La courbe intérieure peut présenter une boucle dont le point double est le point de roulement ; ce n'est pas une singularité des profils. Au moment où le contact passe par le point de roulement, le mouvement relatif des deux profils est un roulement sans glissement. Dans les cas limites pour lesquels la courbe d'action présente au point de roulement un point de rebroussement, la vitesse du point de contact s'y annule.

La description du cycle capsulaire est un peu compliquée par la possible occurrence du phénomène de "scission capsulaire" brièvement décrit ci-après. Dans tous les cas, une capsule naît au passage des versants avant des lobes du profil extérieur par le contact osculateur, à l'intersection  $B_N$  des courbes d'action située en amont de l'axe  $O_x$  portant le point R. Elle passe par son maximum après une rotation d'un peu plus d'un demi-tour. La capsule est alors du côté opposé au point de roulement par rapport aux pivots. La fermeture de la capsule est symétrique de son ouverture, et la "durée de vie" de la capsule est un peu supérieure à un tour.

Le phénomène de scission capsulaire est susceptible de se produire pour des capsules au voisinage de leur naissance ou de leur mort, c'est-à-dire quand deux lobes sont fortement engagés l'un dans l'autre du côté du point de roulement. Les volumes des capsules concernées sont petits. Le décours est le suivant: en un point intérieur à une capsule en cours de fermeture, les deux profils viennent en

un contact osculateur exceptionnel, et la capsule est coupée en deux sous-capsules. Le nouveau contact osculateur se désintègre en deux contacts simples entre lesquels naît une nouvelle capsule. Chacun de ces deux contacts rejoint le  
5 bord correspondant d'une des deux sous-capsules en cours de fermeture et celles-ci disparaissent (en général à des instants différents), l'une de manière normale au passage par la confluence des courbes d'action, et l'autre de manière exceptionnelle à travers une osculation qui  
10 disparaît sur place. En ce point la nouvelle capsule coalesce avec une autre nouvelle capsule qui est née normalement à la bifurcation des courbes d'action.

Ce phénomène un peu délicat de scission capsulaire a lieu dans le cas où les profils deviennent tangents à la  
15 courbe d'action externe du côté du point de roulement, mais en-dehors de l'axe Ox.

Les figures 26A et 26B représentent une géométrie particulièrement bien adaptée à la réalisation d'un compresseur. Il s'agit d'une machine de deuxième classe,  
20 avec une organe profilé intérieur di-lobé et un organe profilé extérieur tri-lobé. Une machine de ce genre et plus généralement une machine selon l'invention a pour la réalisation d'un compresseur les particularités avantageuses suivantes, qui vont l'une et l'autre dans le sens de la  
25 limitation des fuites :

- les capsules sont entièrement vidées; on peut donc par un simple clapet supprimer le reflux vers la basse pression ;
- la courbure relative des surfaces en "contact" (en général, ces machines ne sont pas auto-entraînées et on ne  
30 va pas jusqu'au contact) est bornée ; les fuites se font donc à travers un passage qui est non seulement aussi étroit que le permet la précision de fabrication, mais qui de plus reste étroit sur une certaine longueur.

On souhaite élever le maximum d'obstacles entre le  
35 versant à basse pression et le versant à haute pression du compresseur. Il est donc naturel de s'intéresser plutôt à la deuxième classe de profils conjugués: en effet, pendant la phase de croissance, les capsules consécutives restent à la

33

pression d'admission, et pendant la phase de décroissance du volume, la compression est progressive. Il n'y a qu'en fin de compression que la capsule en cours de fermeture est adjacente à deux capsules à basse pression: le long de la  
5 courbe d'action externe avec une capsule naissante et le long de la courbe d'action interne avec une capsule en croissance. Dans les deux cas les surfaces en contact ont leurs concavités dans le même sens et la courbure relative est petite (elle s'annule en fin de refoulement). On  
10 choisira un profil qui comme celui des figures 26A et 26B ne donne pas lieu à scission capsulaire.

L'exécution hélicoïde est possible et on y retrouve les bonnes qualités de contact du cas droit.

Dans le cas d'un compresseur, on peut préférer garder  
15 fixe le profil extérieur (qui devient alors celui du carter) et donner au rotor un mouvement planétaire, l'organe de liaison est alors en rotation par rapport au carter autour de l'axe 0 de l'organe profilé extérieur.

Le cas du compresseur est aussi celui où les  
20 propriétés du fluide changent entre l'admission et le refoulement; de plus, les paramètres à optimiser ne sont pas les mêmes à l'admission (limitation de la perte de charge) et au refoulement (limitation des fuites). Pour ces raisons, on peut préférer utiliser des profils asymétriques. Un  
25 exemple en est donné aux figures 27A et 27B.

Dans l'exemple représenté aux figures 28A à 28F, un organe profilé intermédiaire 62 comporte un premier profil 64 d'ordre  $m-1$  sur sa face radialement intérieure, et un deuxième profil 74 d'ordre  $(m-1)$  sur sa face radialement  
30 extérieure. Les deux profils ont même cercle primitif centré en  $O'$ . Chacun des profils  $(m-1)$ -lobés 64, 74, coopère avec un profil  $m$ -lobé 63, 73 d'un organe profilé 61 qui est représenté fixe dans cet exemple. Les deux profils 63, 73 ont également un cercle primitif commun, qui est centré en  
35  $O$ . Les profils 63 et 64 forment une machine de la première classe selon l'invention et les profils 73 et 74, une machine de la deuxième classe selon l'invention.

Dans l'exemple représenté aux figures 29A à 29F, la différence est que l'organe profilé intermédiaire 82 porte deux profils m-lobés coopérant avec deux profils (m-1)-lobés appartenant à l'organe profilé 81.

5 Une telle géométrie pourrait permettre de fabriquer un moteur thermique à combustion interne dans lequel, par exemple, la machine intérieure servirait à l'admission et à la compression, tandis que la machine extérieure servirait à la détente et à l'échappement.

10 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et représentés.

Dans les exemples décrits, et plus particulièrement dans celui de la figure 15, l'organe profilé intérieur est entraîné en rotation et l'organe profilé extérieur tourne  
15 grâce au moment de rotation transmis aux points de contact entre l'organe profilé intérieur et l'organe profilé extérieur qui est libre en rotation dans le carter. En outre, dans le fonctionnement en moteur, la pression du fluide hydraulique tend à faire évoluer les cavités soumises  
20 à cette pression dans le sens de l'agrandissement de leur volume, ce qui contribue à solliciter l'organe profilé extérieur dans le sens de rotation voulu. Mais on peut également prévoir un entraînement extérieur, par exemple par engrenage, qui contraint les deux organes profilés à tourner  
25 dans un rapport de vitesse correspondant au rapport du nombre de leurs lobes. On peut également entraîner l'organe profilé extérieur et laisser libre l'organe profilé intérieur. On peut encore fixer l'un des deux organes profilés au carter et entraîner l'autre organe profilé dans  
30 un mouvement planétaire en faisant tourner le centre du cercle primitif de l'autre organe profilé autour du centre du cercle primitif de l'organe profilé fixe. Dans cette configuration, on peut laisser ledit autre organe profilé se positionner librement autour de son propre axe ou au  
35 contraire déterminer, par exemple par un engrenage, sa position angulaire en fonction de la position angulaire de l'organe de liaison autour du centre de l'organe profilé fixe.

L'invention est compatible avec le principe Moineau selon lequel, comme décrit dans le US-A-1 892 217, la forme hélicoïde des deux organes profilés s'étend sur suffisamment de pas d'hélice pour qu'aucune cavité ne débouche  
5 simultanément aux deux extrémités axiales de la machine. Grâce à la précision et la qualité de la géométrie selon l'invention, il est possible de limiter le décalage angulaire total entre les profils aux deux extrémités de la machine à une valeur à peine supérieure à la durée de vie de  
10 la capsule dans chaque plan perpendiculaire aux axes..

Le pas d'hélice n'est pas nécessairement le même tout le long de la machine, et on peut encore faire varier le profil le long des axes de la machine. Ceci permet par exemple de réaliser un compresseur ou une machine de détente  
15 dans laquelle le volume des capsules en cours de transfert varie progressivement.

REVENDICATIONS

1. Machine à capsulisme comprenant :

- deux organes profilés (1, 2 ; 12, 11), intérieur et respectivement extérieur, qui portent un profil annulaire intérieur et respectivement un profil annulaire extérieur (3, 4 ; 14, 13),
- un organe de liaison (25) lié de façon rotative avec chacun des deux organes profilés (1, 2 ; 12, 11) selon un axe de rotation respectif (O, O' ; O', O),

et dans laquelle :

- les profils sont l'un (3 ; 13) m-lobé, l'autre (4 ; 14) (m-1)-lobé, et sont définis autour de l'axe de rotation de leur organe profilé respectif par m et respectivement (m-1) motif(s) comprenant un arc de dôme de lobe et un arc de creux de lobe,
- chaque profil est l'enveloppe de l'autre lors de rotations relatives des organes profilés autour de leur axe de rotation respectif avec engrènement de leurs profils qui définissent entre eux les contours de capsules, et roulement sans glissement entre deux cercles primitifs centrés sur les axes de rotation respectifs,

caractérisée en ce que dans les positions relatives des organes profilés (1, 2 ; 12, 11) pour lesquelles un point de contact ( $C_2$ ) entre les profils se trouve sur la tangente (T) aux deux cercles primitifs (6, 7) en leur point de roulement mutuel (R), les organes profilés (1, 2 ; 12, 11) présentent audit point de contact des courbures continues égales et de même sens ayant pour centre commun ledit point de roulement (R).

2. Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que :

- les points M d'un arc donné qui est l'un des deux arcs du profil m-lobé étant définis par deux fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$  reliant des paramètres  $\rho$ ,  $\delta$ , et  $\sigma$  qui sont :

$\rho$  : mesurée le long de la normale à l'arc au point M, la distance entre le point M et le milieu N entre les deux

37

- points d'intersection P et D, proximal et respectivement distal, de ladite normale avec le cercle primitif de centre O du profil m-lobé, et de rayon supposé égal à 1, le point d'intersection proximal P étant situé entre le point M de l'arc donné et le point d'intersection distal D,
- $\delta$  : demi-distance angulaire entre D et P par rapport au centre O, mesurée dans le sens direct,
- $\sigma$  : angle polaire du point d'intersection proximal par rapport à O, diminué de  $\delta$ ,
- les fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$  ayant un domaine de définition allant de  $\delta=0$  à  $\delta=\pi$ ,
- deux arcs du motif du profil (m-1)-lobé sont un arc conjugué proximal et un arc conjugué distal définis ci-après dans un repère cartésien ayant pour origine le centre O du cercle primitif associé au profil m-lobé :

a) arc conjugué proximal :

$$x_{CJP}(\delta) = (1 + (\sin(\delta) - m\rho(\delta)) \sin(\frac{\delta - m\sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \cos(\frac{\delta - m\sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

$$y_{CJP}(\delta) = ((\sin(\delta) - m\rho(\delta)) \cos(\frac{\delta - m\sigma(\delta)}{m-1}) - (m-1) \cos(\delta) \sin(\frac{\delta - m\sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

b) arc conjugué distal :

$$x_{CJD}(\delta) = (1 + (\sin(\delta) + m\rho(\delta)) \sin(\frac{\delta + m\sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \cos(\frac{\delta + m\sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

$$y_{CJD}(\delta) = (- (\sin(\delta) + m\rho(\delta)) \cos(\frac{\delta + m\sigma(\delta)}{m-1}) + (m-1) \cos(\delta) \sin(\frac{\delta + m\sigma(\delta)}{m-1}))/m$$

3. Machine selon la revendication 2, caractérisée en ce que la dérivée  $\rho'$  par rapport à  $\delta$  pour  $\delta = 0$  et  $\delta = \pi$  satisfait les inégalités strictes suivantes :

$$1/m > \rho'(0) > 0$$

$$-1/m < \rho'(\pi) < 0$$

en ce que le profil m-lobé est intérieur au profil (m-1)-lobé, et

en ce que le motif m-lobé est complété par un arc complémentaire proximal défini par ses coordonnées dans ledit repère cartésien :

$$x_{CpP}(\delta) = ((2 \sin(\delta) - m \rho(\delta)) \sin(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \cos(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta))) / m$$

$$y_{CpP}(\delta) = ((2 \sin(\delta) - m \rho(\delta)) \cos(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta)) - m \cos(\delta) \sin(\frac{2\delta}{m} - \sigma(\delta))) / m$$

4. Machine selon la revendication 3, caractérisée par la réalisation des conditions suivantes sur tout l'intervalle  $]0, \pi[$  de variation de la coordonnée  $\delta$ :

$$(\rho(\delta)\rho'(\delta))/\cos(\delta) - \sin(\delta) \neq 0$$

$$(m\rho(\delta) - 2\sin(\delta))\rho'(\delta)/(m\cos(\delta)) - (2m\rho(\delta) + (m^2 - 4)\sin(\delta))/m^2 \neq 0$$

$$(m\rho(\delta) - \sin(\delta))\rho'(\delta)/((m-1)\cos(\delta)) - (\rho(\delta) + (m-2)\sin(\delta))/(m-1) \neq 0$$

$$(m\rho(\delta) + \sin(\delta))\rho'(\delta)/((m-1)\cos(\delta)) + (\rho(\delta) - (m-2)\sin(\delta))/(m-1) \neq 0$$

5. Machine selon la revendication 3 ou 4, caractérisée en ce que les fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$  sont :

$$\rho(\delta) = (1 - 1/n)(1/\cos(\varphi)^2 - \cos(\delta)^2)^{1/2} + (1/n)\sin(\delta) + \rho_0$$

$$\sigma(\delta) = (1 - 1/n) \arccos(\cos(\delta) \cos(\varphi)) + (\delta/n)$$

qui définissent l'arc donné comme une courbe parallèle à une épicycloïde raccourcie et où :

$n$  est un nombre réel qui est l'ordre de l'épicycloïde

$\varphi$  est un paramètre angulaire, compris entre 0 et  $\pi/2$ ,

qui décrit le raccourcissement

$\rho_0$  est un paramètre caractérisant la distance à l'épicycloïde de base.

6. Machine selon la revendication 5, caractérisée, en ce qu'on prend  $n$  voisin de  $2m-2$ .

7. Machine selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- deux flasques (28, 29) entre lesquels sont installés les organes profilés (1, 2), et qui sont liés en rotation avec l'un des organes profilés ;

- des lumières d'admission (16) à travers un premier (28) des flasques au voisinage d'un versant de chacun des dômes de lobe du profil de l'organe profilé auquel les flasques (28, 29) sont liés en rotation ;

- des lumières de refoulement (17) à travers un deuxième des flasques au voisinage d'un autre versant de chacun desdits dômes de lobe.

8. Machine selon la revendication 7, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (21, 22) pour obturer sélectivement certaines au moins des lumières dans au moins une zone angulaire voisine d'une intersection entre une tangente commune (T) des cercles primitifs (6, 7) et d'autre part des courbes d'action ( $CA_1$ ,  $CA_2$ ,  $CA_3$ ) définies par les trajectoires des points de contact entre profils.

9. Machine selon la revendication 7, caractérisée en ce qu'il y a entre un profil des organes profilés (1, 2) du côté de l'un des flasques et un profil des organes profilés du côté de l'autre flasque un décalage angulaire tel que chaque capsule ( $V_5$ -FIG 15) passant par le maximum de son volume cesse de communiquer avec une lumière (16) à travers l'un des flasques sensiblement au moment où elle commence à communiquer avec une lumière (17) à travers l'autre flasque.

10. Machine selon l'une des revendications 3 à 9, caractérisée en ce qu'elle comprend dans l'organe profilé extérieur, des canaux de distribution (18, 19) débouchant d'une part dans le profil (4) au raccord des arcs et communiquant pour un versant des dômes de lobe avec l'admission et pour l'autre versant des dômes de lobe avec le refoulement.

11. Machine selon la revendication 2, caractérisée en ce que la dérivée  $\rho'$  par rapport à  $\delta$  pour  $\delta = 0$  et  $\delta = \pi$  satisfait les inégalités strictes suivantes :

$$-1/m < \rho'(0) < 0$$

$$1/m > \rho'(\pi) > 0$$

en ce que le profil m-lobé est extérieur au profil (m-1)-lobé ; et

en ce que le motif m-lobé est complété par un arc complémentaire distal défini par ses coordonnées dans ledit repère cartésien de centre O :

$$x_{CPD}(\delta) = ((2 \sin(\delta) + m \rho(\delta)) \sin(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \cos(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)))/m$$

40

$$y_{CpD}(\delta) = (-(2 \sin(\delta) + m \rho(\delta)) \cos(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta)) + m \cos(\delta) \sin(\frac{2\delta}{m} + \sigma(\delta))) / m$$

12. Machine selon la revendication 11, caractérisée par la réalisation des conditions suivantes sur tout l'intervalle  $]0, \pi[$  de variation de la coordonnée  $\delta$  :

5  $(\rho(\delta)\rho'(\delta))/\cos(\delta) - \sin(\delta) \neq 0$

$$(m \rho(\delta) + 2 \sin(\delta))\rho'(\delta)/(m \cos(\delta)) + (2m \rho(\delta) - (m^2 - 4)\sin(\delta))/m^2 \neq 0$$

$$(m \rho(\delta) - \sin(\delta))\rho'(\delta)/((m-1) \cos(\delta)) - (\rho(\delta) + (m-2)\sin(\delta))/(m-1) \neq 0$$

$$(m \rho(\delta) + \sin(\delta))\rho'(\delta)/((m-1) \cos(\delta)) + (\rho(\delta) - (m-2)\sin(\delta))/(m-1) \neq 0$$

13. Machine selon la revendication 11 ou 12, caractérisée en ce que les profils ne passent que par un seul point de tangence avec la trajectoire la plus externe (CB<sub>3</sub>) suivie par les points de contact.

14. Machine selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisée en ce que les fonctions  $\rho(\delta)$  et  $\sigma(\delta)$  sont:

15  $\rho(\delta) = (1 + 1/n)(1/\cos(\varphi)^2 - \cos(\delta)^2)^{1/2} - (1/n)\sin(\delta) - \rho_0$

$$\sigma(\delta) = (1 + 1/n) \arccos(\cos(\delta) \cos(\varphi)) - (\delta/n)$$

qui définissent l'arc donné comme une courbe parallèle à une épicycloïde raccourcie et où :

$n$  est un nombre réel qui est l'ordre de l'épicycloïde

20  $\varphi$  est un paramètre angulaire, compris entre 0 et  $\pi/2$ , qui décrit le raccourcissement

$\rho_0$  est un paramètre caractérisant la distance à l'épicycloïde de base.

15. Machine selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisée en ce que chaque lobe est symétrique par rapport à un plan axial passant par le sommet du lobe.

16. Machine selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisée en ce que chaque lobe est dissymétrique par rapport à un plan axial passant par le sommet du lobe.

30 17. Machine selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisée en ce que l'organe de liaison est solidaire d'un carter (25), et en ce que l'un des organes profilés est au moins indirectement lié en rotation avec un arbre d'entraînement (23).

18- Machine selon la revendication 17, caractérisée en ce que l'autre organe profilé est libre en rotation autour de son axe de rotation.

19. Machine selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisée en ce que les profils sont évolutifs chacun le long de l'axe de rotation de son organe profilé respectif, les points de tangence des cercles primitifs étant alignés sur une droite parallèle au deux axes de rotation.

20. Machine selon la revendication 19, caractérisée en ce que les profils sont évolutifs par décalage angulaire d'un profil constant autour de l'axe de rotation.

21. Machine selon la revendication 20, caractérisée en ce que les profils évoluent en hélice à pas constant.

22. Machine selon l'une des revendications 1 à 18 ou 31, caractérisée en ce que les profils sont constants le long de leur axe de rotation respectif, présentent un pas de décalage angulaire constant, fini ou infini, le long de leur axe de rotation respectif, en ce que les organes profilés sont déplaçables axialement l'un par rapport à l'autre, et en ce que la machine comprend à chaque extrémité un flasque (51, 52) complémentaire de l'un respectif des profils et appuyé de façon étanche contre une face d'extrémité de l'organe profilé portant l'autre profil.

23. Machine selon l'une des revendications 19 à 21, caractérisée en ce que le décalage angulaire des profils d'une face d'extrémité des organes profilés à l'autre est à peine supérieur à l'angle de durée de vie de chaque capsule par rapport à l'organe profilé respectif.

24. Machine selon l'une des revendications 1 à 23, caractérisée en ce que les organes profilés sont montés entre deux flasques (28, 29) fermant les capsules en leurs extrémités axiales, et en ce que la machine comprend des moyens presseurs pour presser axialement les flasques contre les organes profilés.

25. Machine selon la revendication 24, caractérisé en ce que chaque flasque (28, 29) est solidaire en rotation de l'un des organes profilés.

26. Machine selon la revendication 24 ou 25, caractérisée en ce que les moyens presseurs sont des moyens pour soumettre à la haute pression du fluide de travail au moins une partie d'une face extérieure d'un premier des  
5 flasques pour pousser le premier flasque contre les organes profilés et pousser ainsi les organes profilés contre le deuxième flasque.

27. Machine selon la revendication 26, caractérisée en ce que la machine comprend des moyens de distribution qui  
10 comprennent au moins une lumière (16, 17) formée dans le premier flasque (28, 29) pour le fluide de travail à haute pression.

28. Machine selon la revendication 27, caractérisée en ce que les moyens de distribution comprennent au moins une  
15 lumière formée dans le deuxième flasque pour le fluide basse pression.

29. Machine selon la revendication 27 ou 28, caractérisée en ce que les lumières (28, 29) sont liés en rotation avec l'organe profilé extérieur (2).

20 30. Machine selon l'une des revendications 1 à 26, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens de distribution qui comprennent des lumières liées en rotation avec l'un des organes profilés, de préférence l'organe profilé (m-1)-lobé (2), et qui sont sélectivement  
25 découvertes et masquées par l'autre organe profilé (1).

31. Machine selon la revendication 5 ou 30, caractérisée en ce que les lumières présentent des pointes coïncidant avec le point de raccord des arcs composant le profil dont les lumières (16,17) sont solidaires, du côté  
30 naissance des capsules pour les lumières d'admission et du côté mort des capsules pour les lumières de refoulement.

32. Machine selon l'une des revendications 1 à 30, caractérisée en ce que l'un des organes profilés (61, 81) porte deux profils m-lobés l'un sur une face annulaire  
35 radialement intérieure et l'autre sur une face annulaire radialement extérieure, qui ont un même cercle primitif et coopèrent chacun avec un profil (m-1)-lobé, et en ce que les

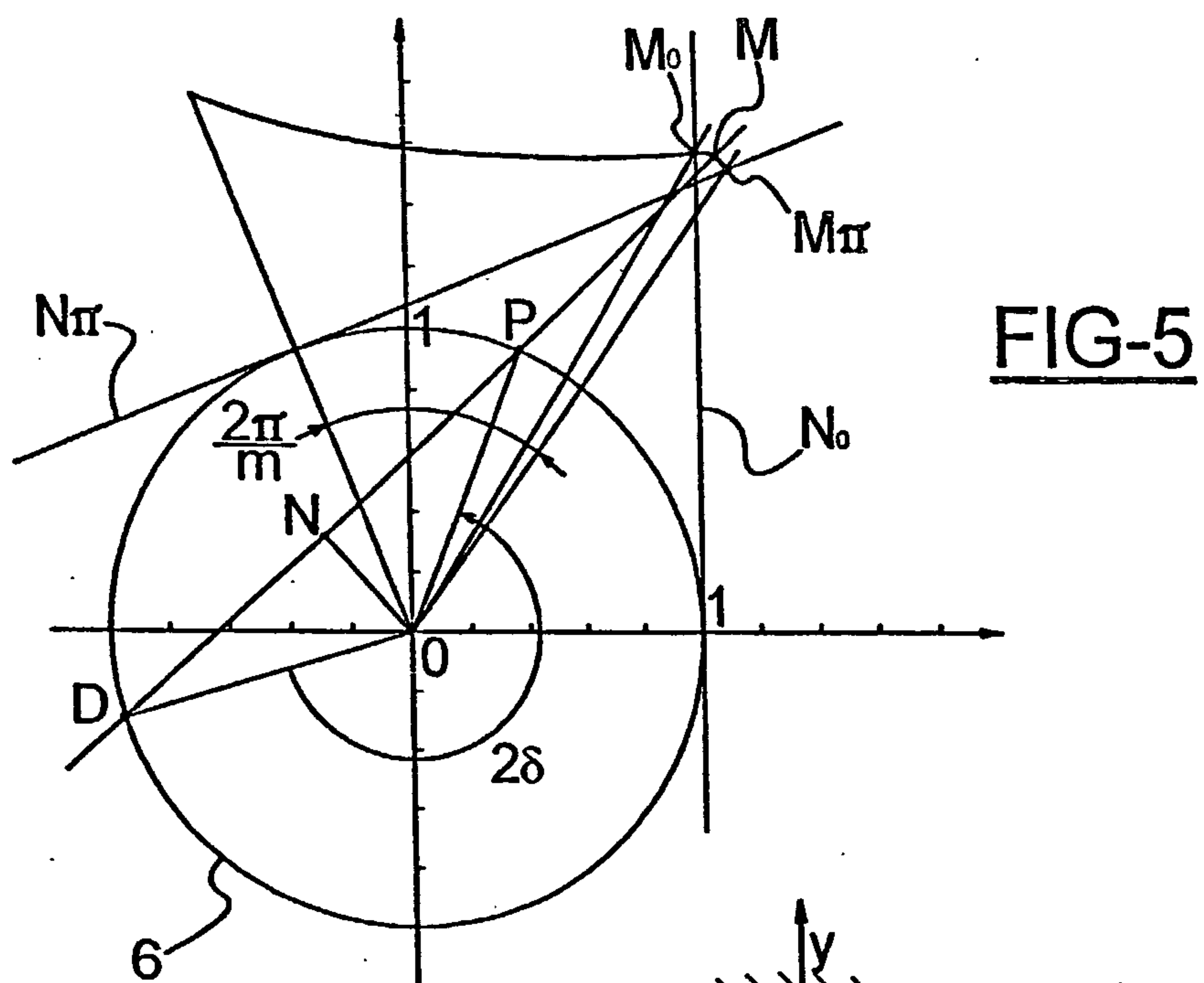
43

profils (m-1)-lobés ont même cercle primitif et sont portés par l'autre organe profilé.

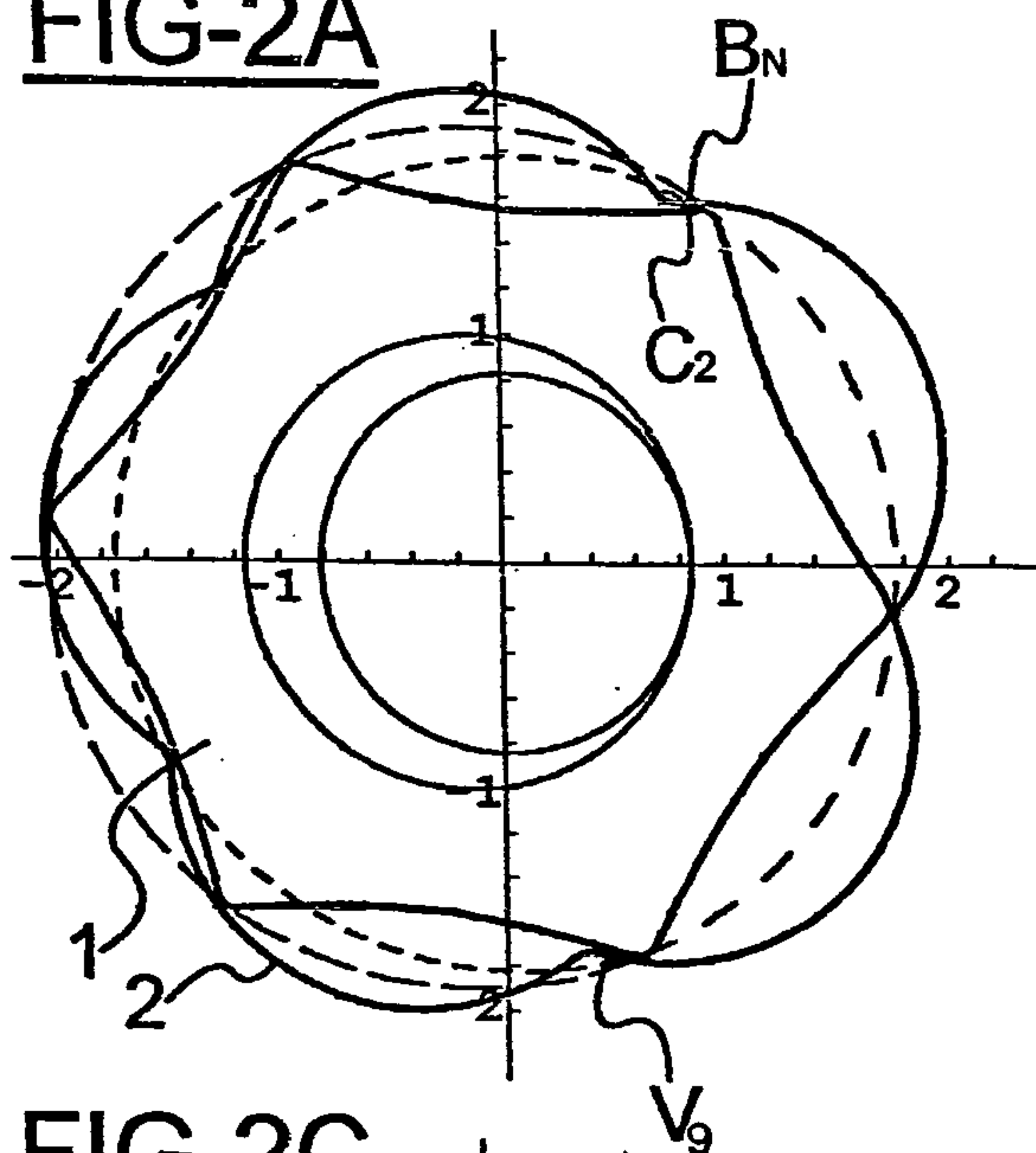
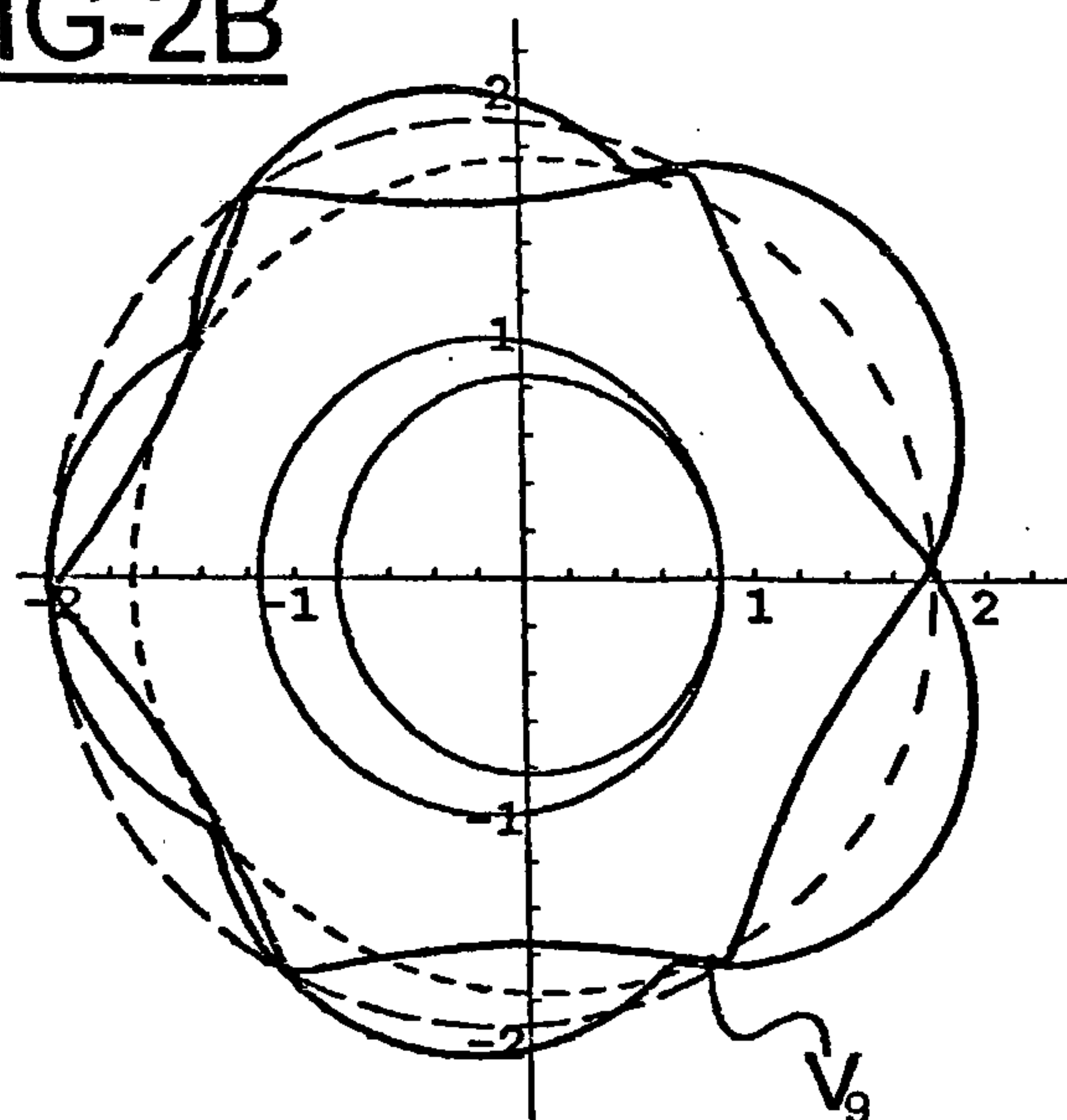
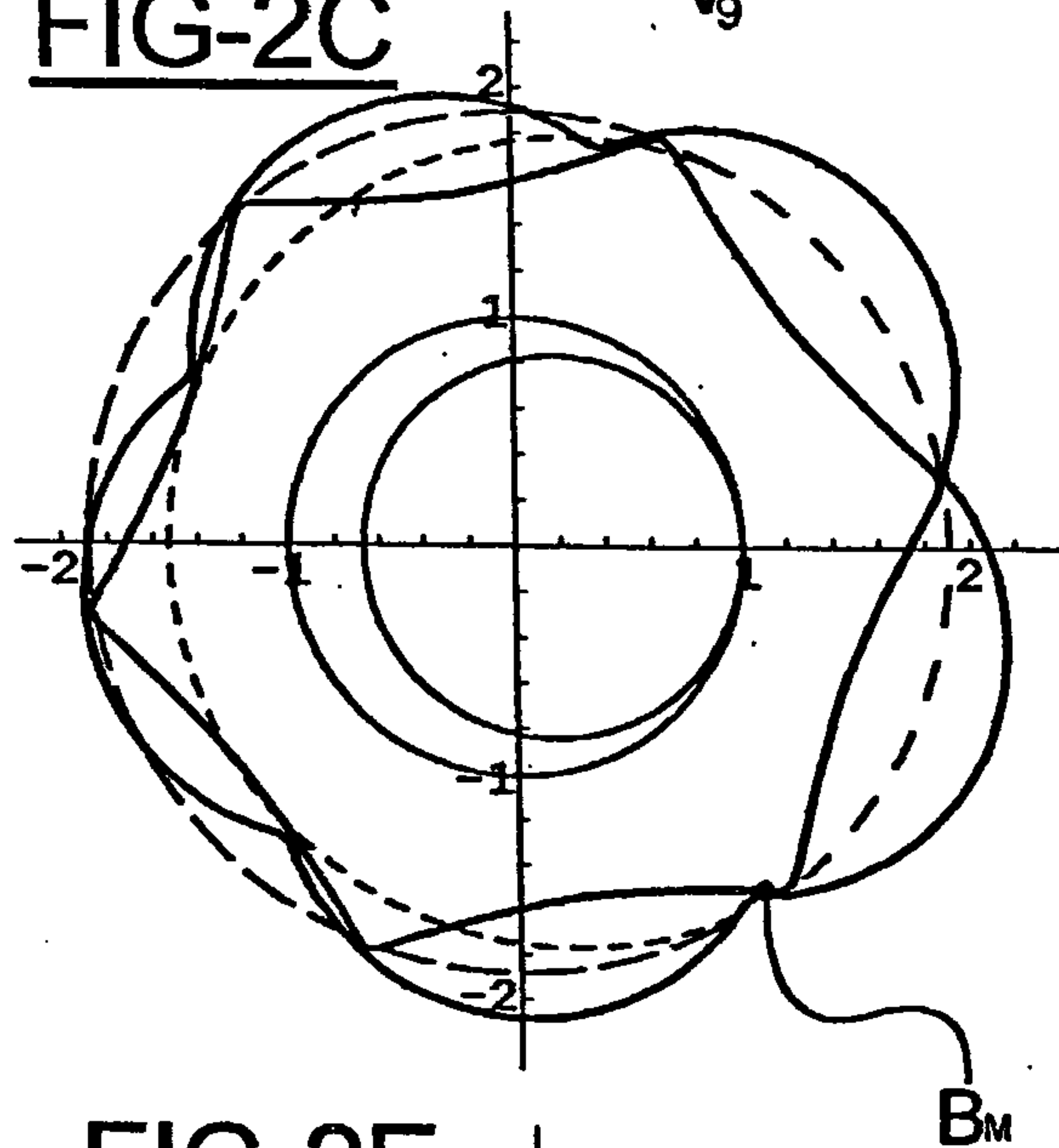
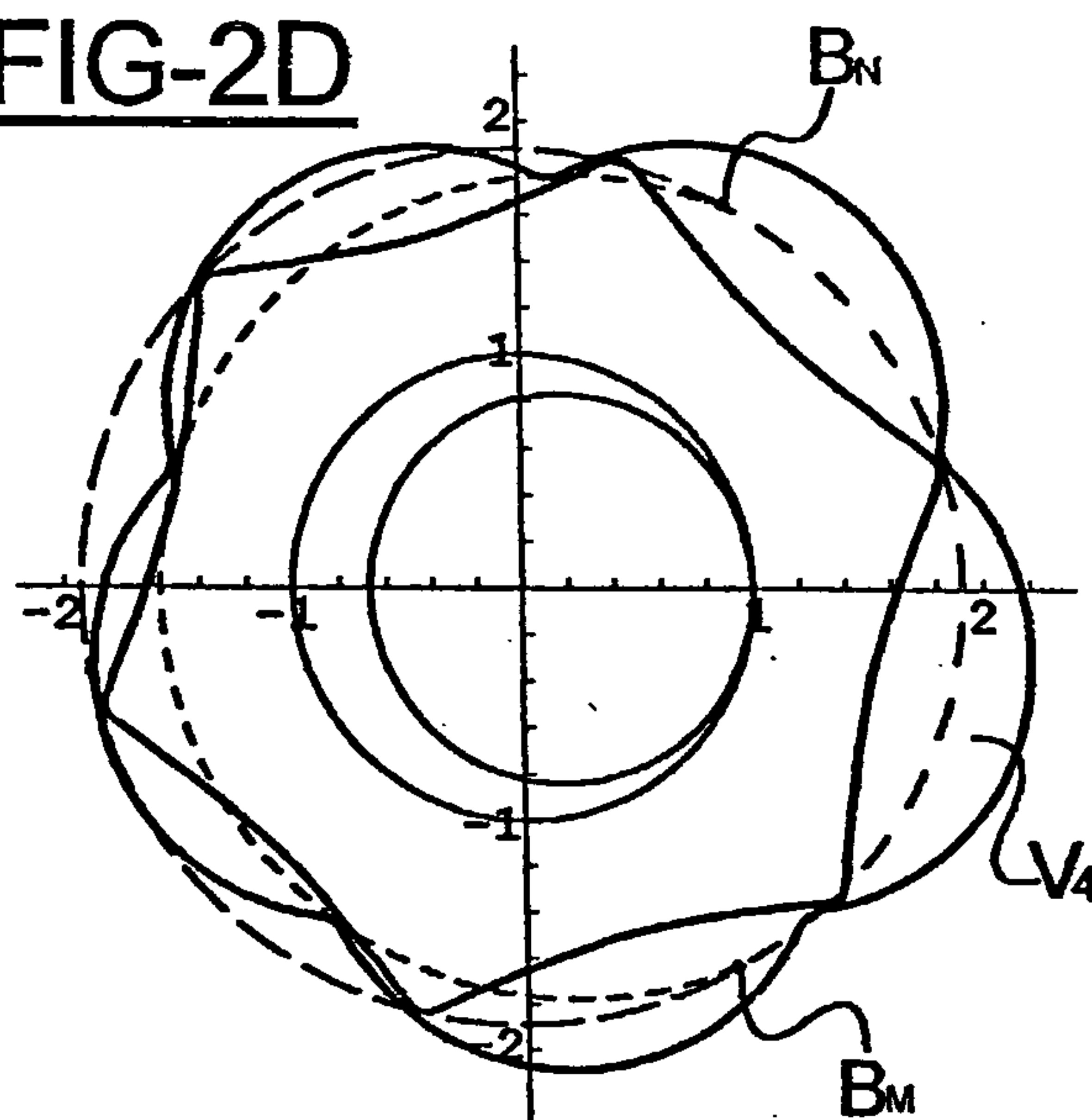
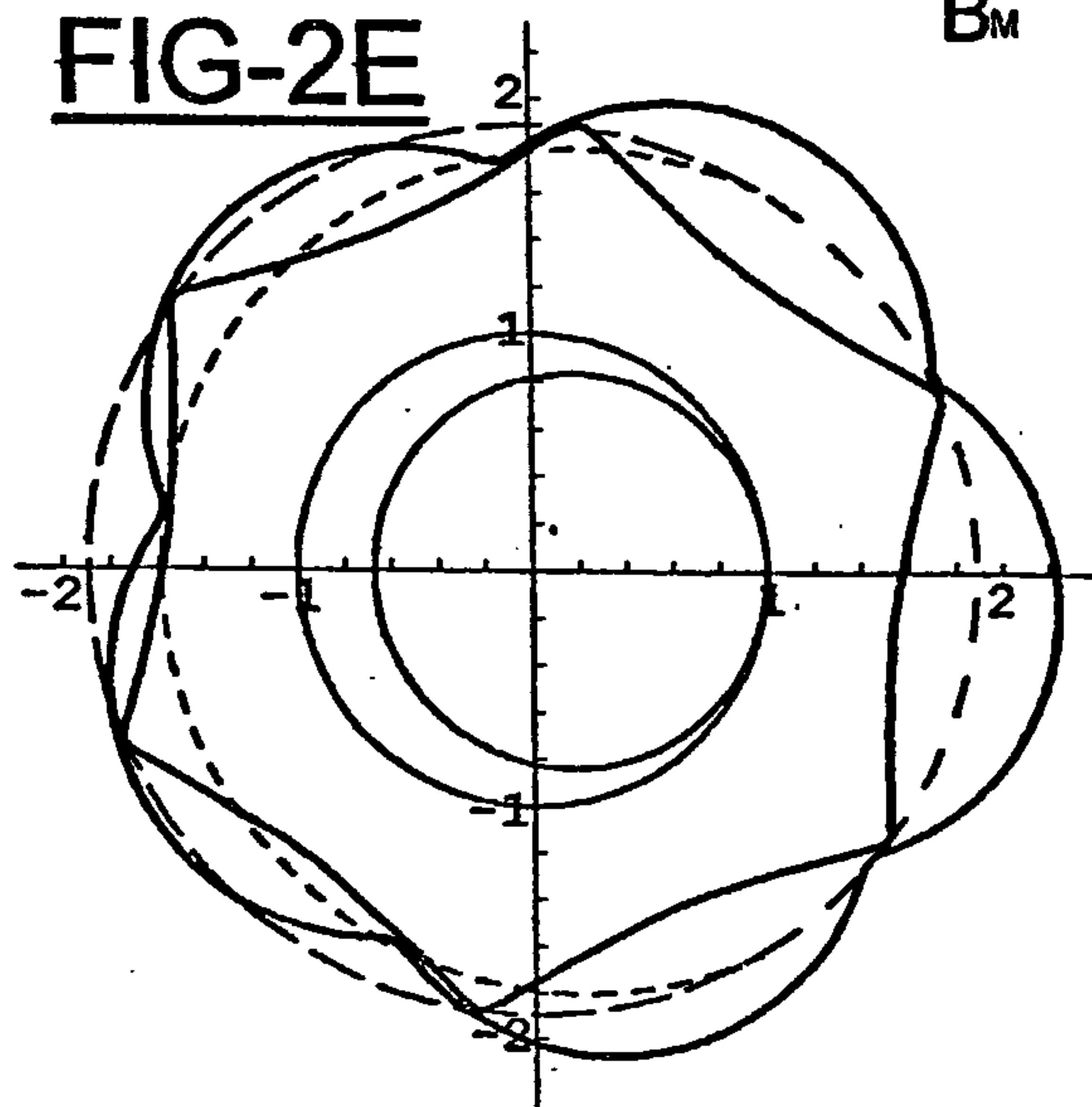
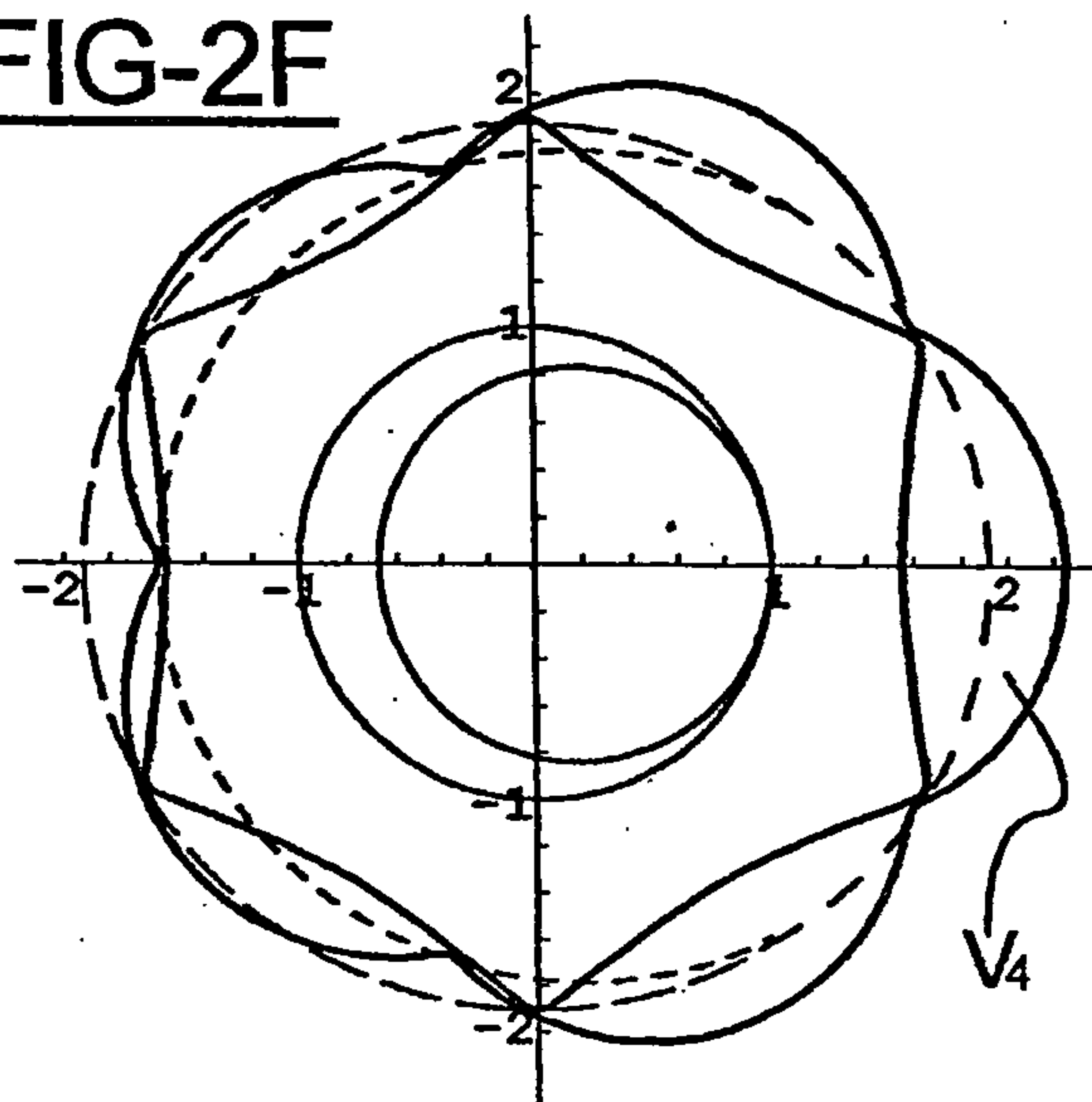
33. Machine selon la revendication 32, caractérisée en ce que les deux profils m-lobés (83, 93) sont tournés à l'opposé l'un de l'autre et se trouvent radialement entre les deux profils (m-1)-lobés (84, 94).

34. Machine selon la revendication 32, caractérisée en ce que les deux profils m-lobés (63, 73) sont tournés l'un vers l'autre et se trouvent radialement de part et d'autre des deux profils (m-1)-lobés (64, 74).

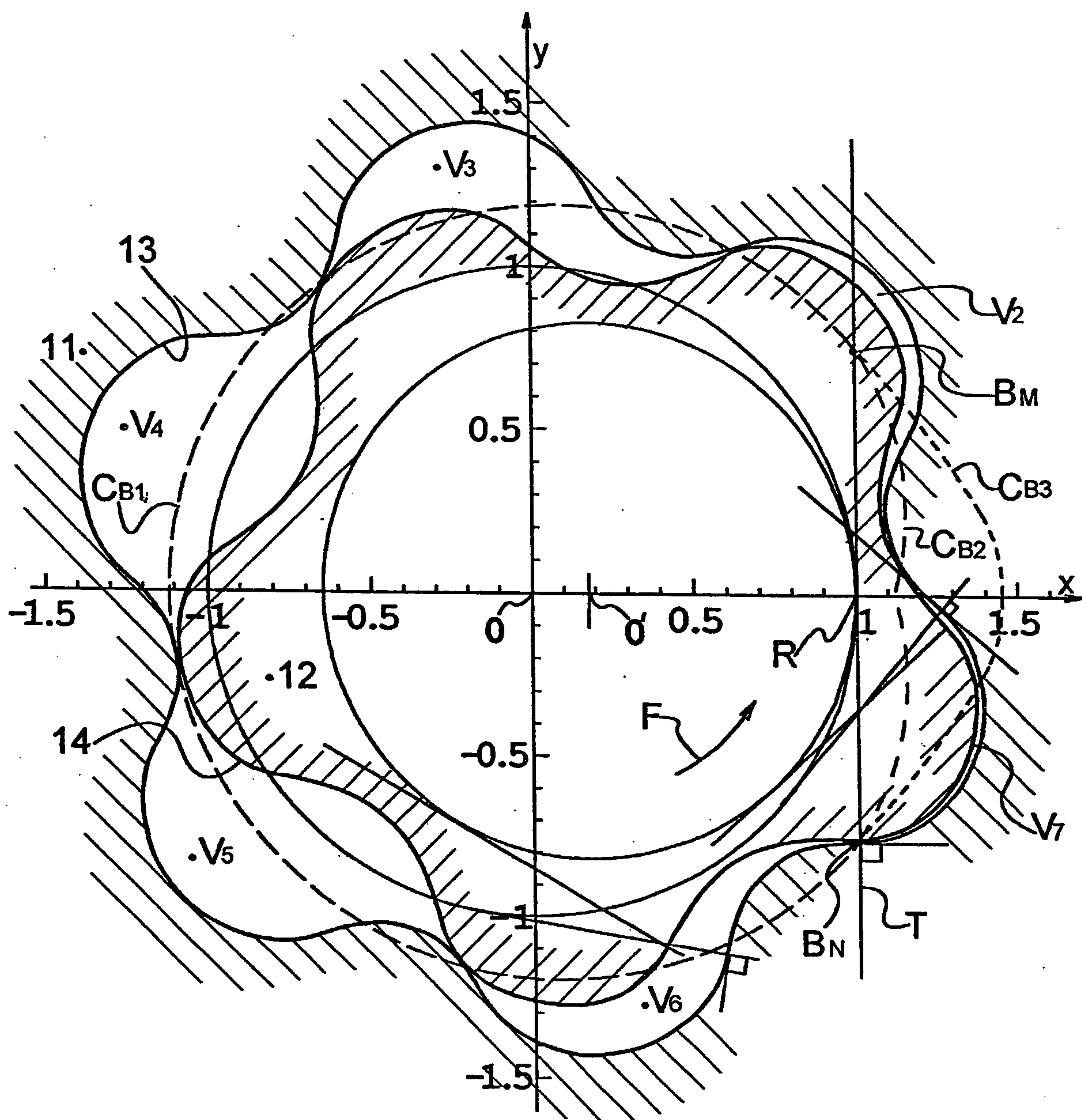
1/19



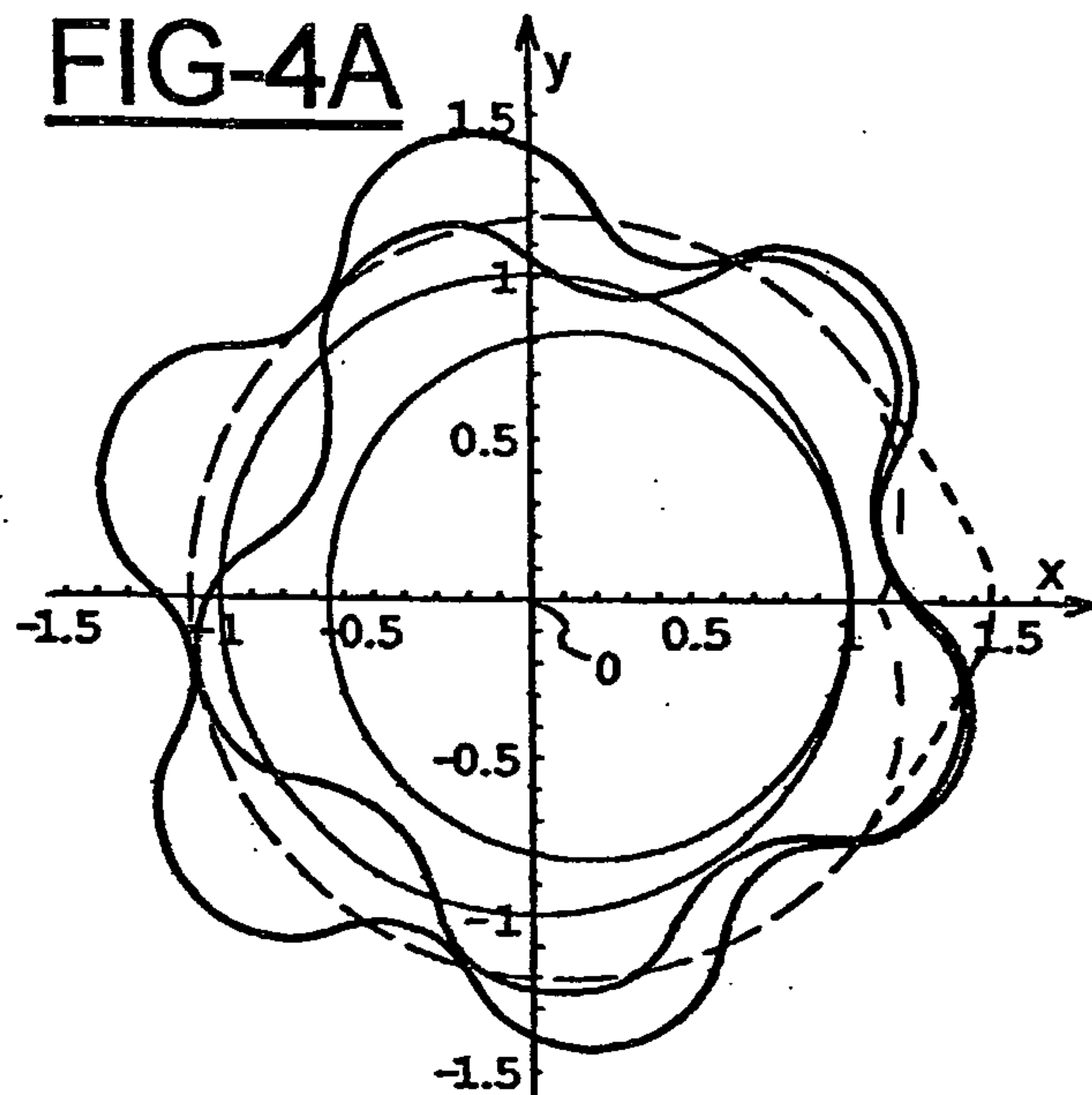
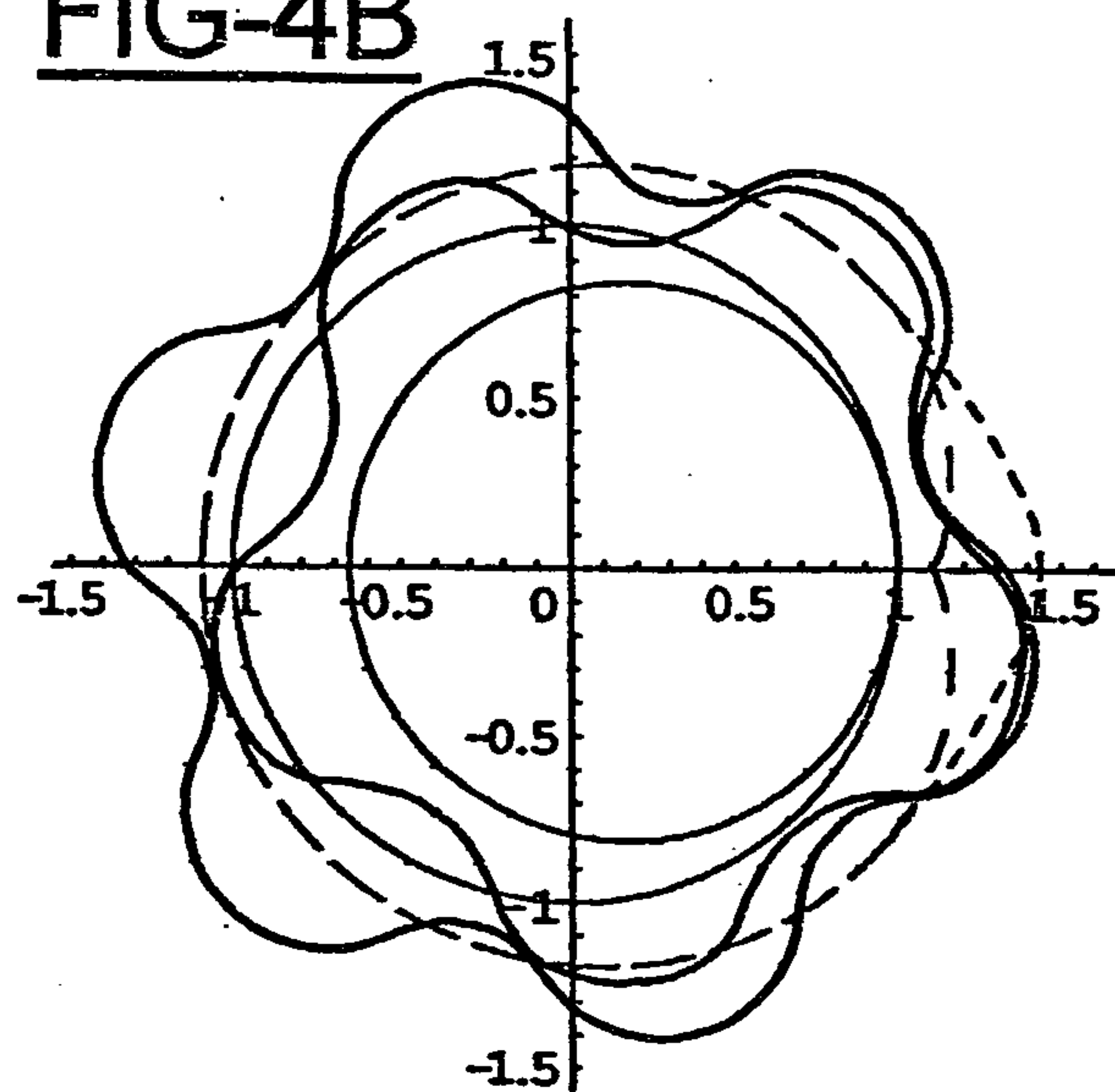
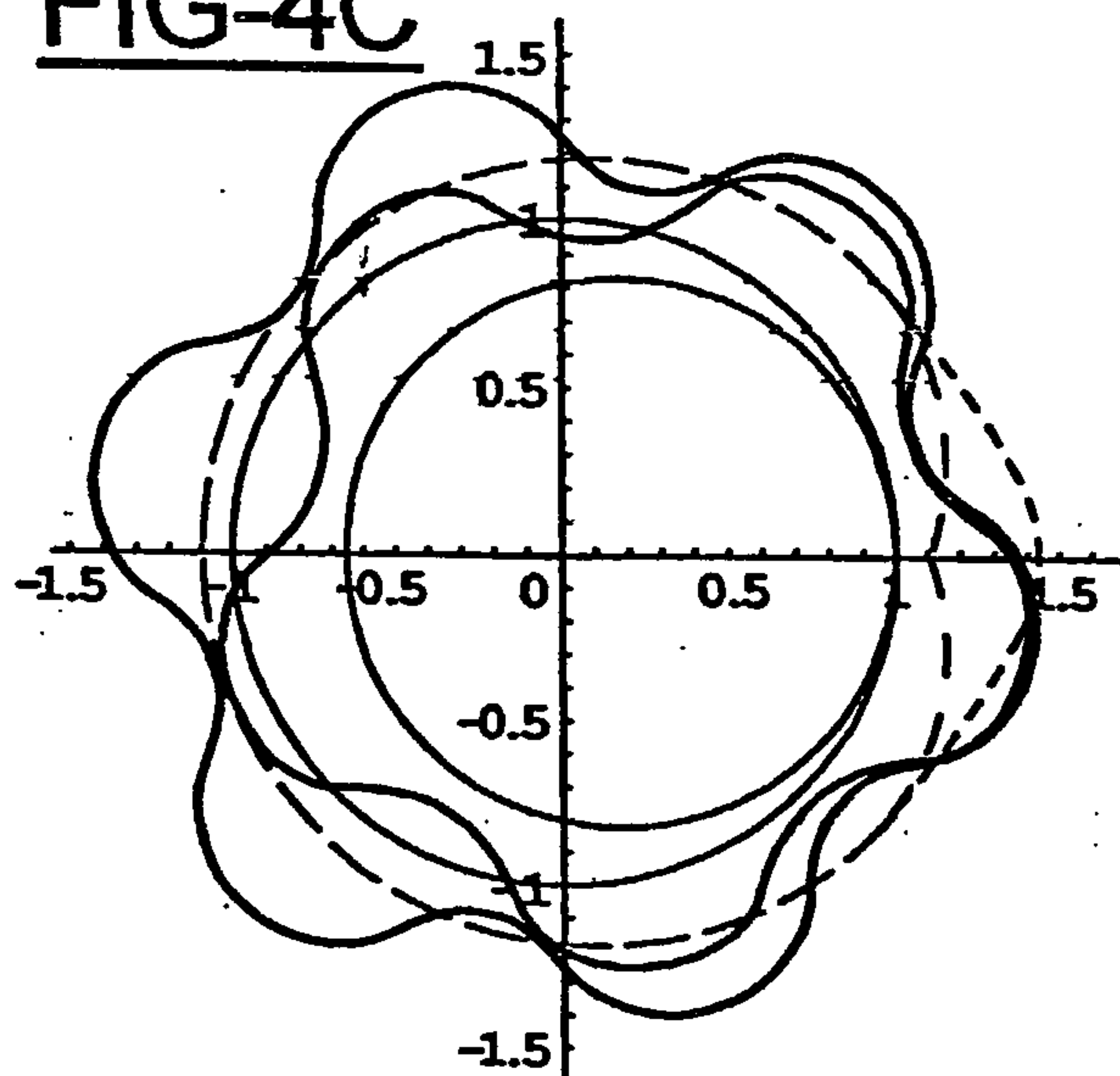
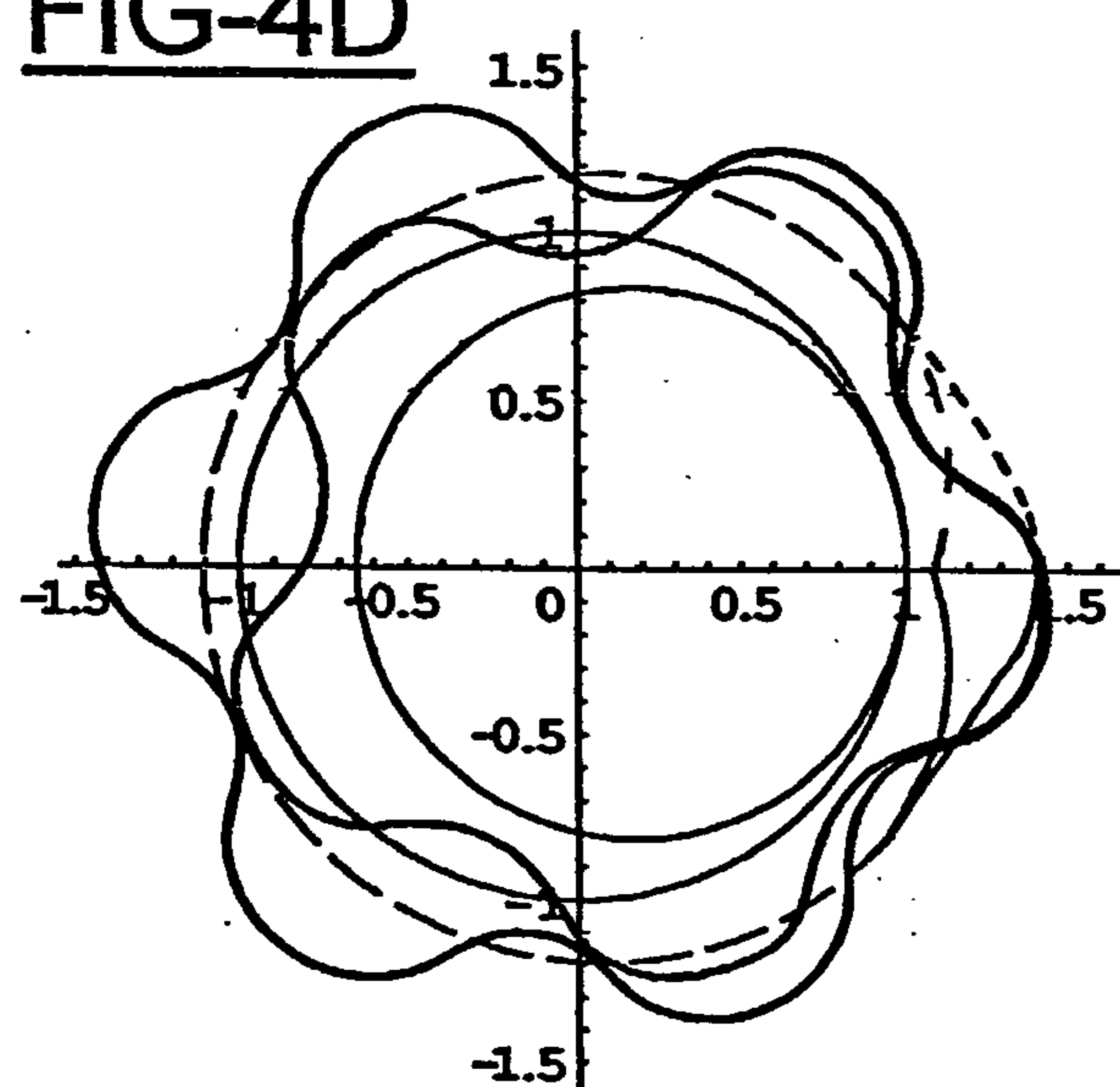
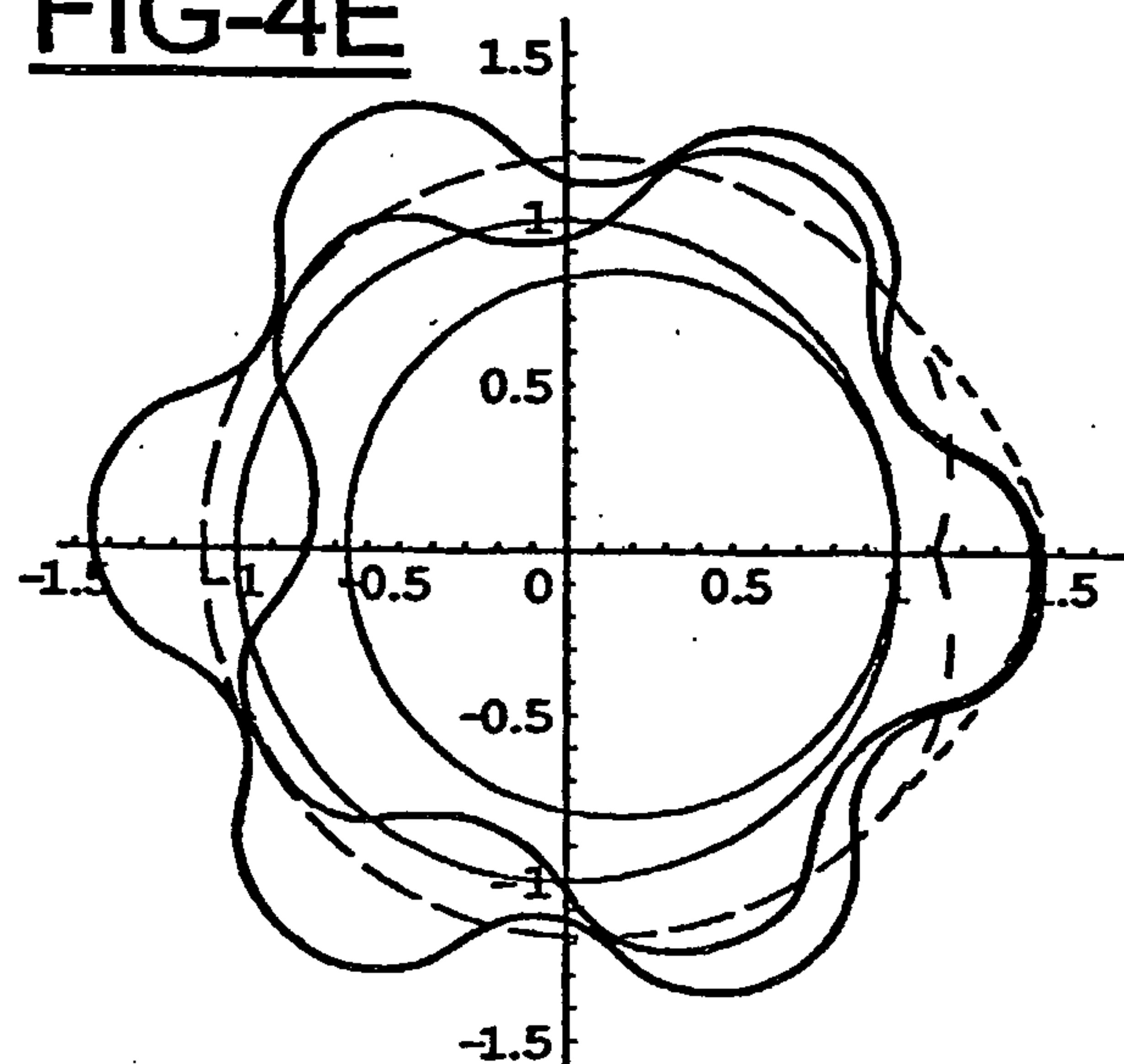
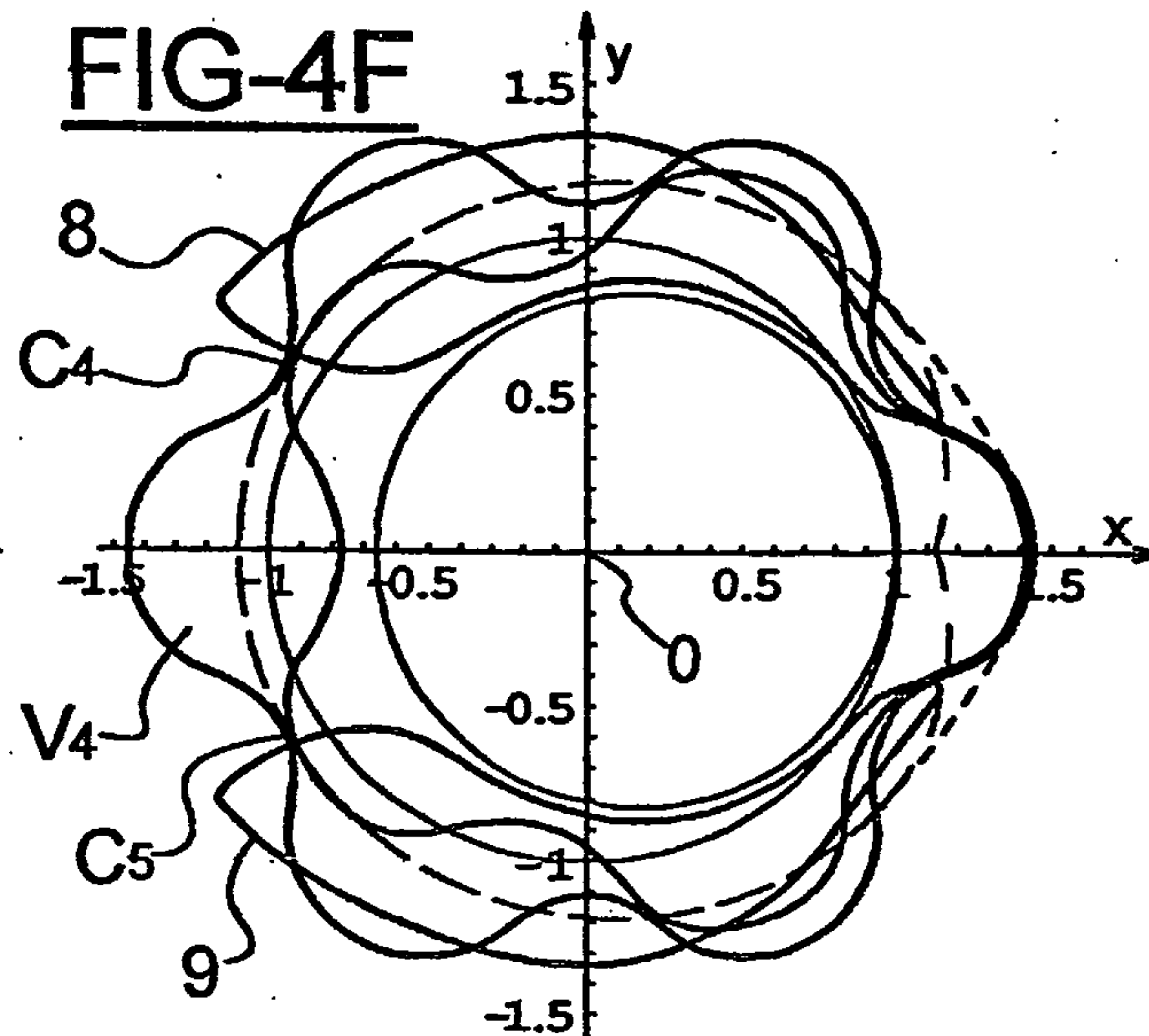
2/19

FIG-2AFIG-2BFIG-2CFIG-2DFIG-2EFIG-2F

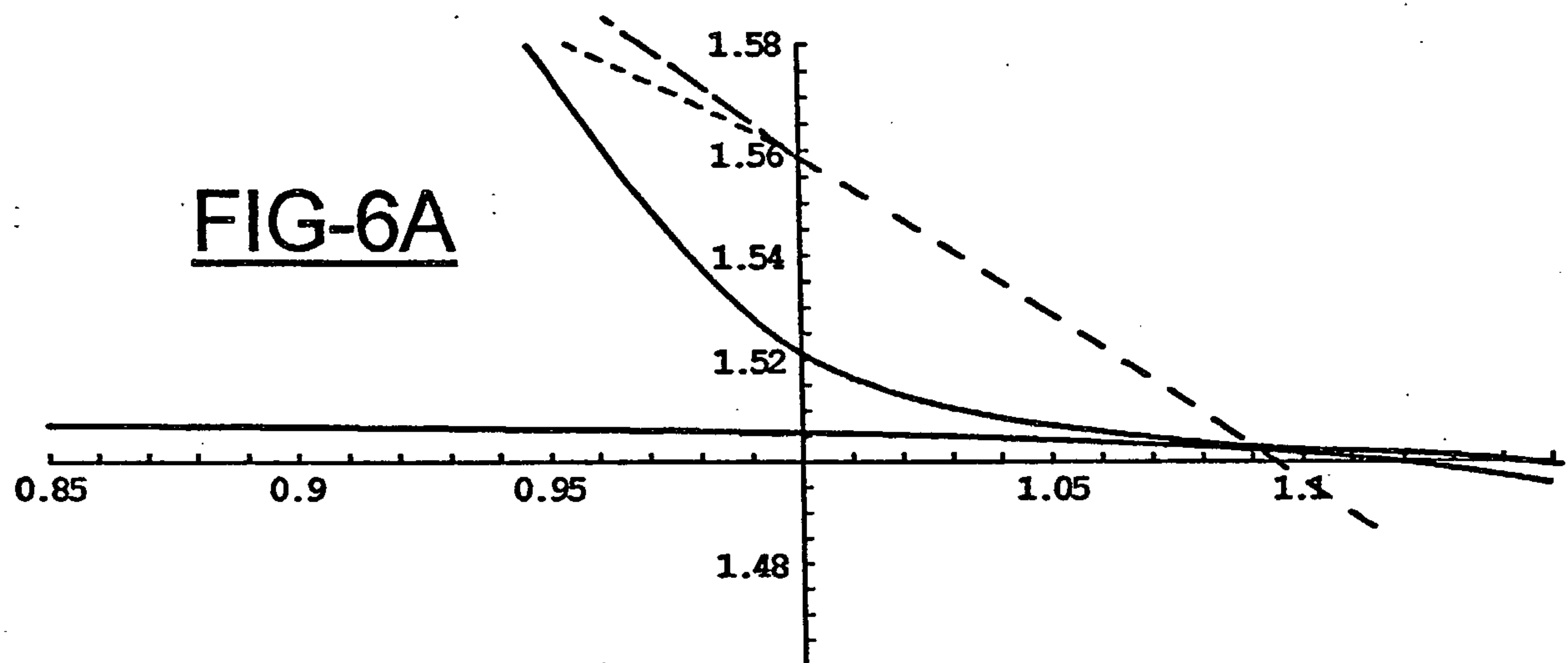
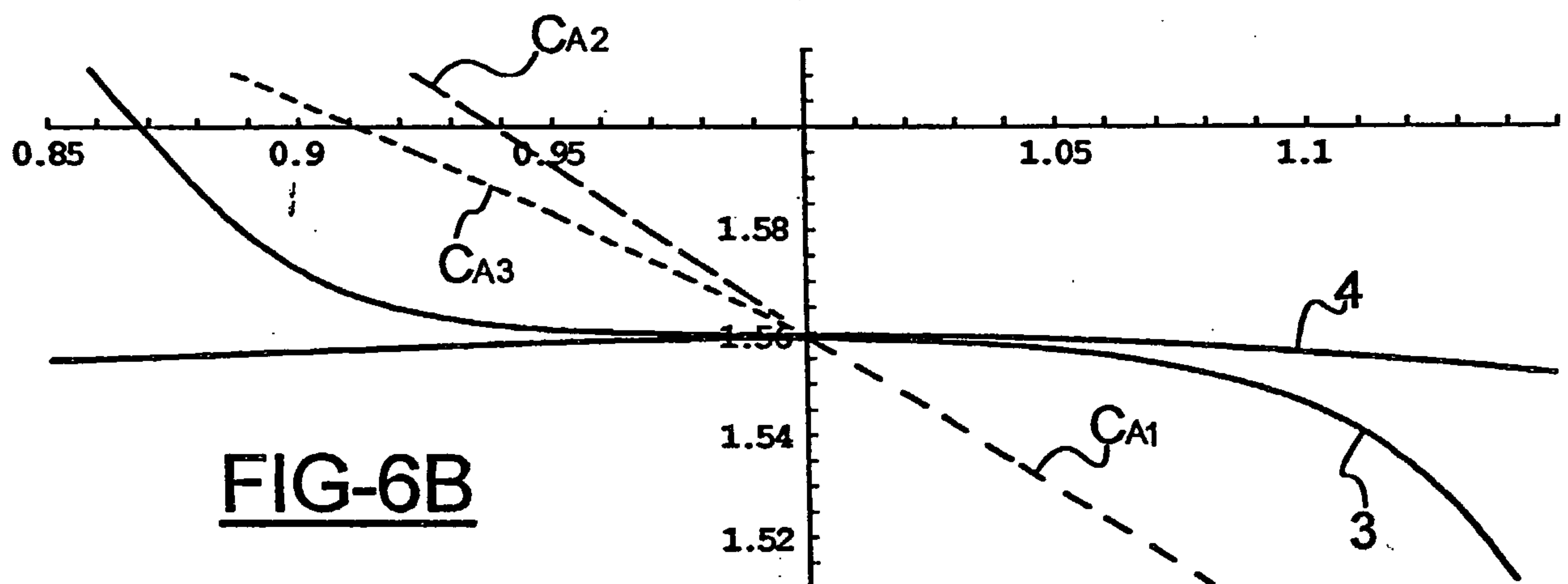
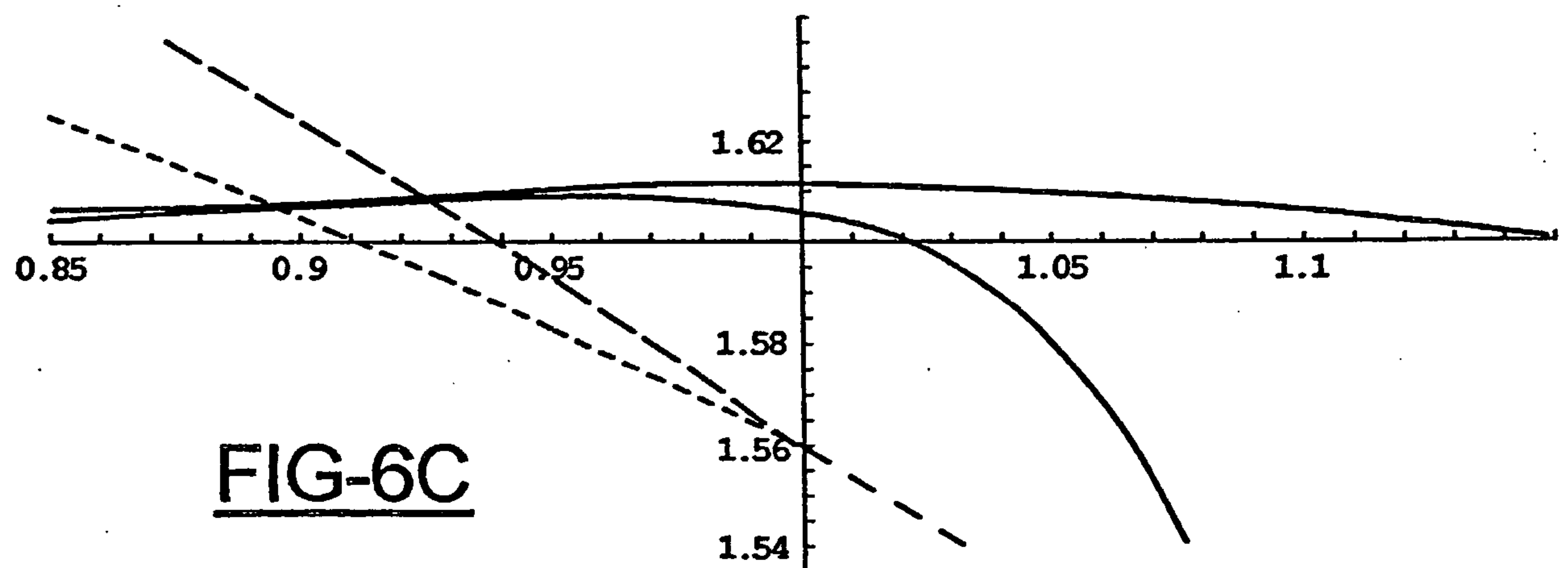
3/19

FIG-3

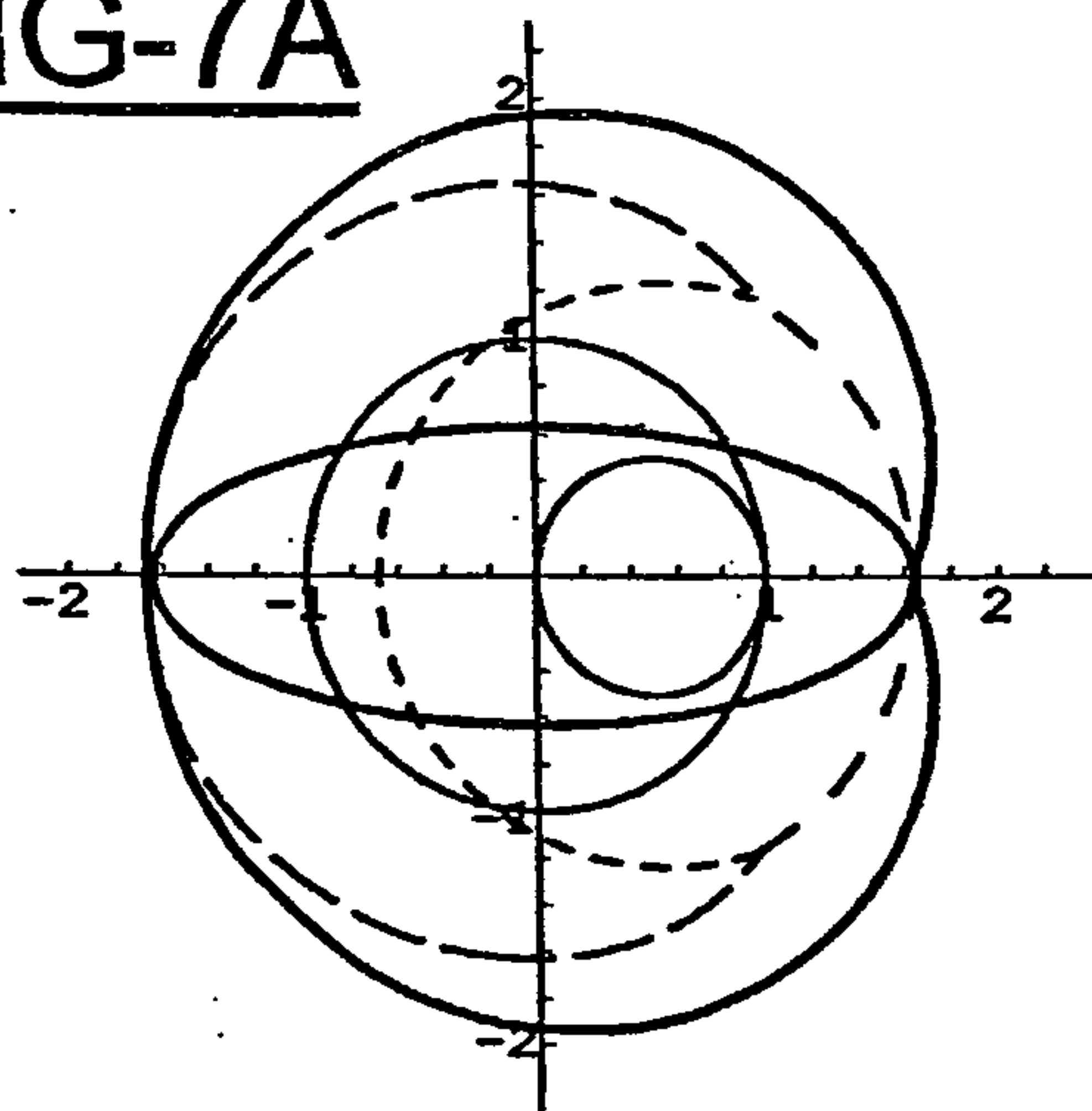
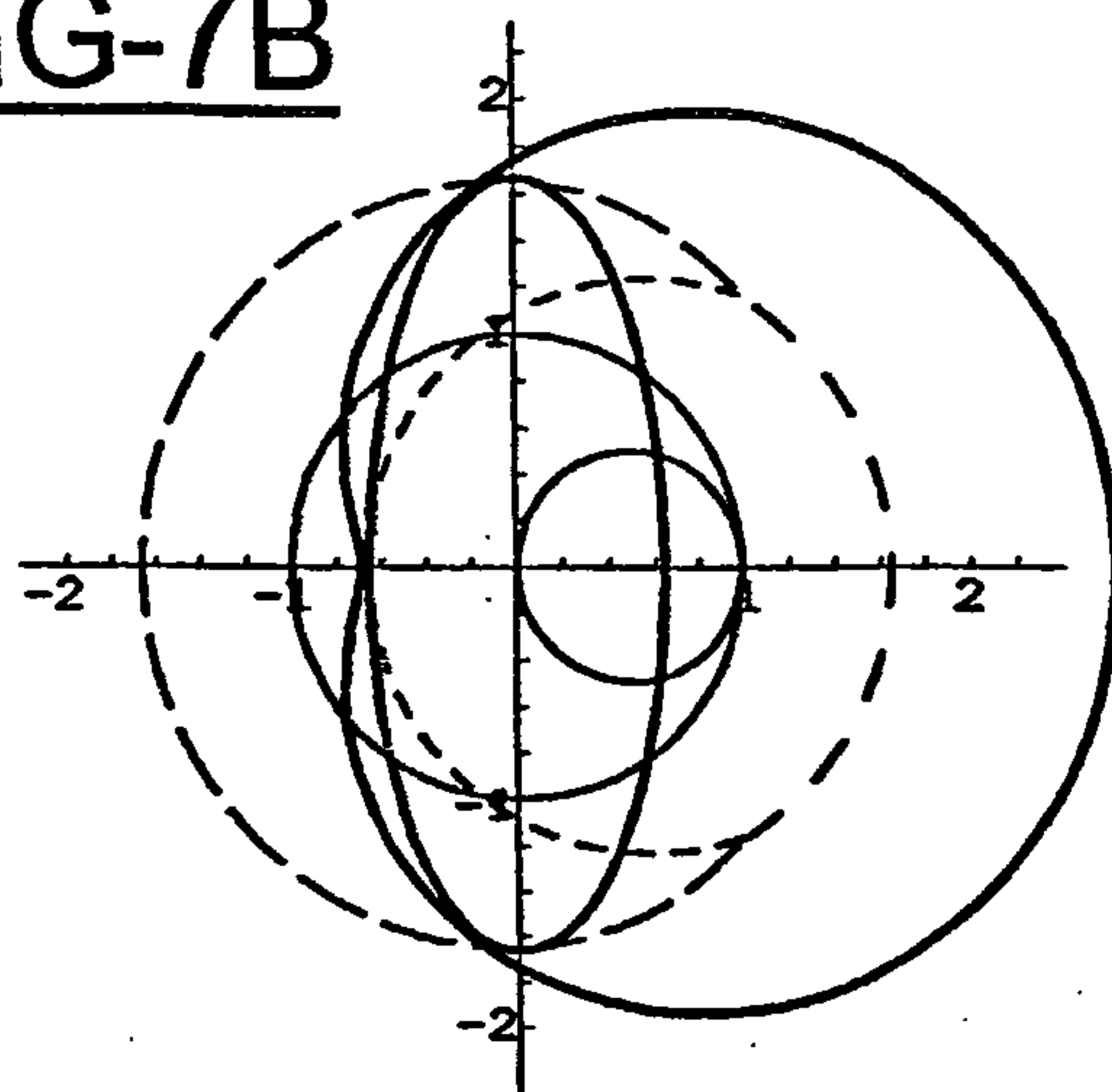
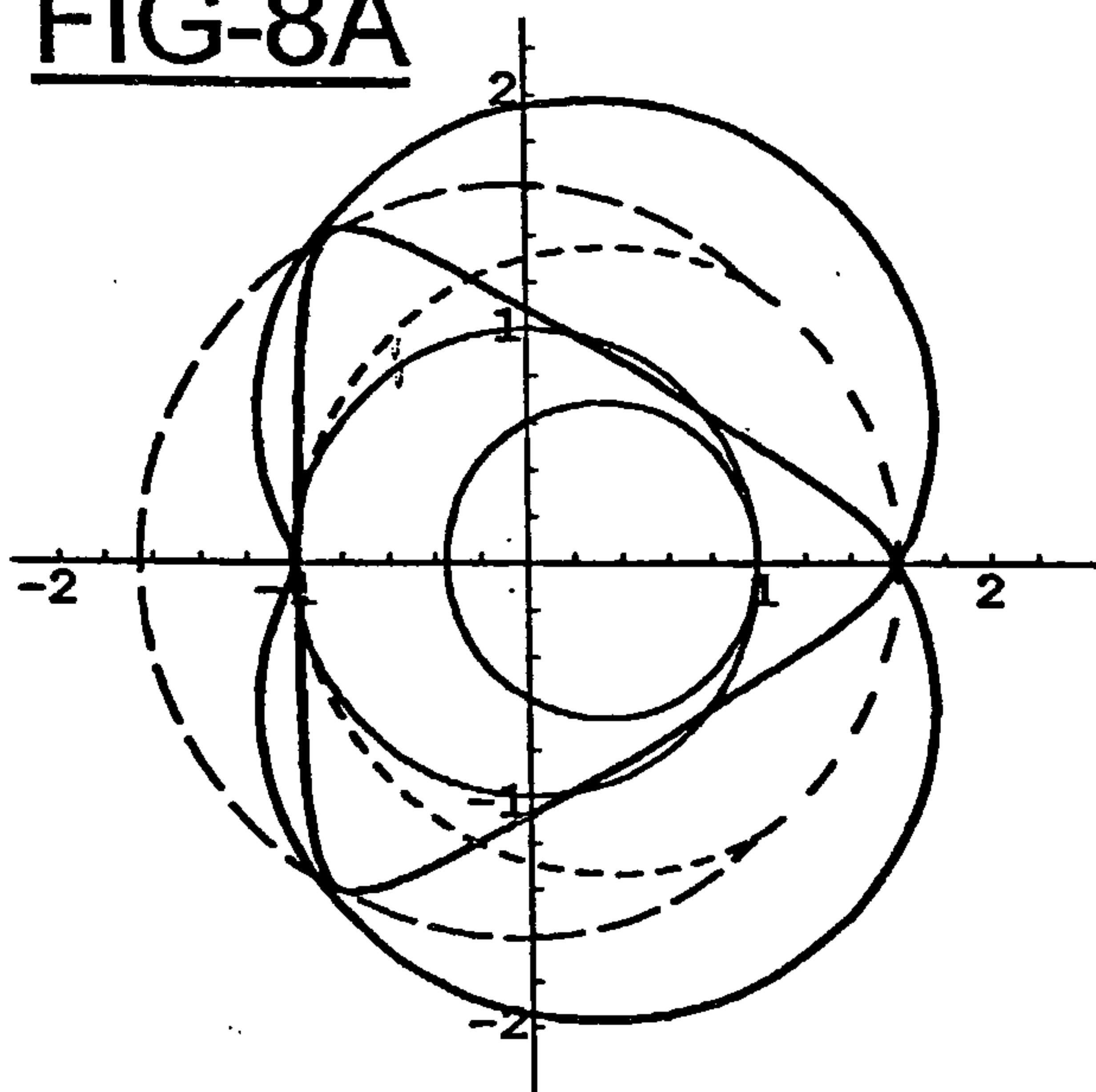
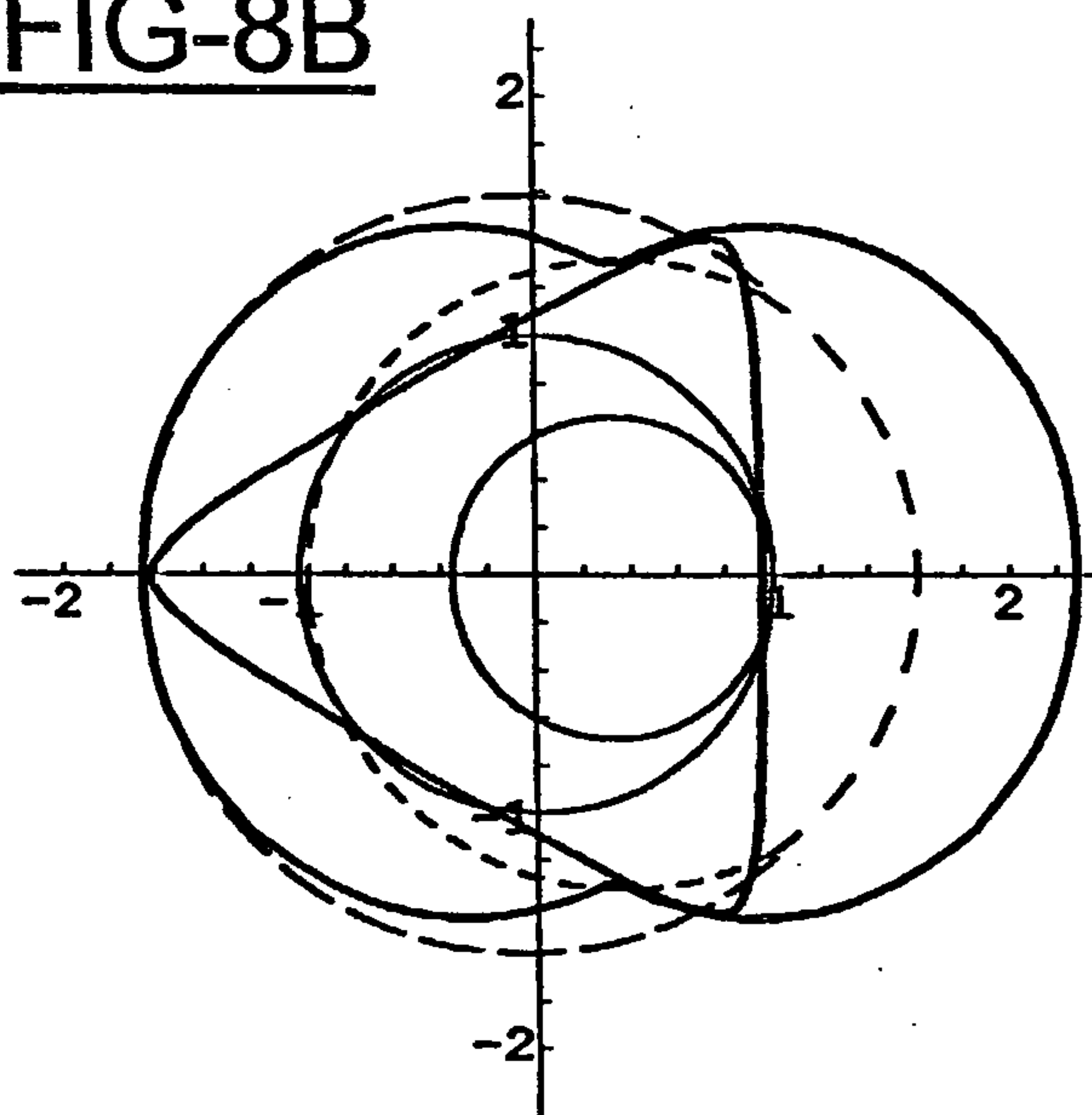
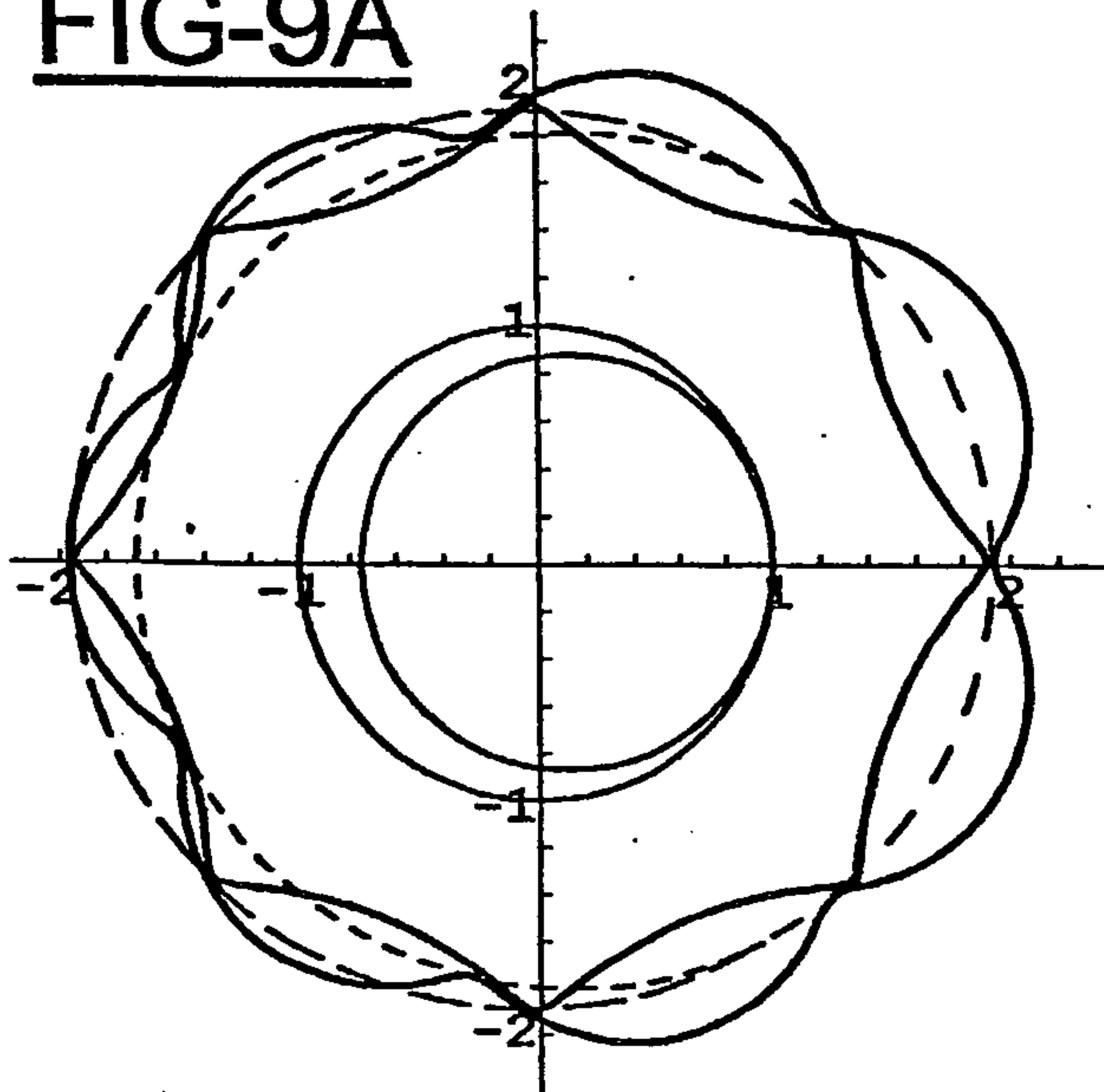
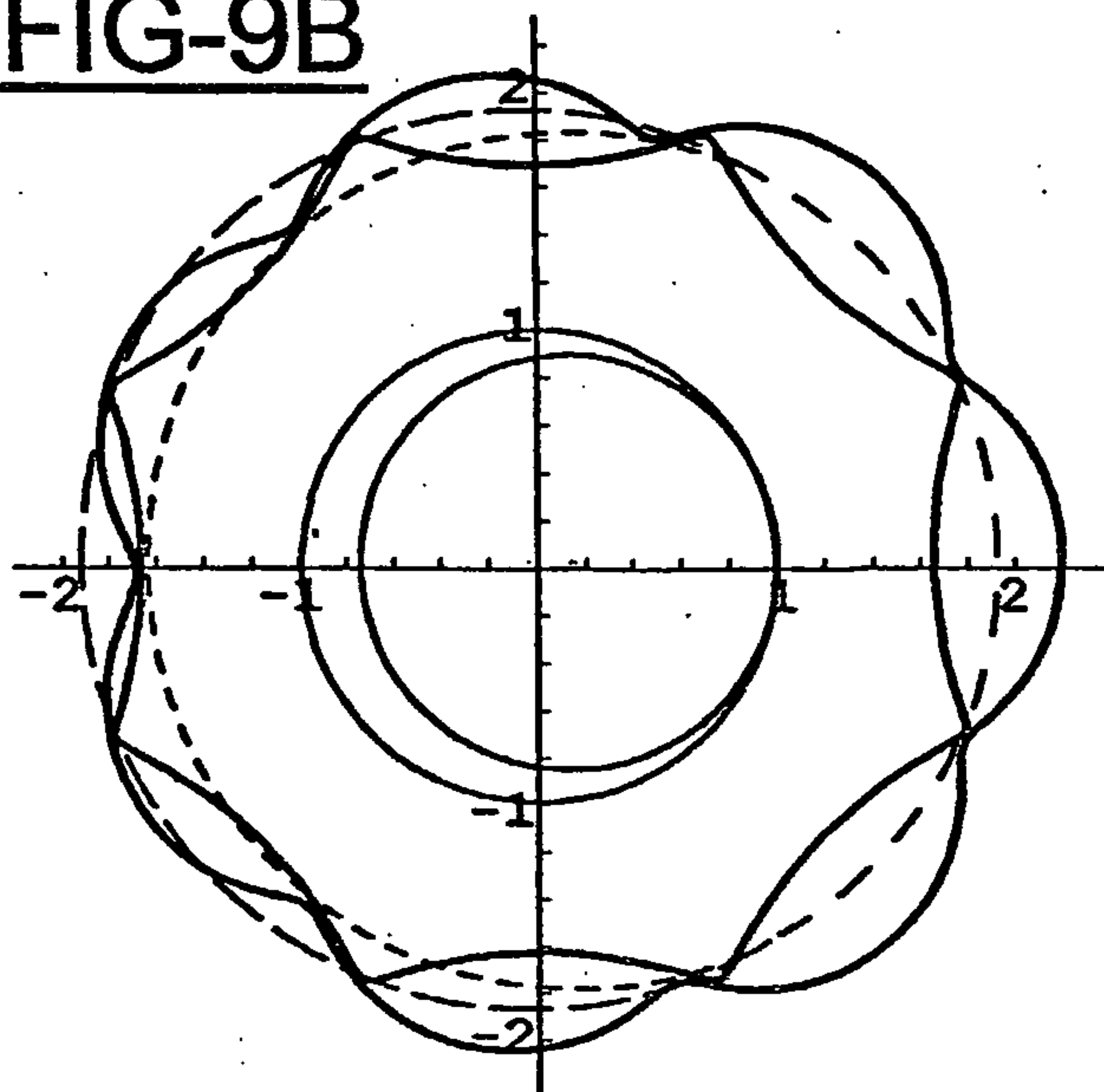
4/19

FIG-4AFIG-4BFIG-4CFIG-4DFIG-4EFIG-4F

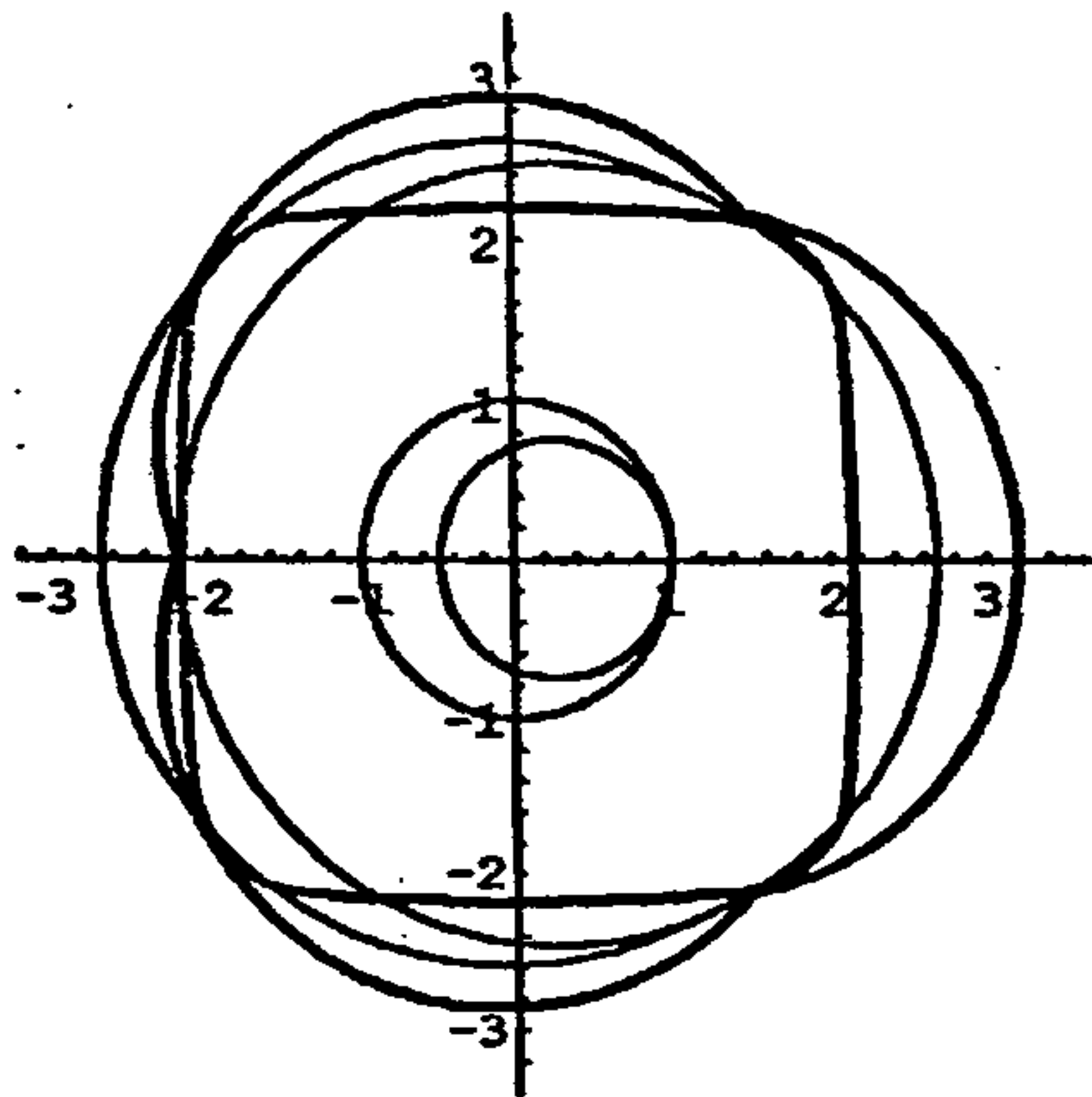
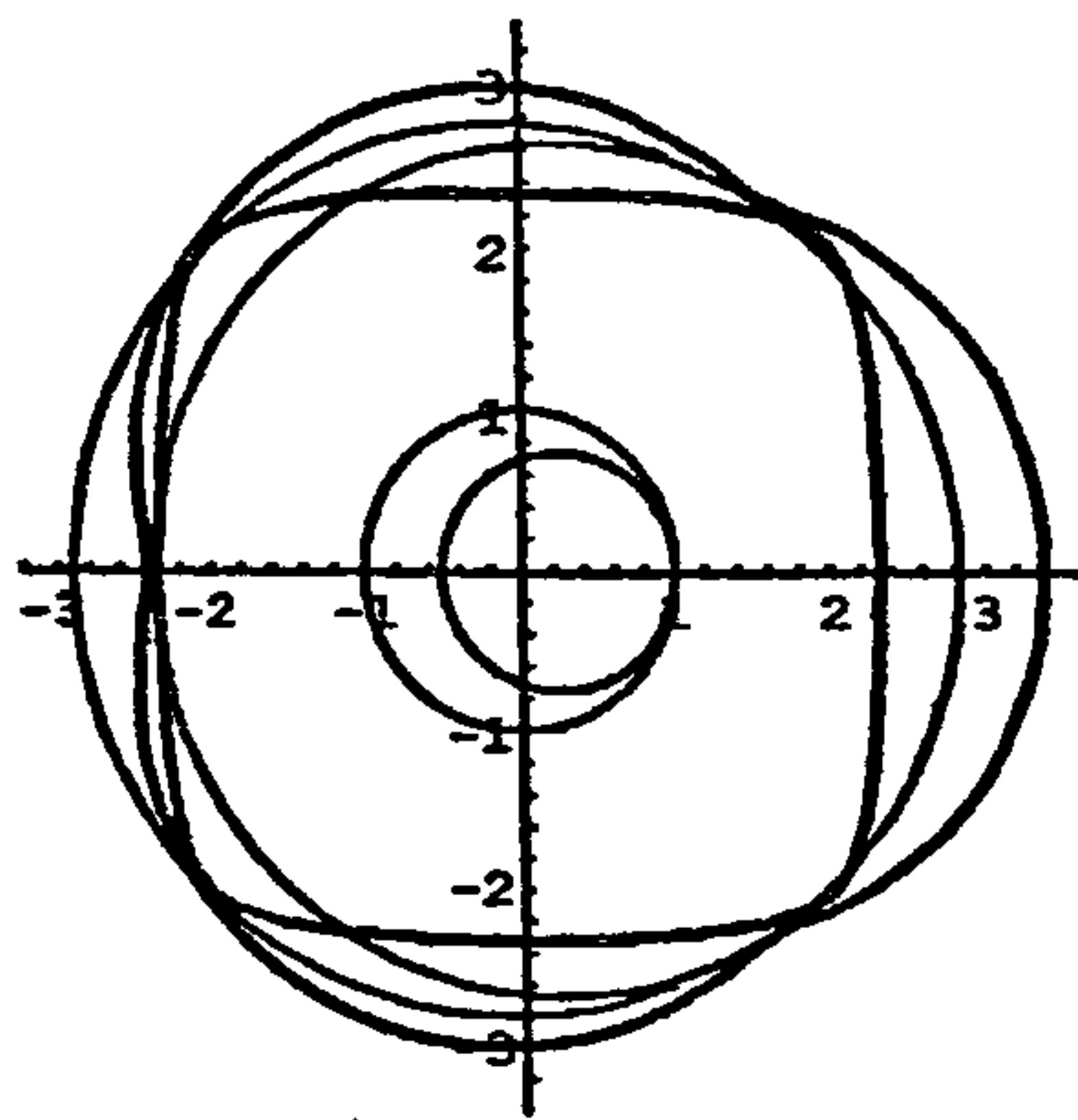
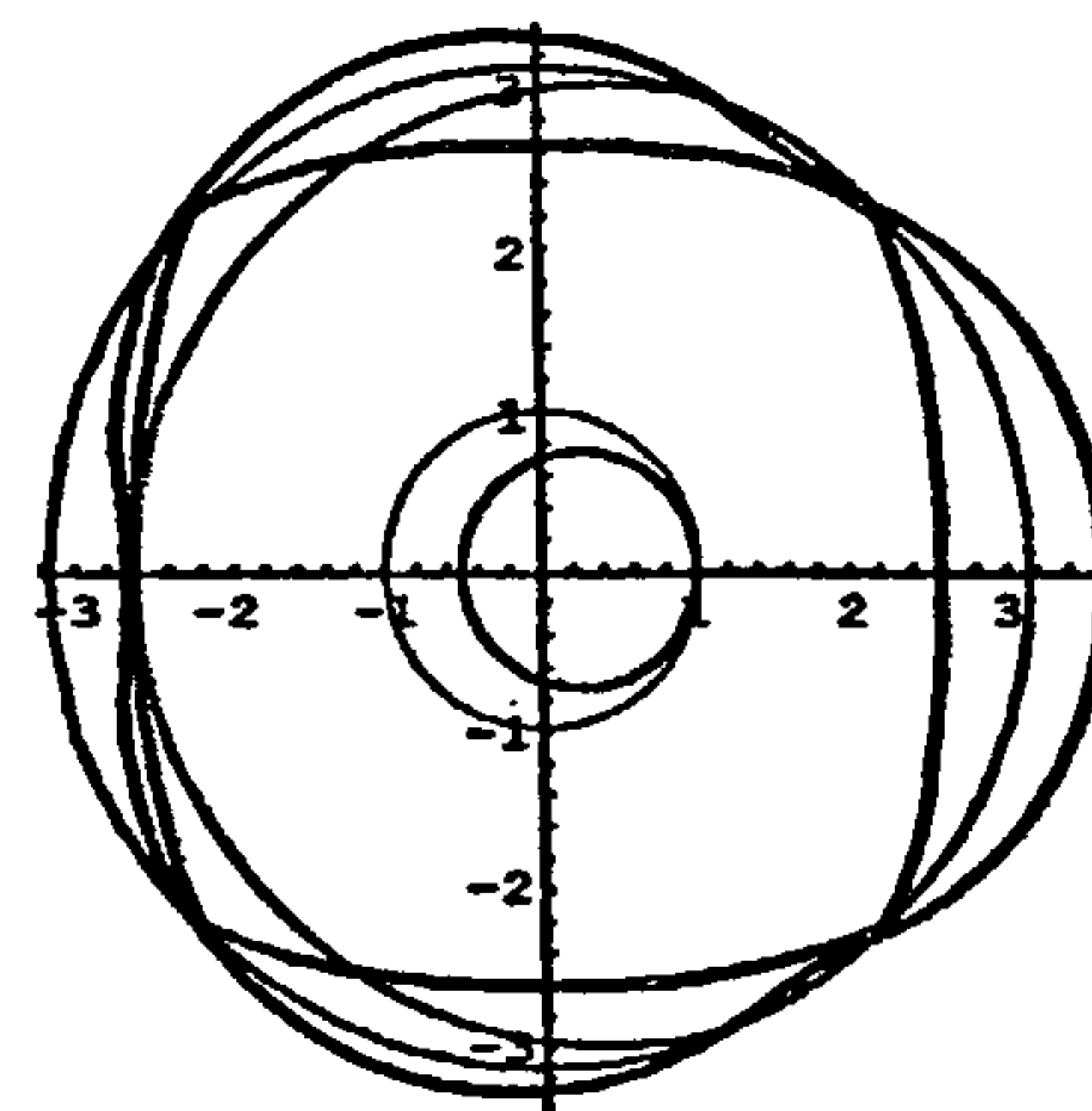
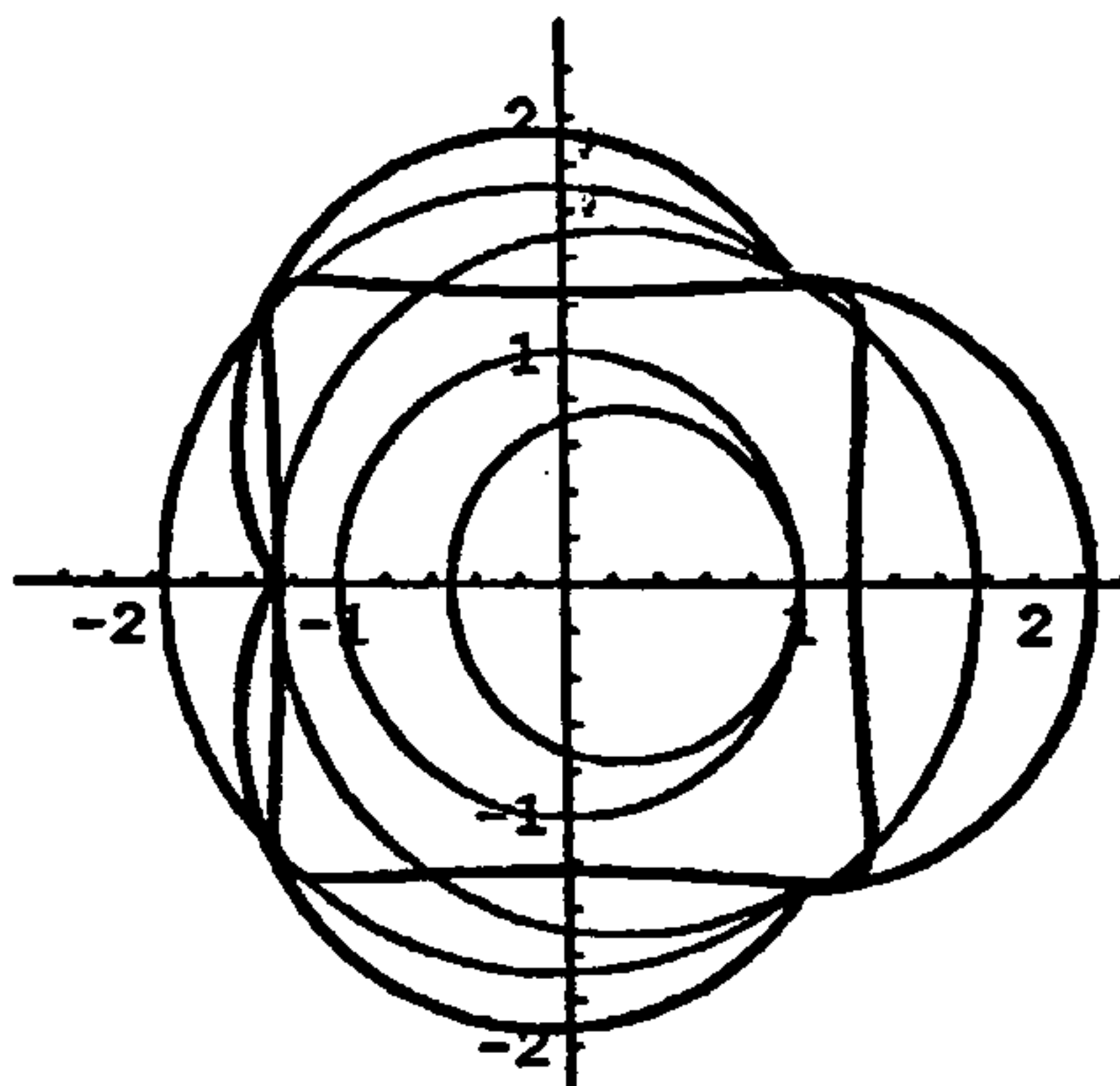
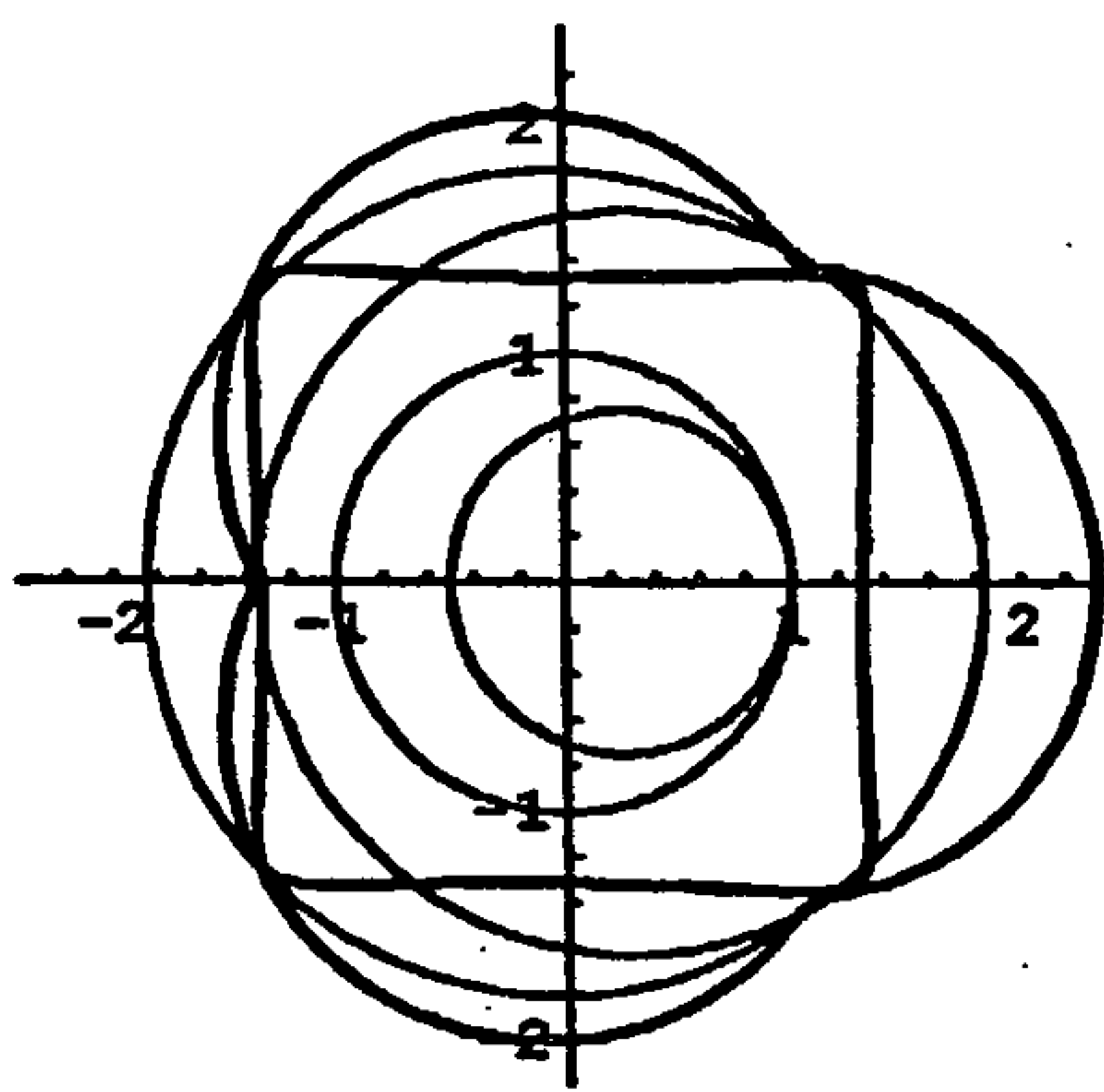
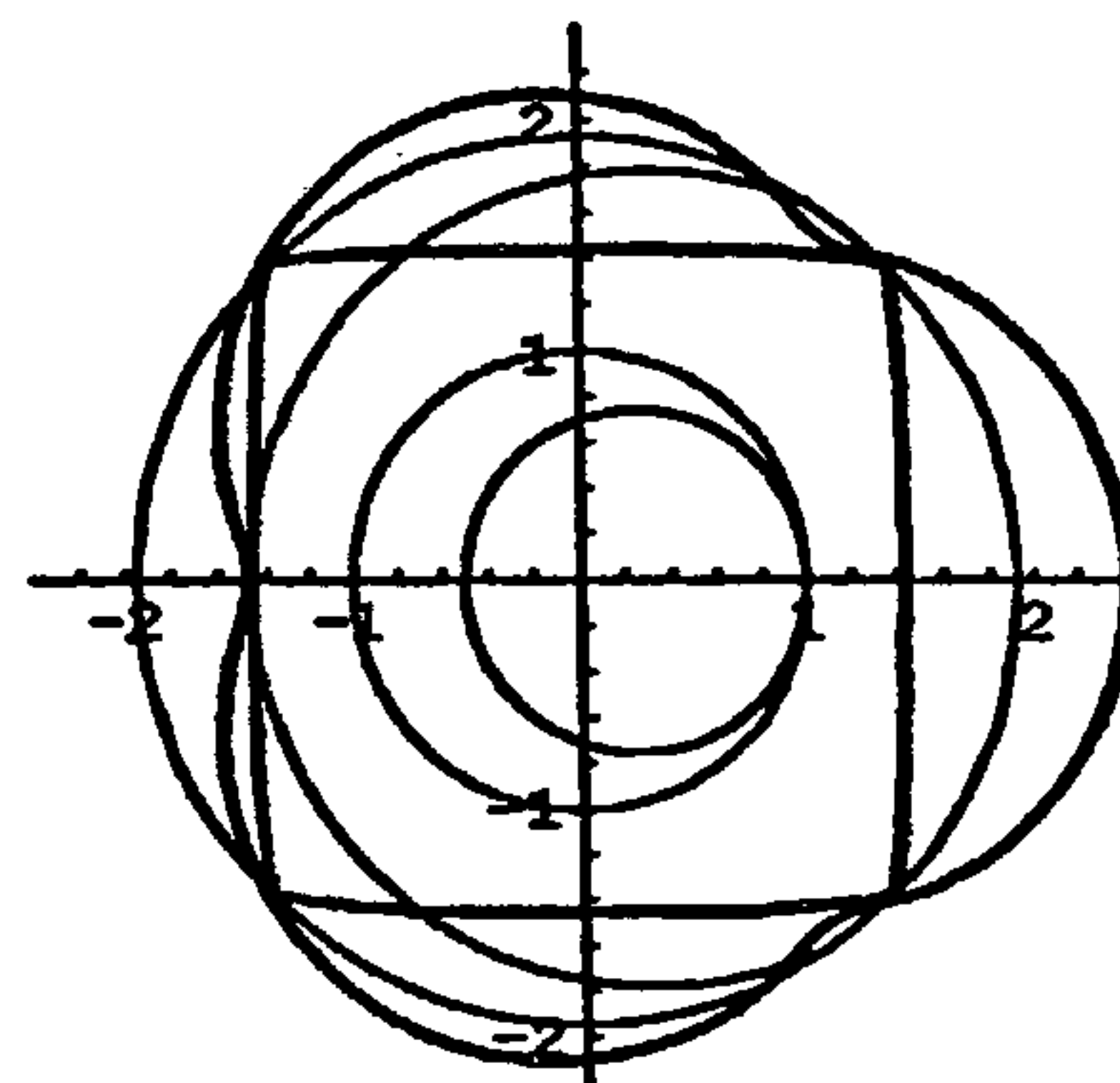
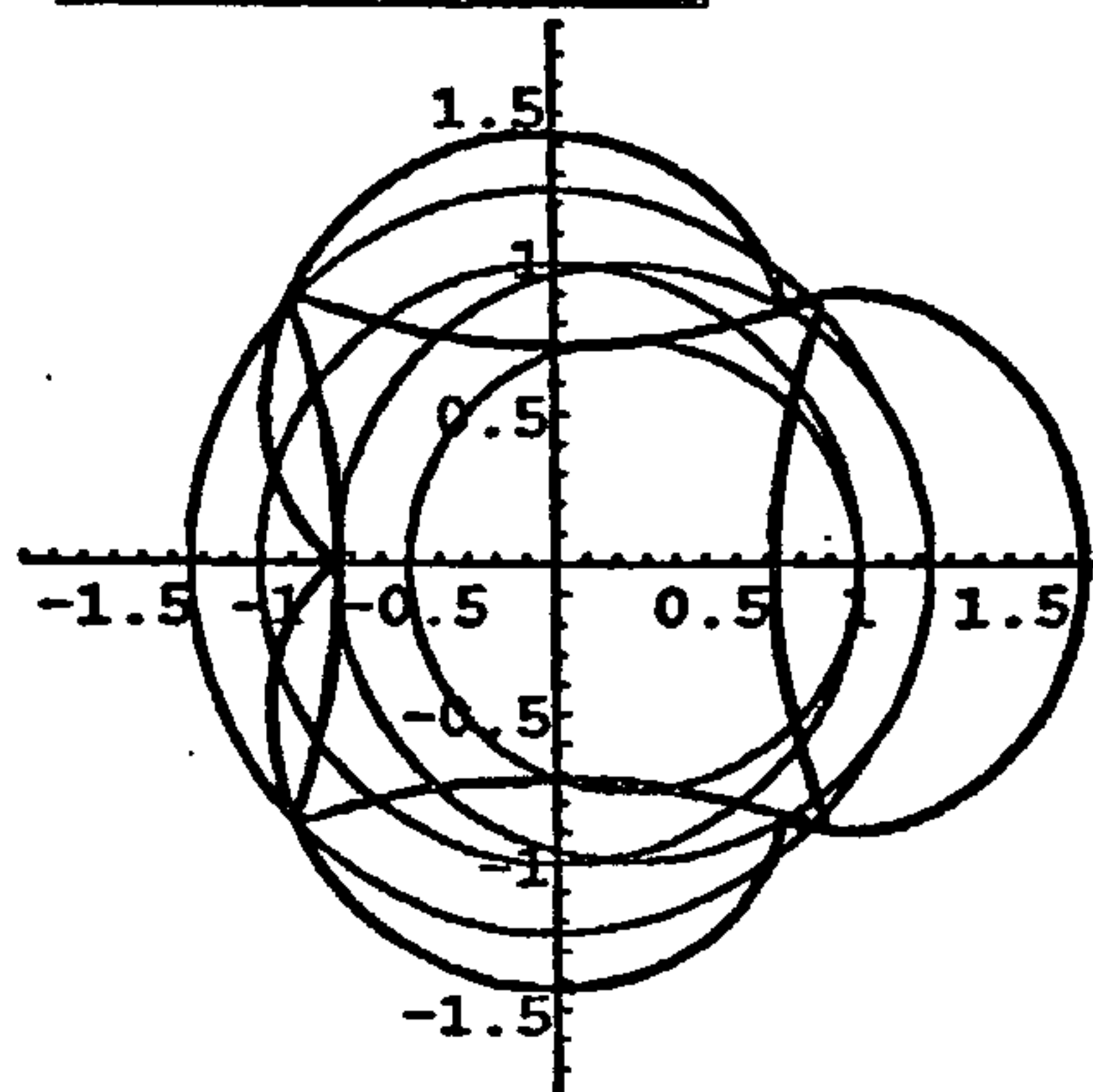
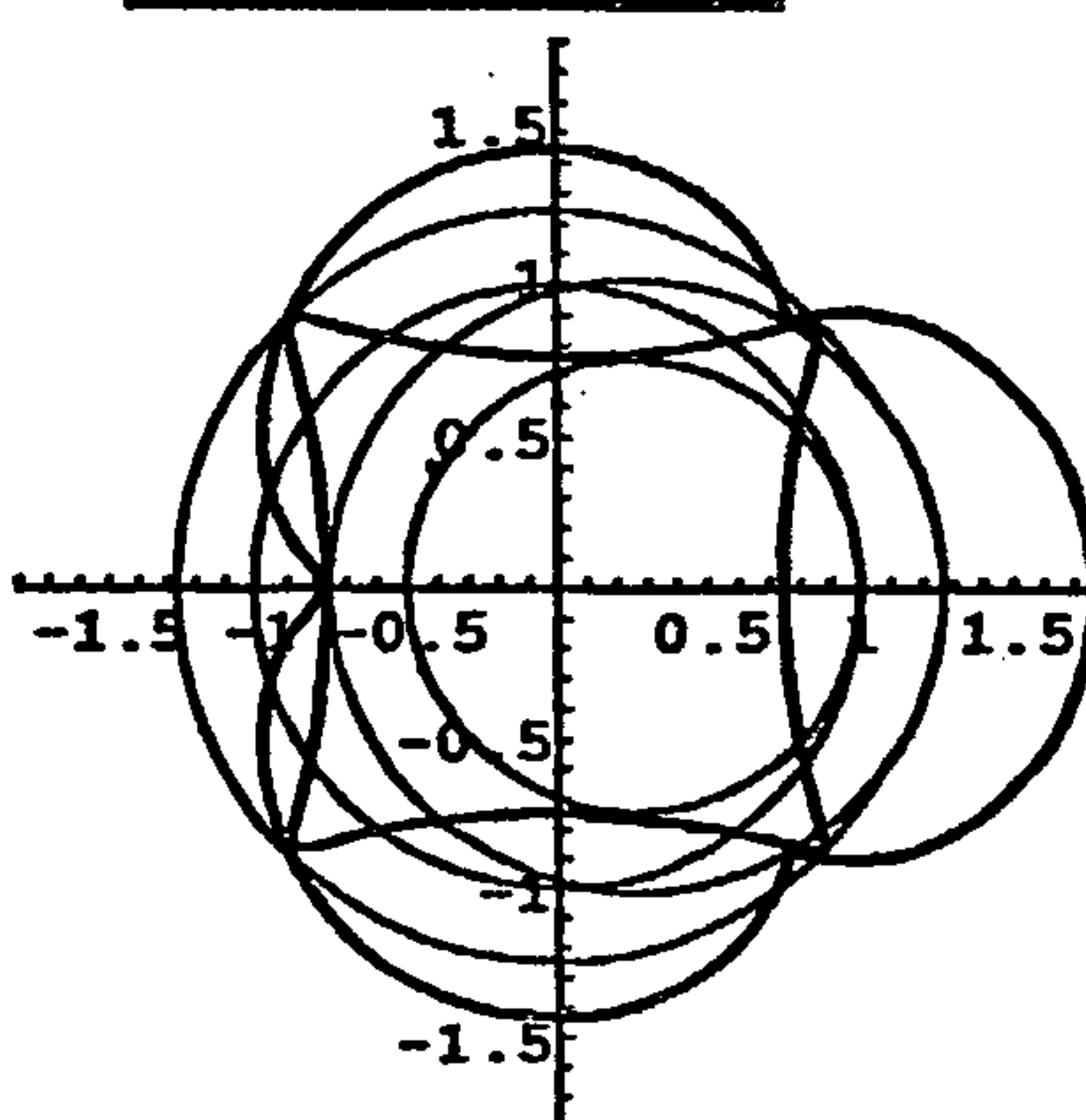
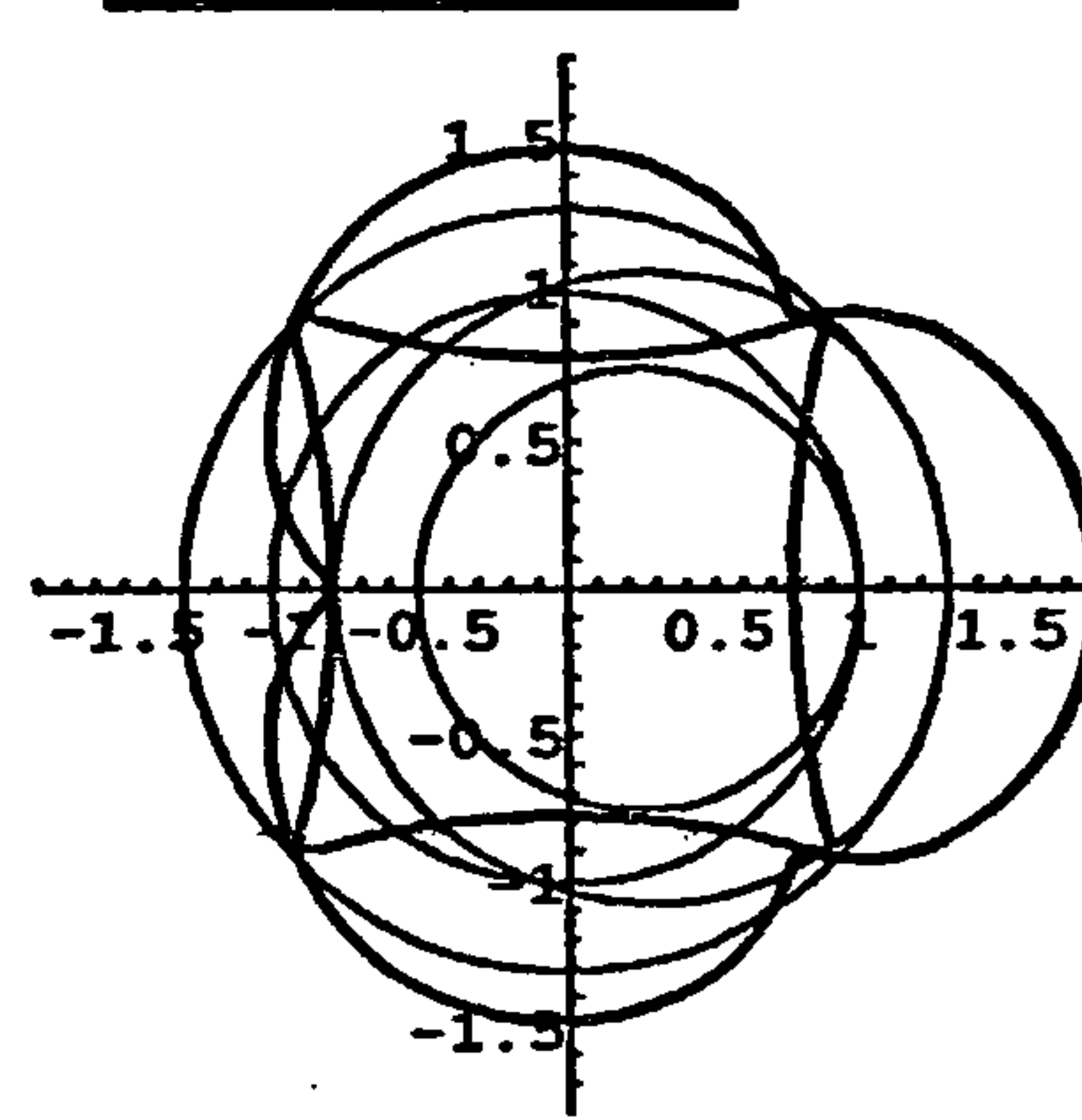
5/19

FIG-6AFIG-6BFIG-6C

6/19

FIG-7AFIG-7BFIG-8AFIG-8BFIG-9AFIG-9B

7/19

FIG-10AFIG-10BFIG-10CFIG-10DFIG-10EFIG-10FFIG-10GFIG-10HFIG-10I

8/19  
FIG-11A

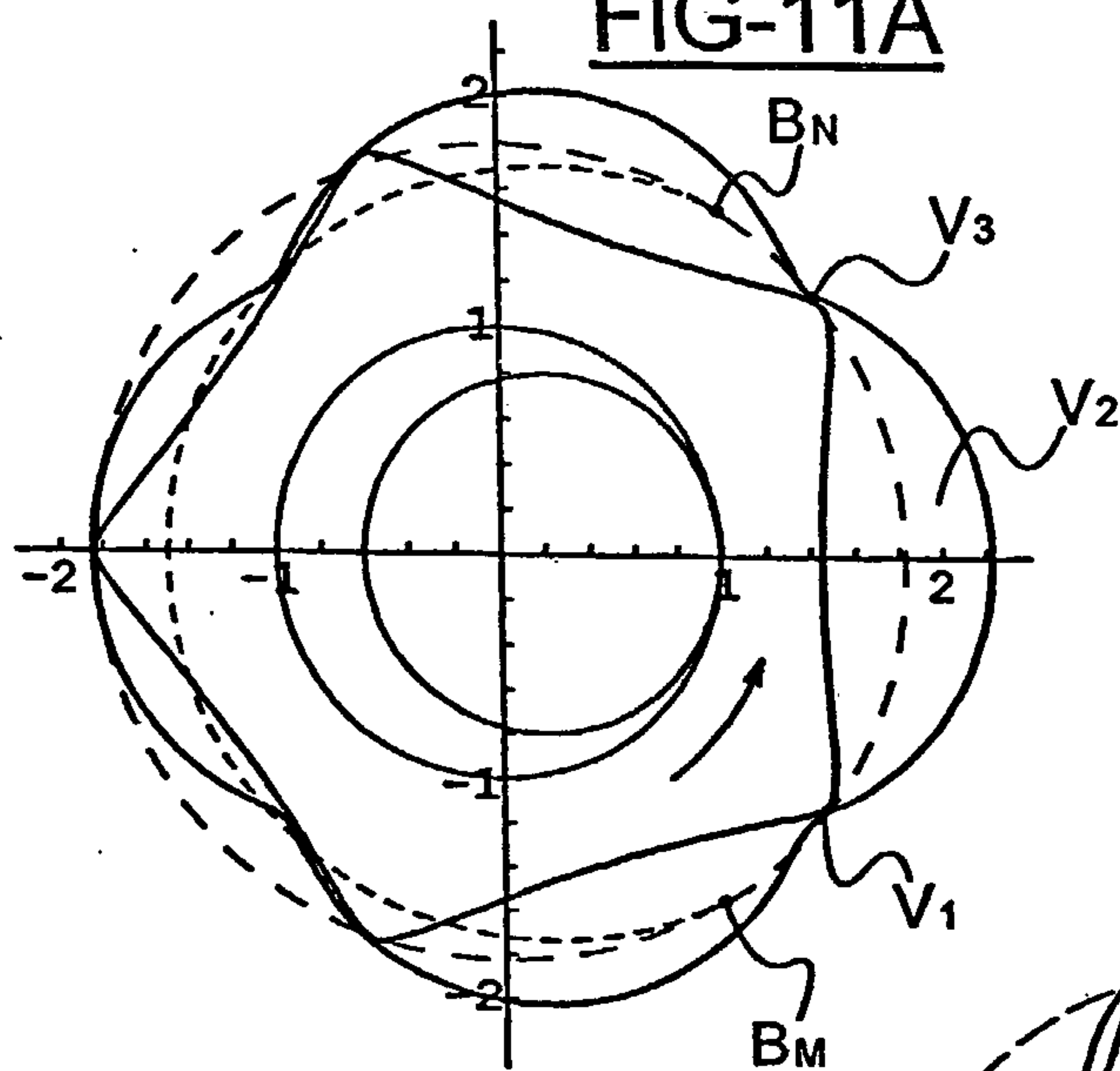


FIG-11B

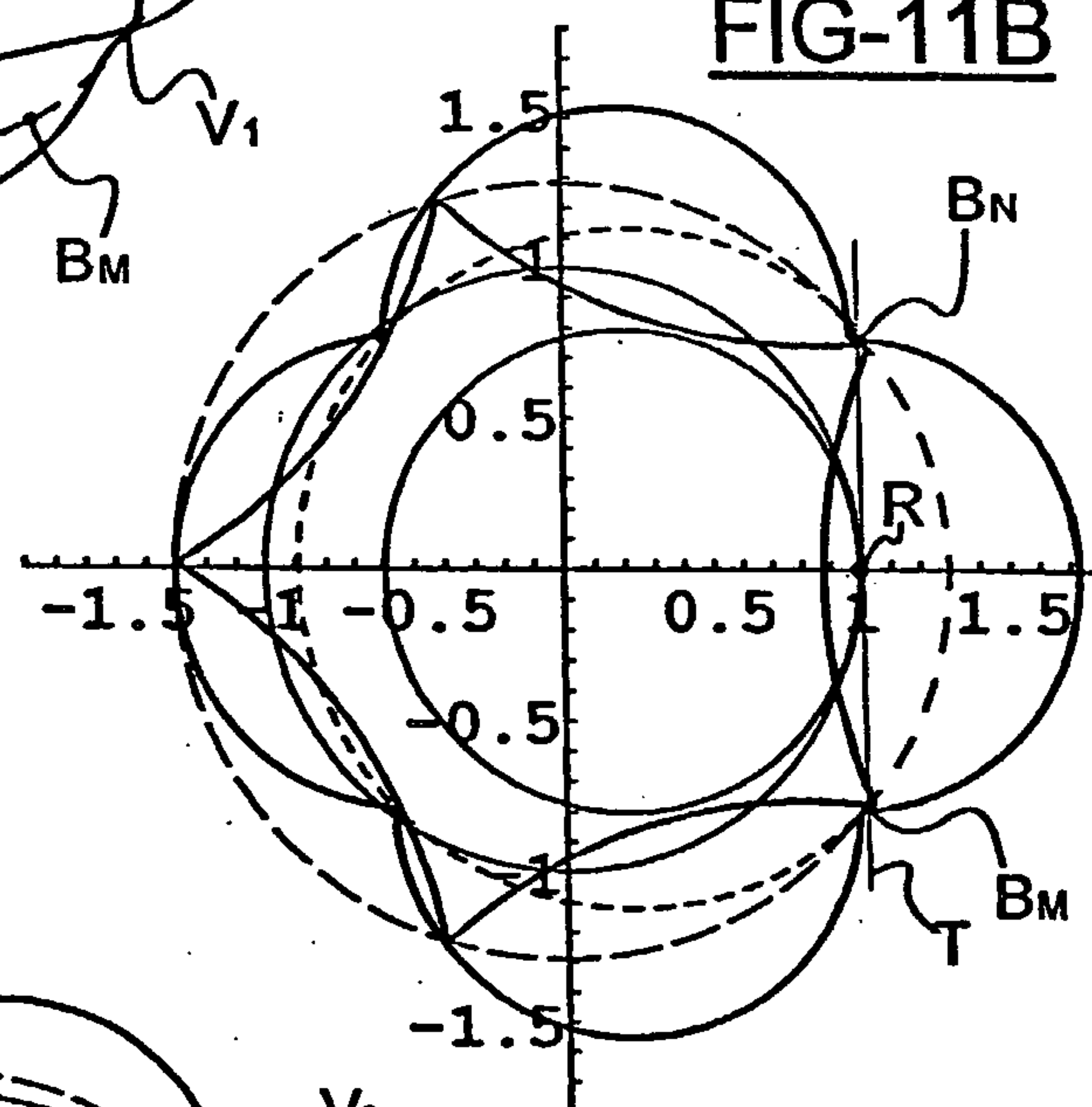
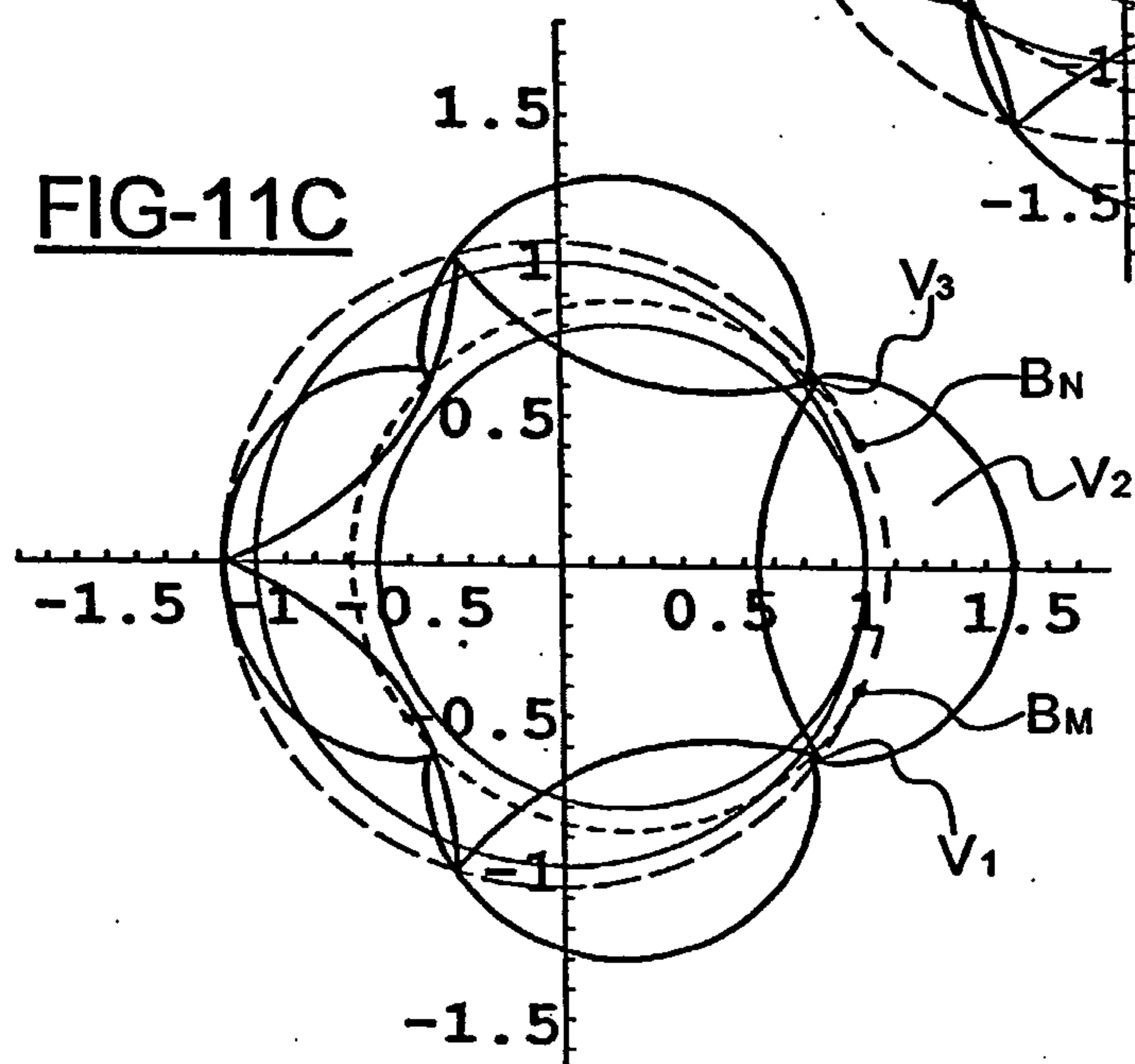
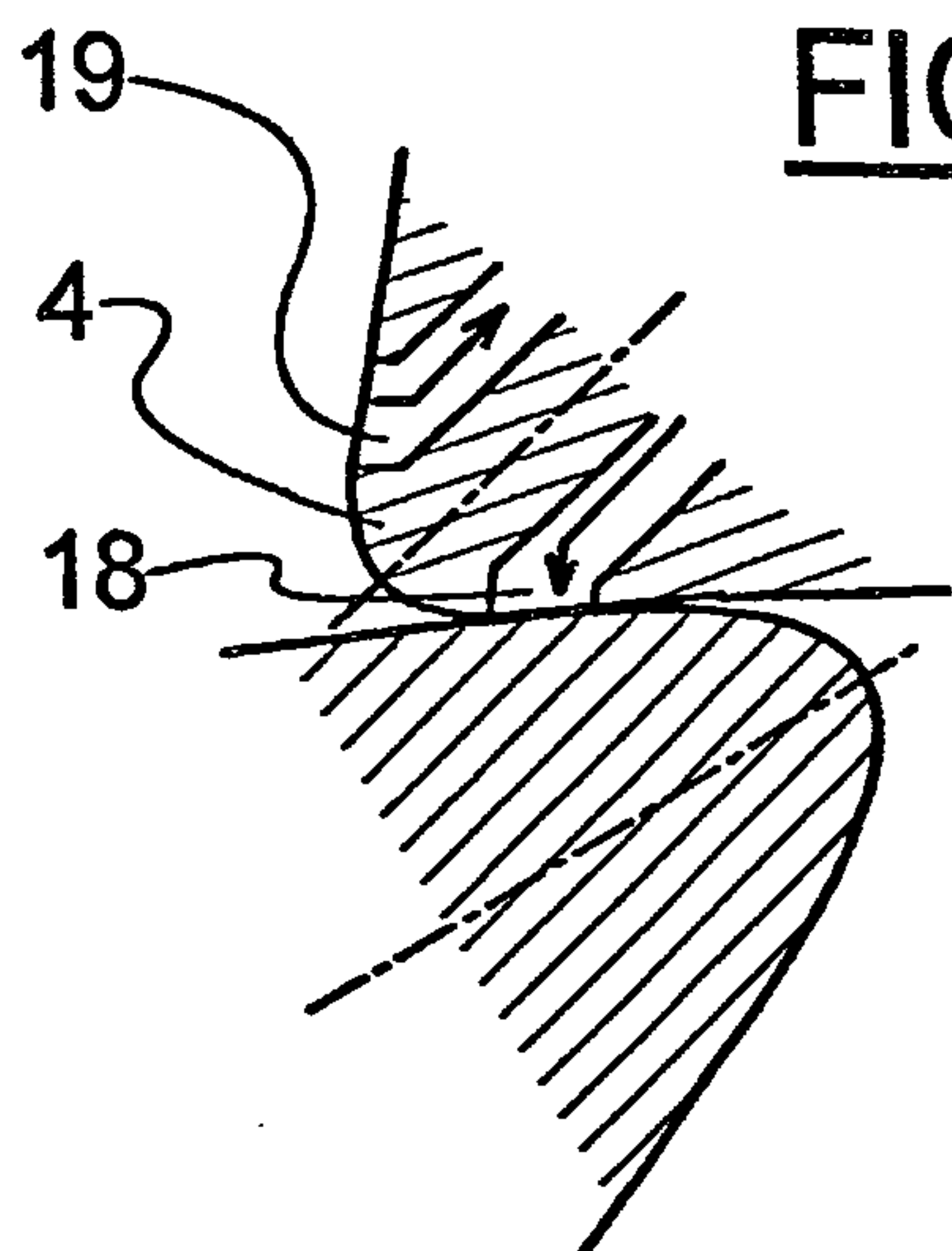
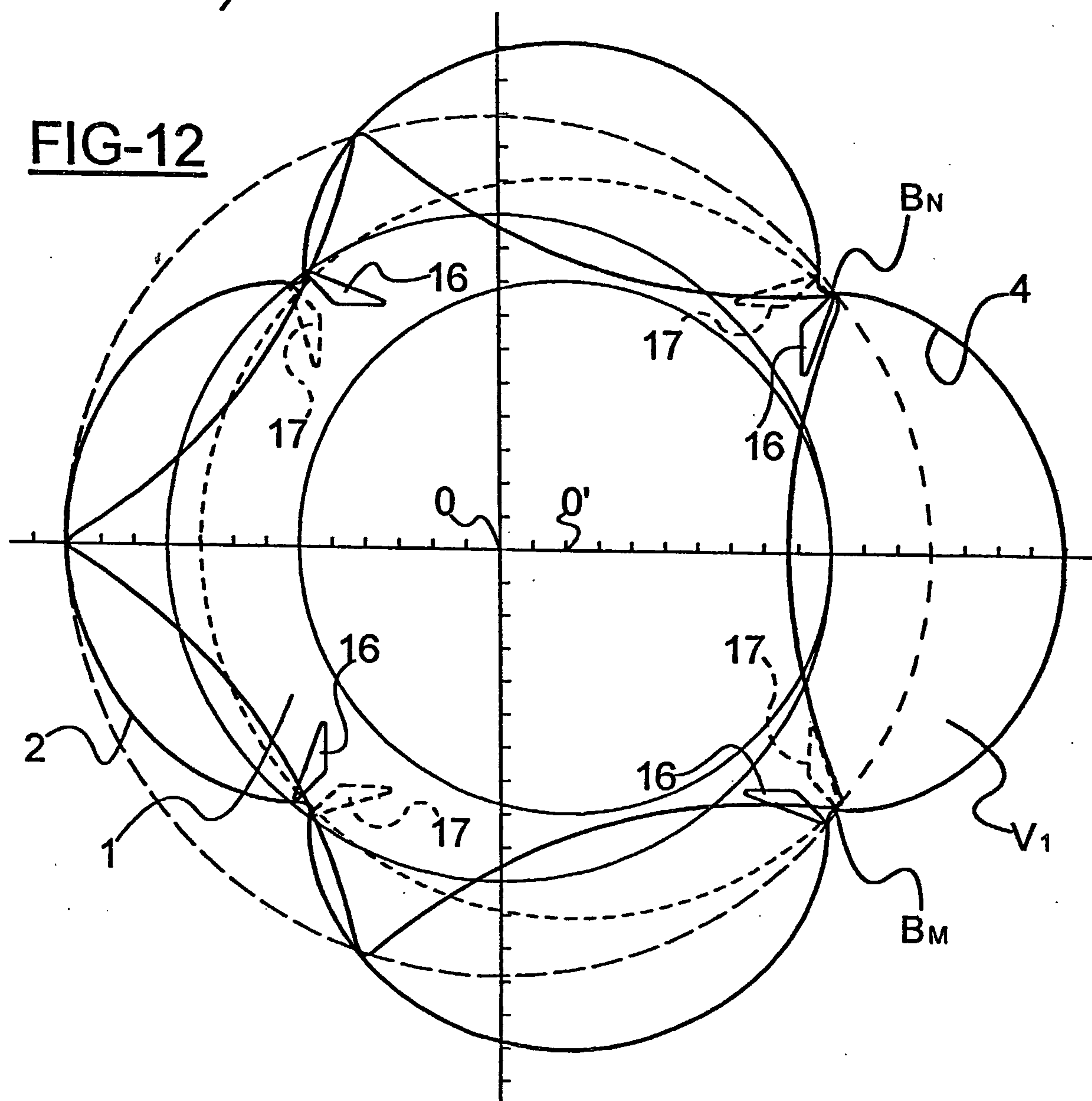


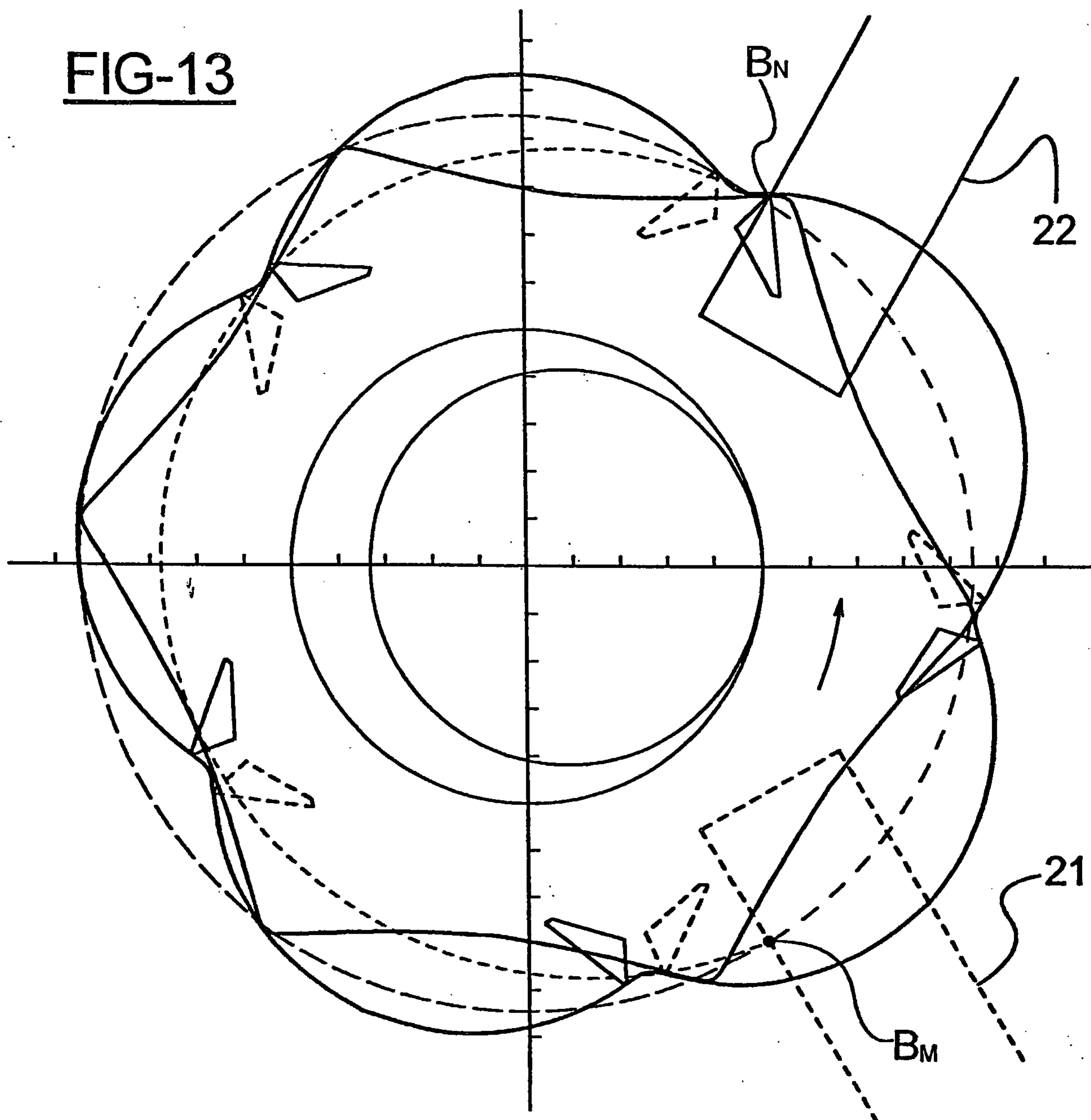
FIG-11C



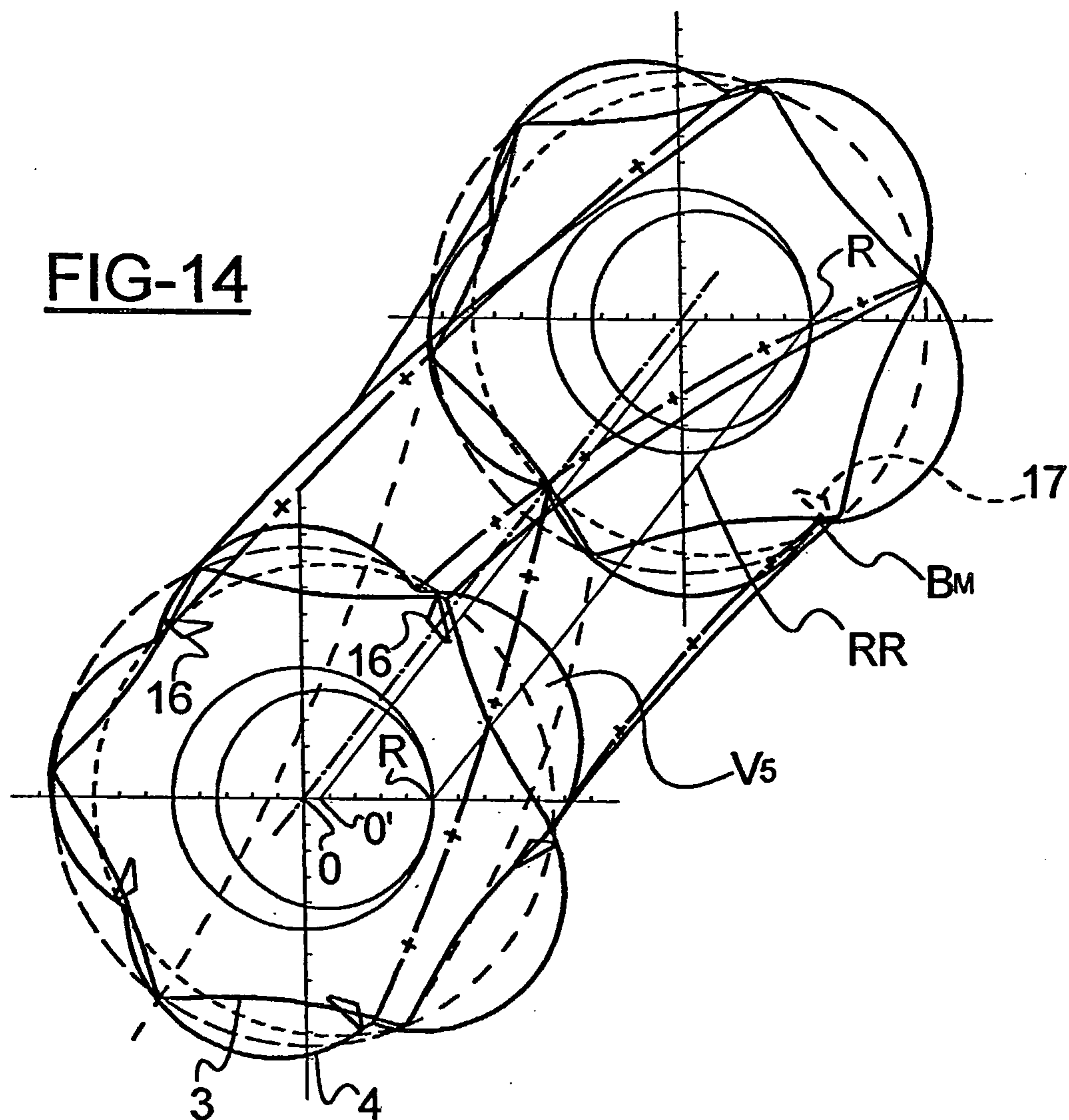
9/19

FIG-12AFIG-12

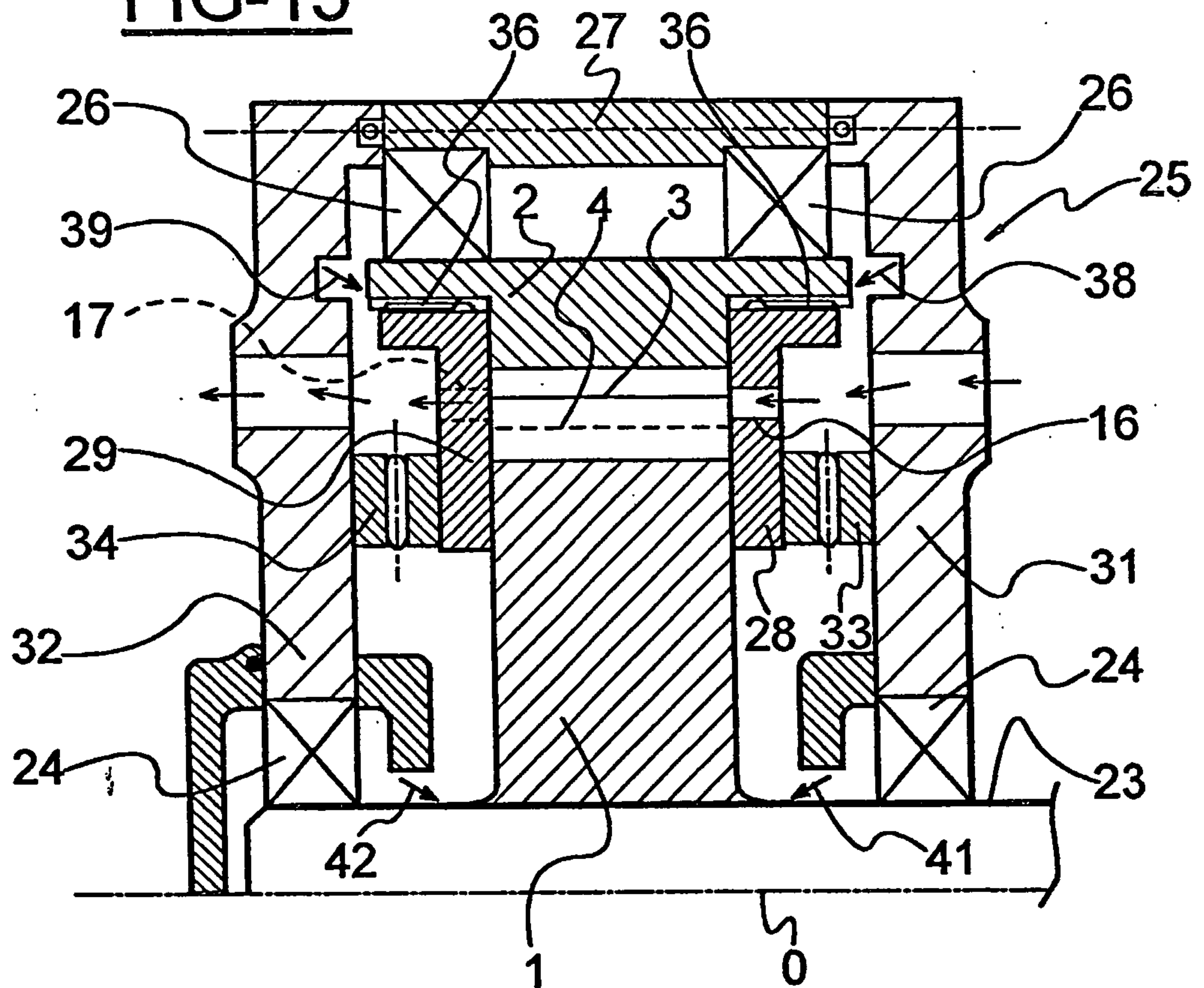
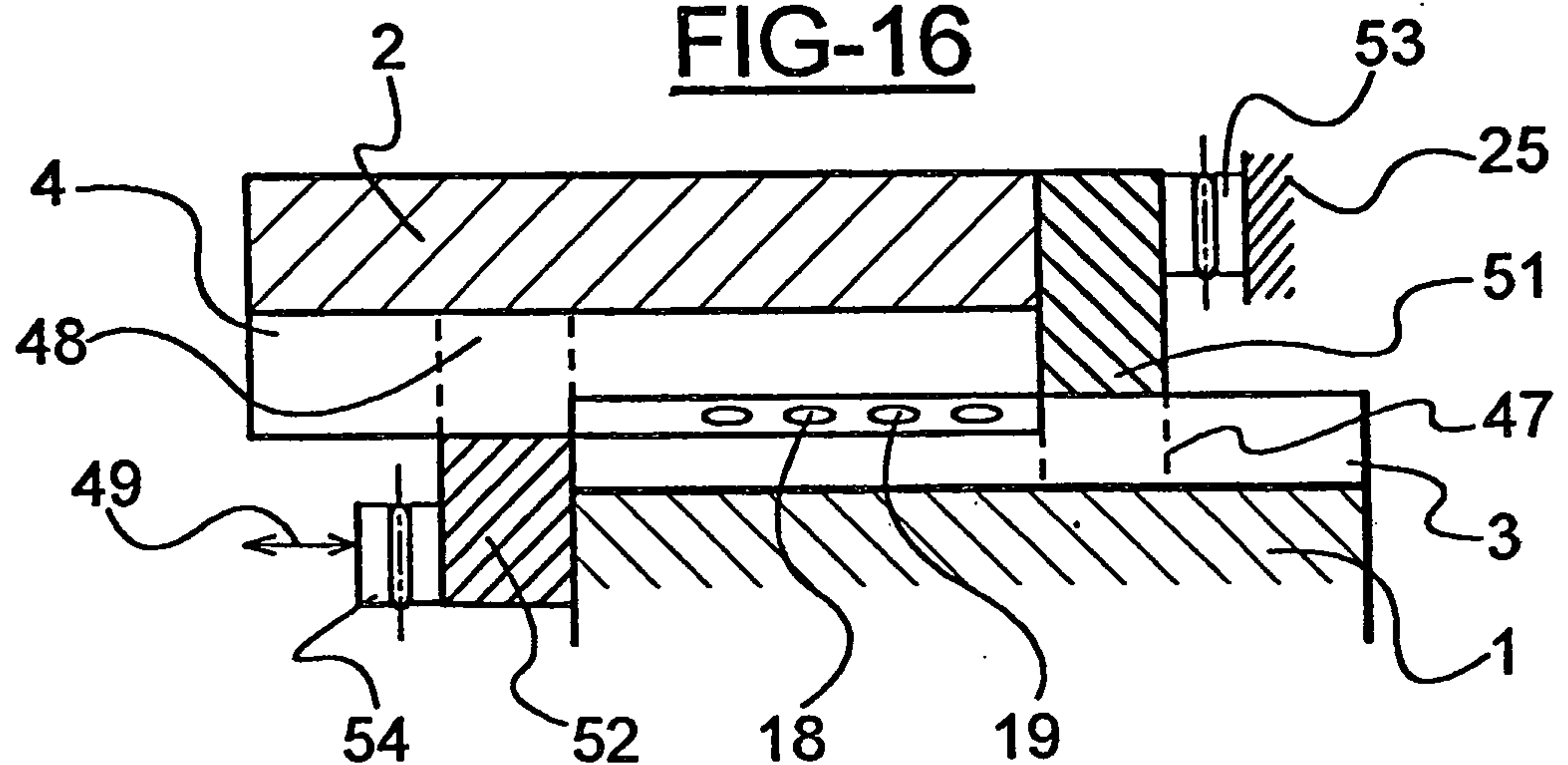
10/19

FIG-13

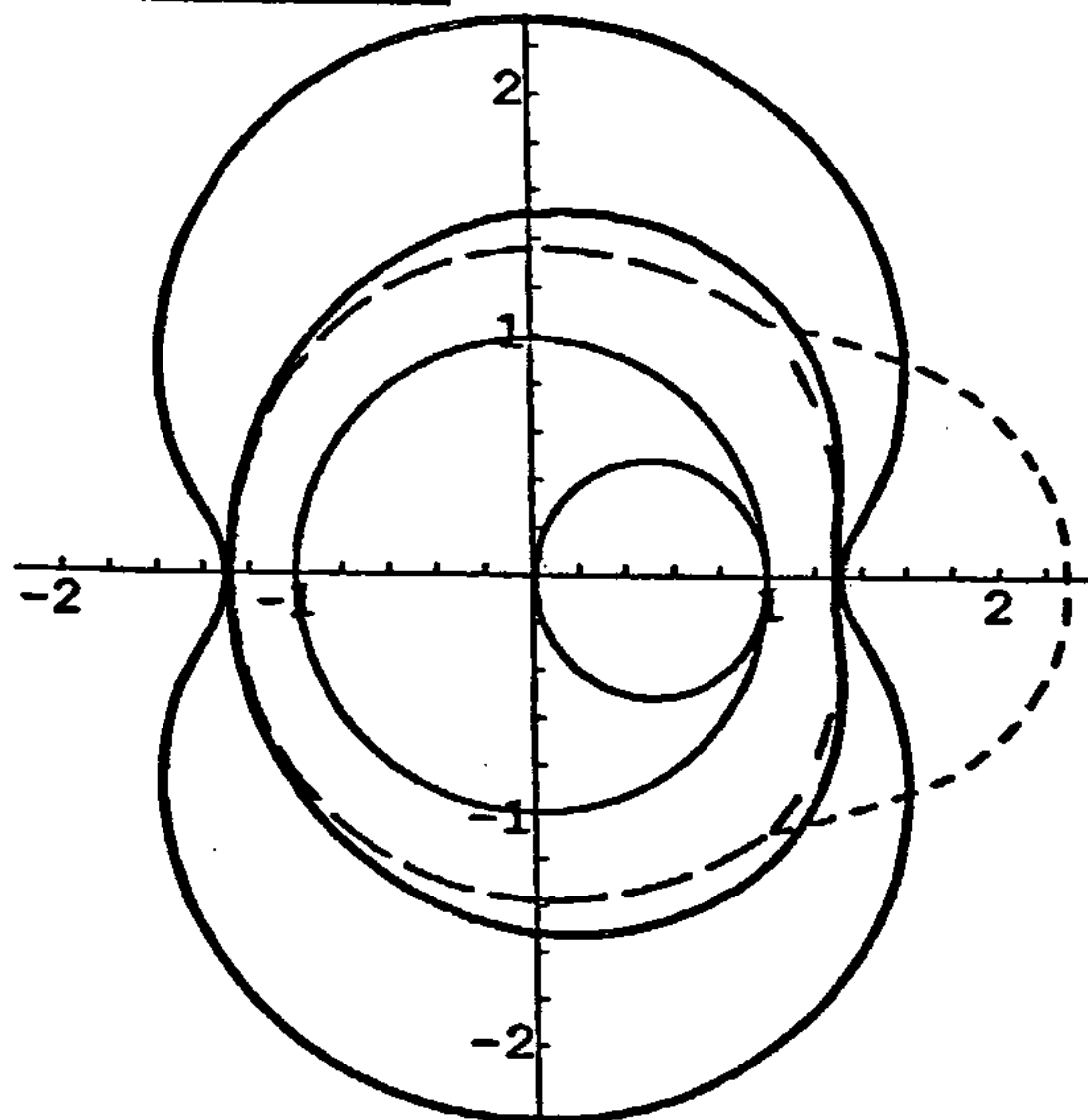
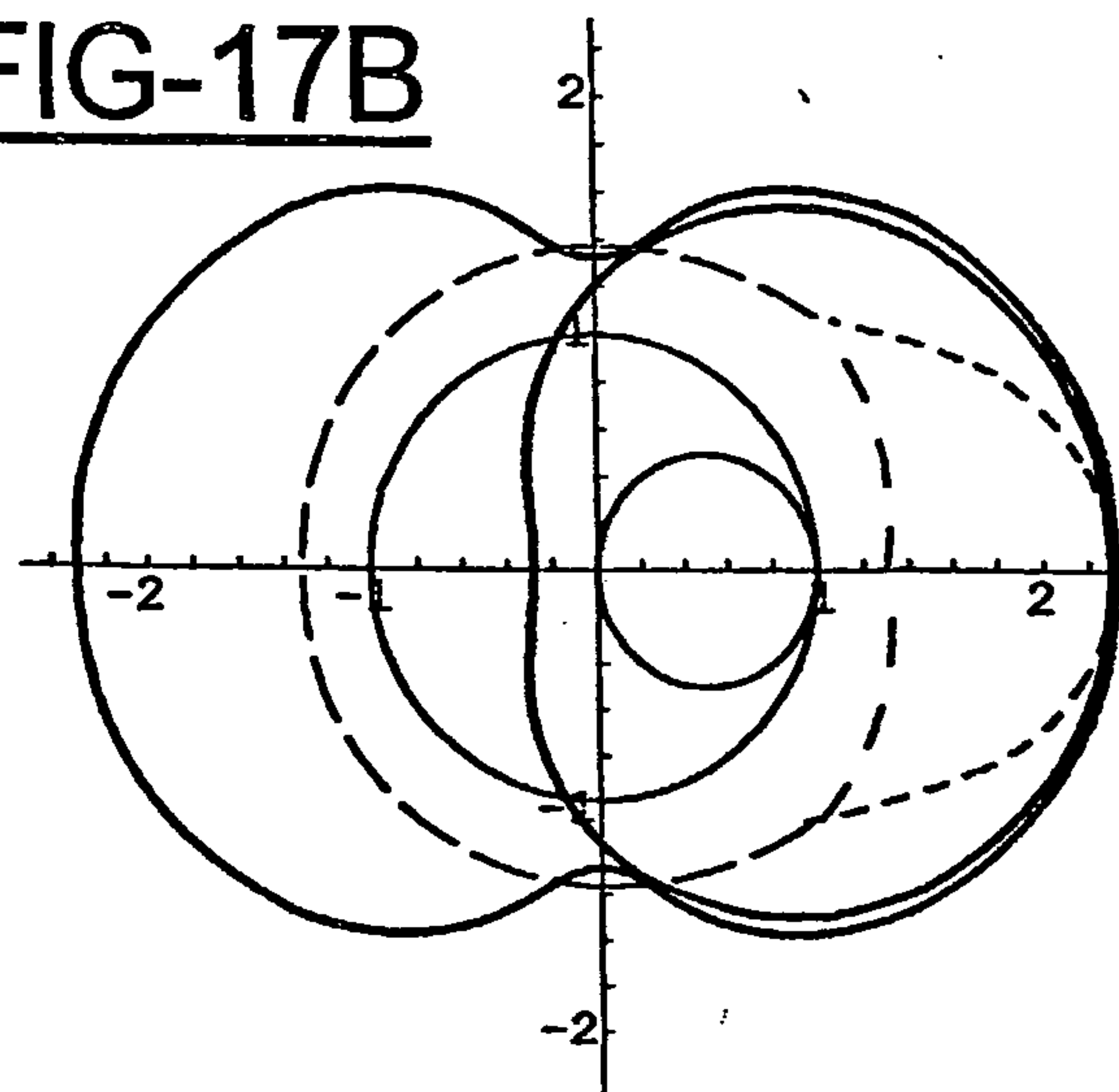
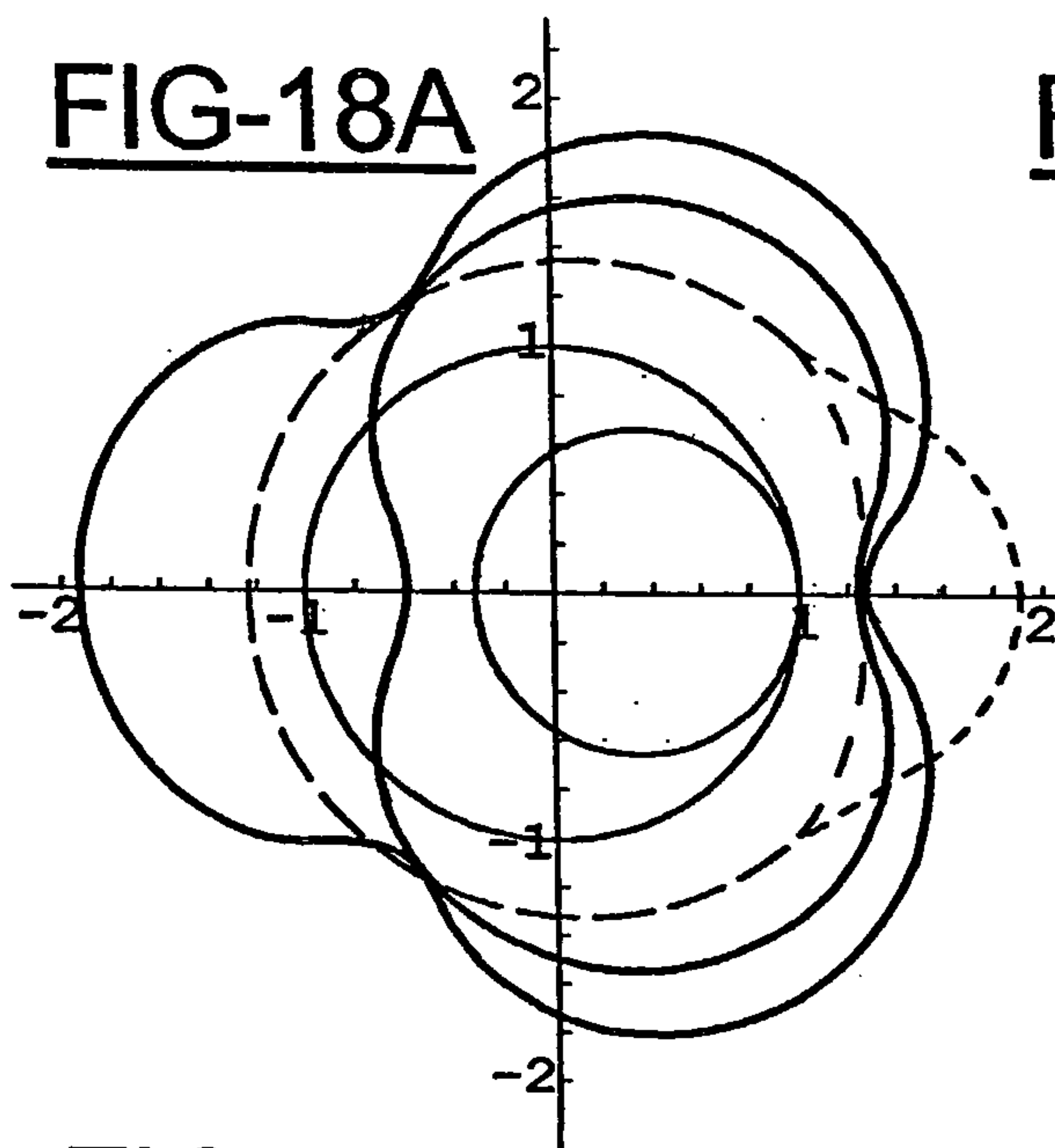
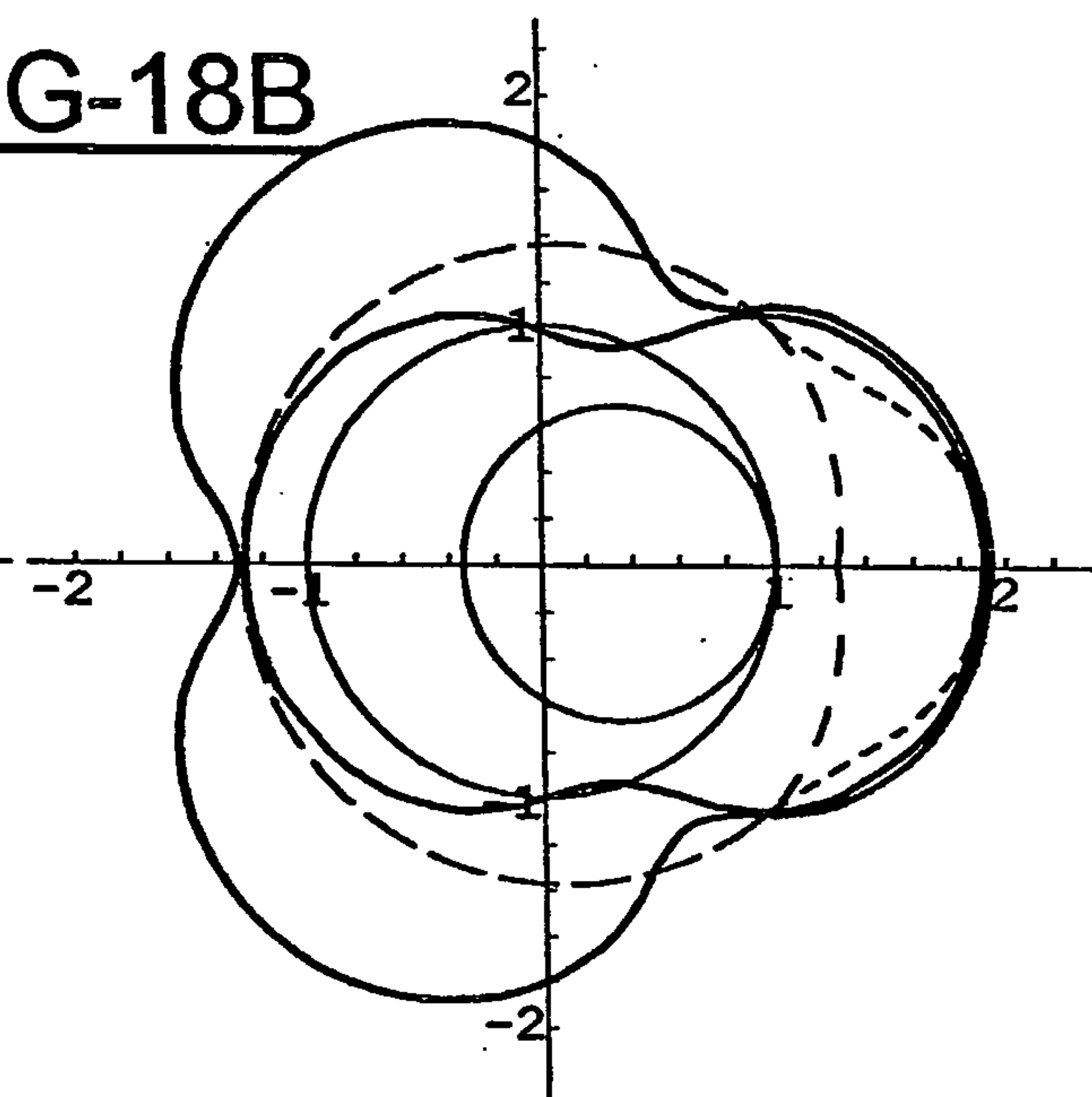
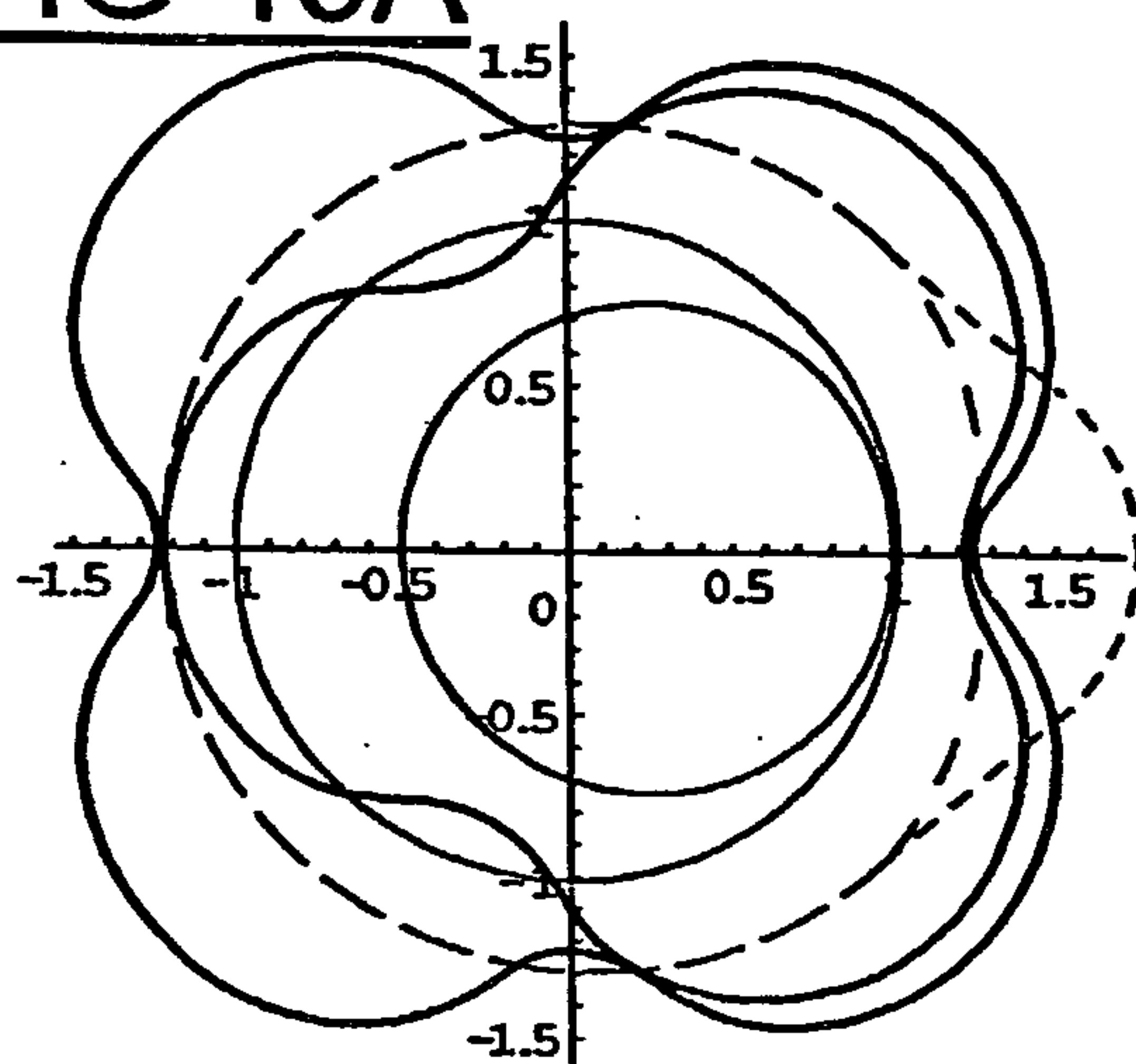
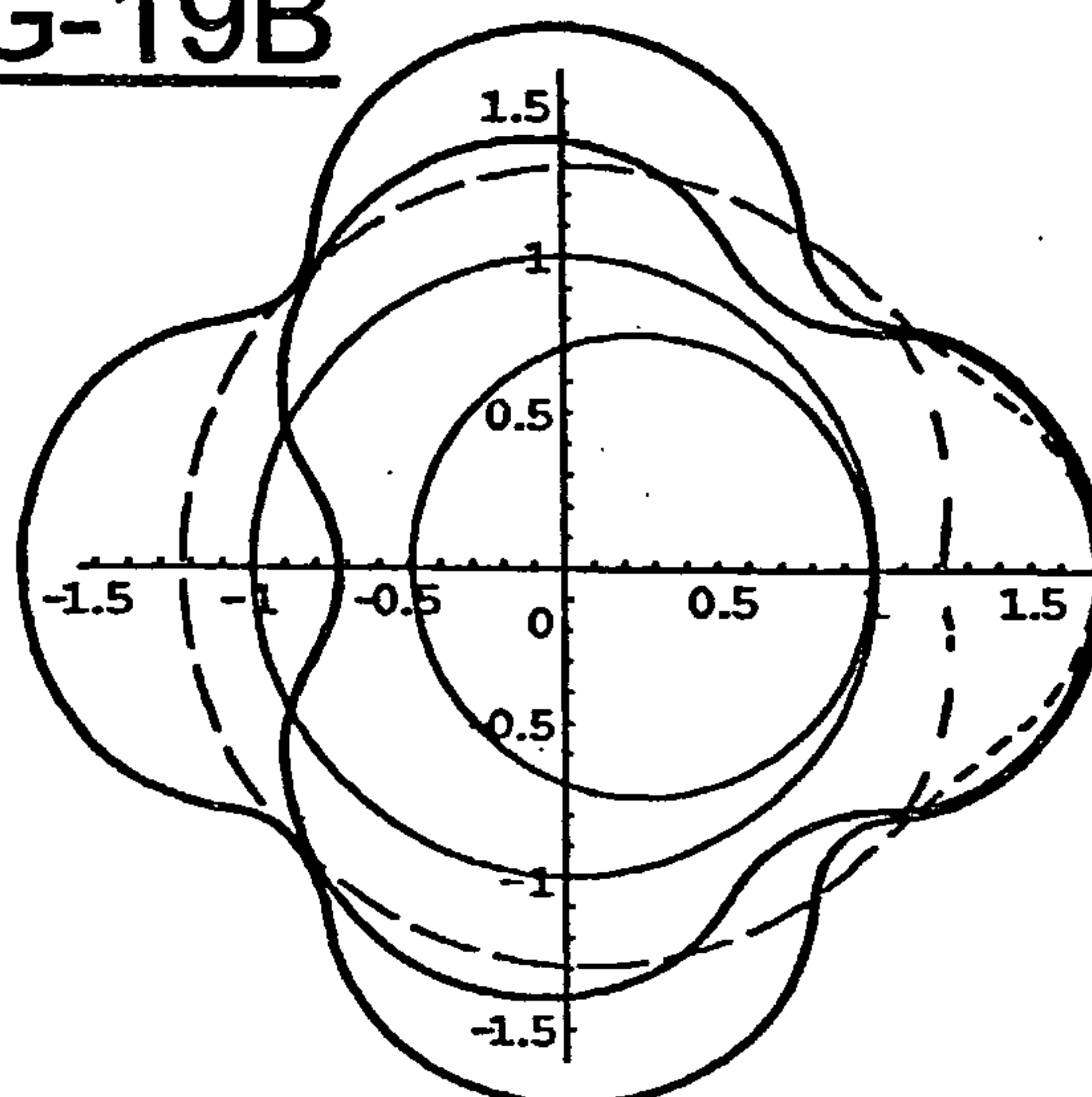
11/19

FIG-14

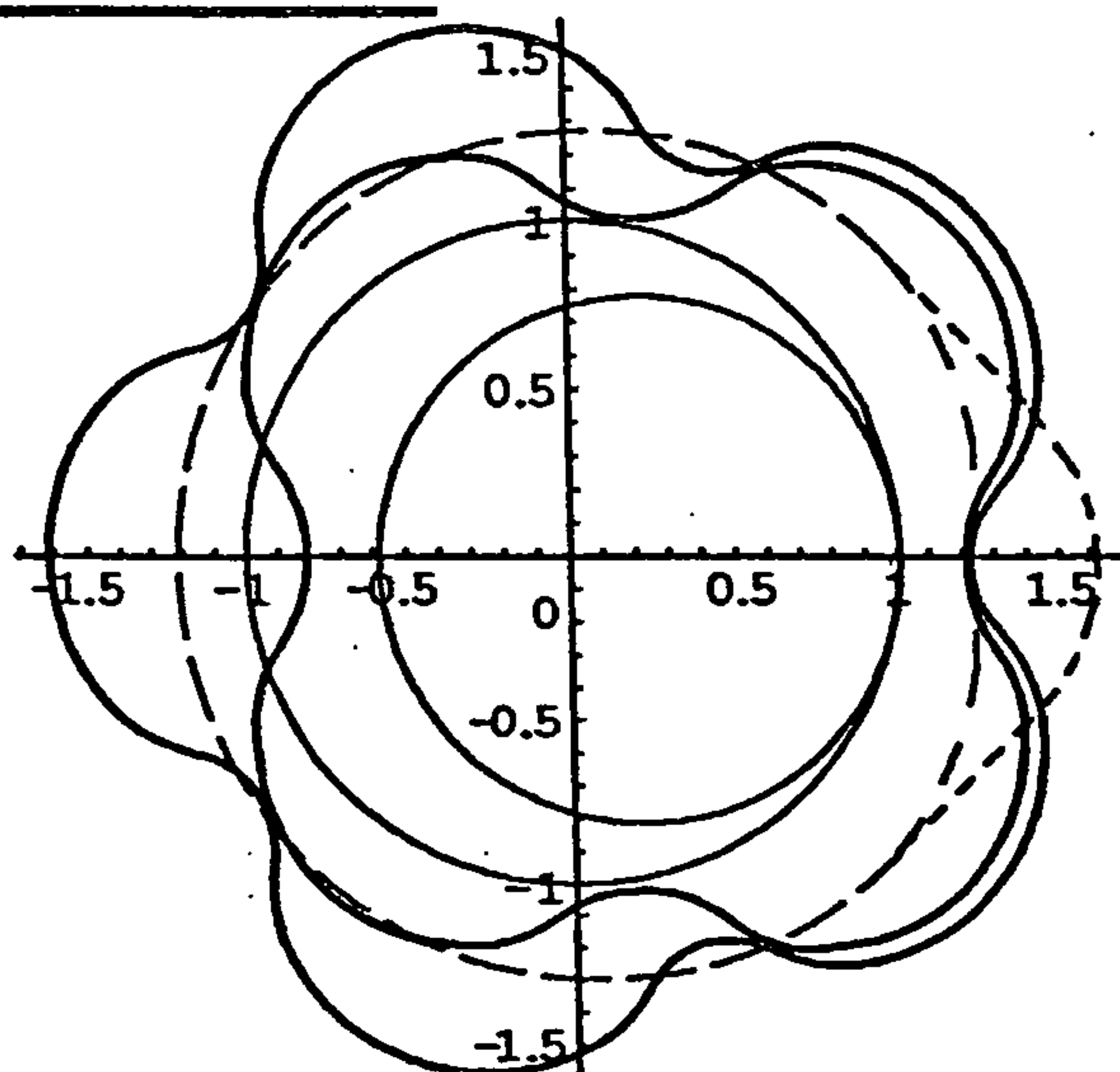
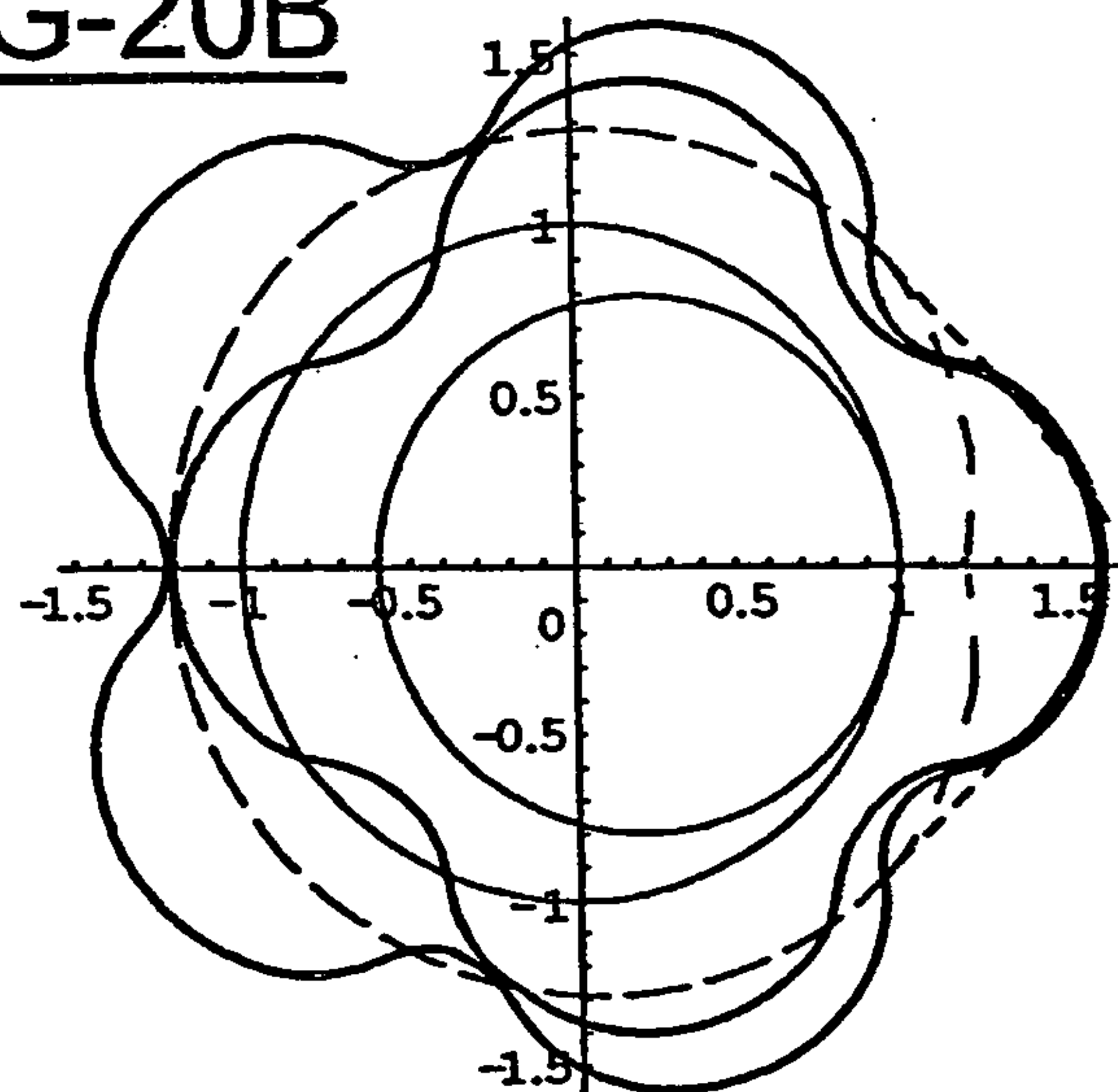
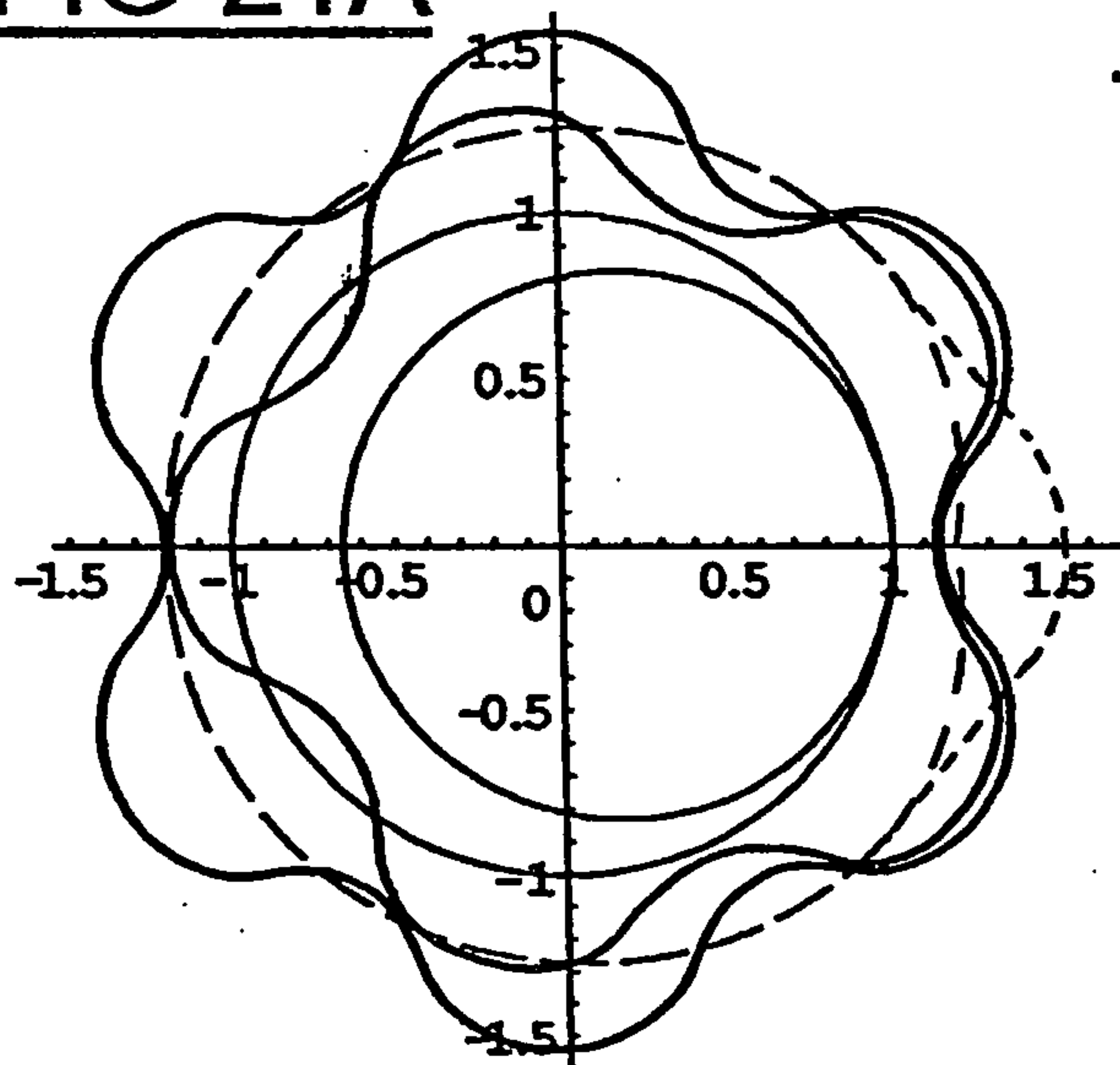
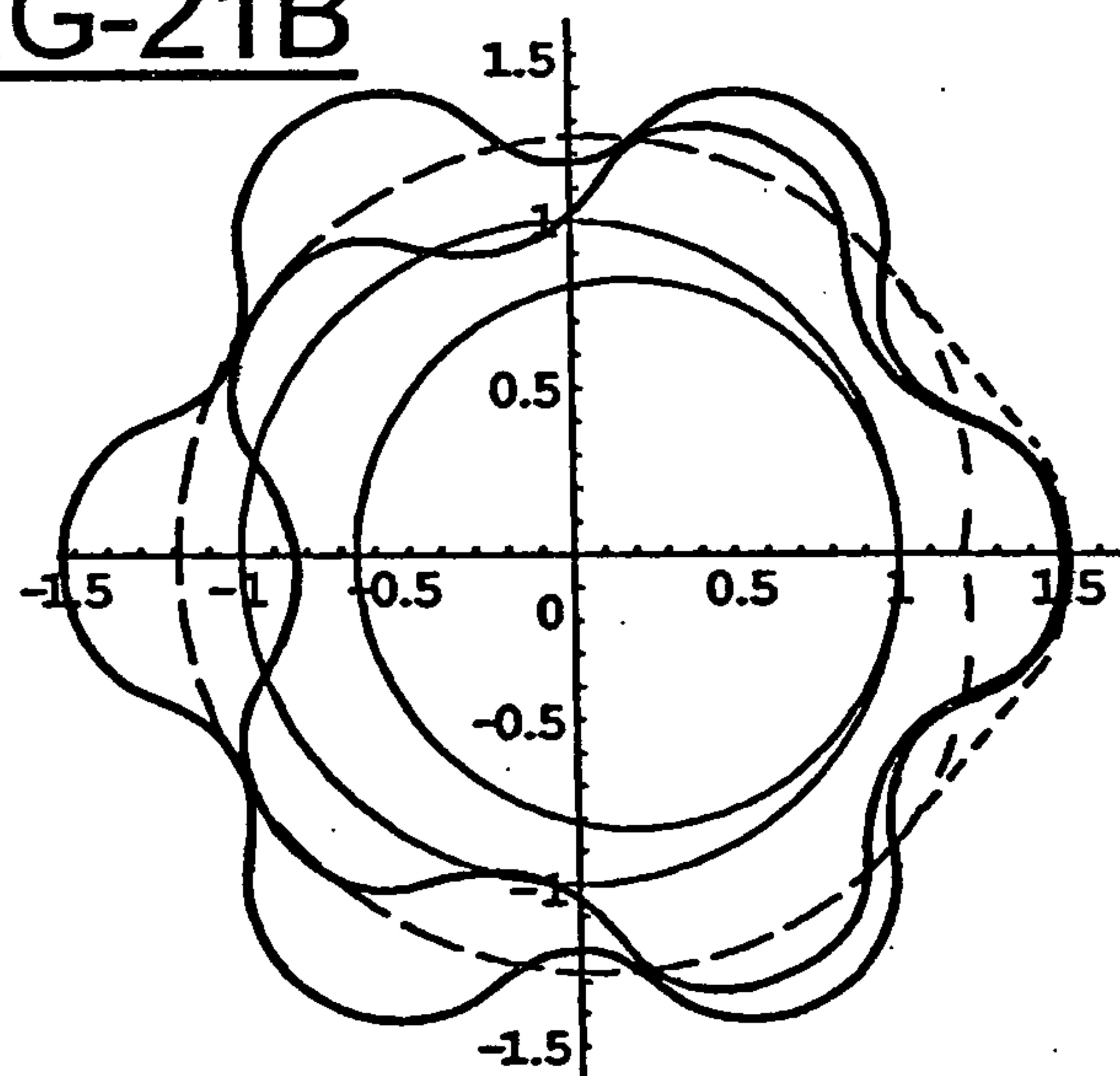
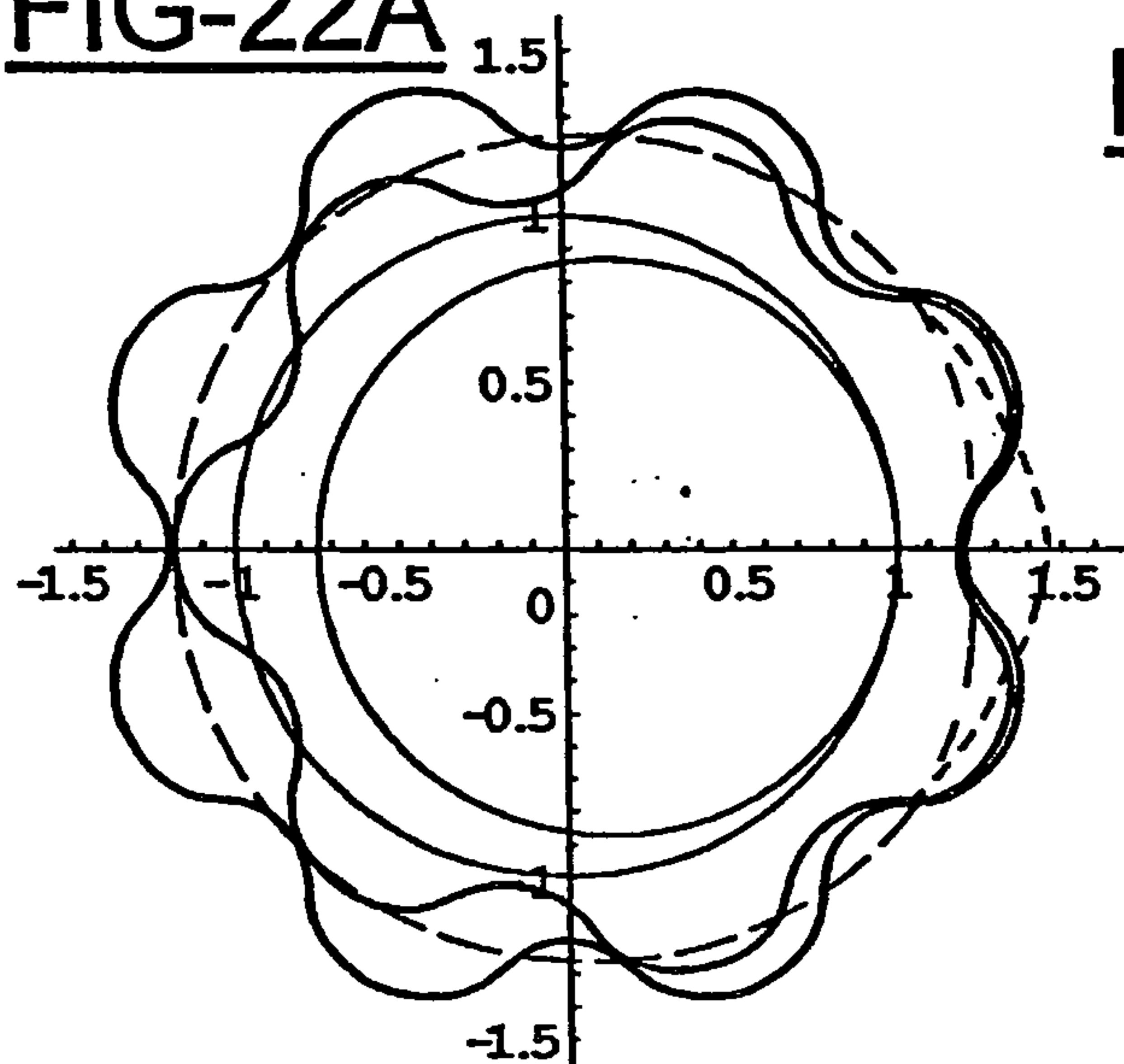
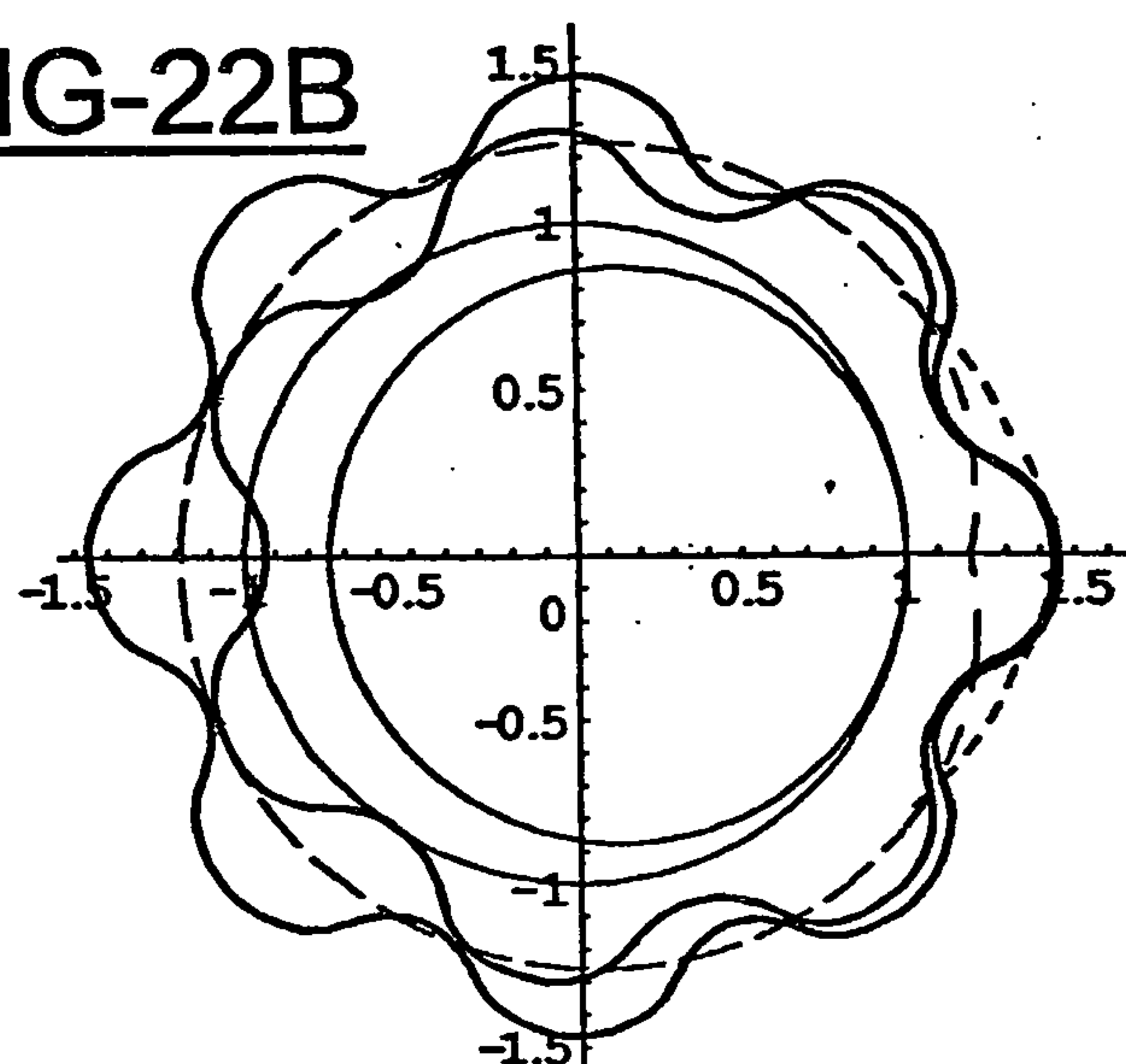
12/19

FIG-15FIG-16

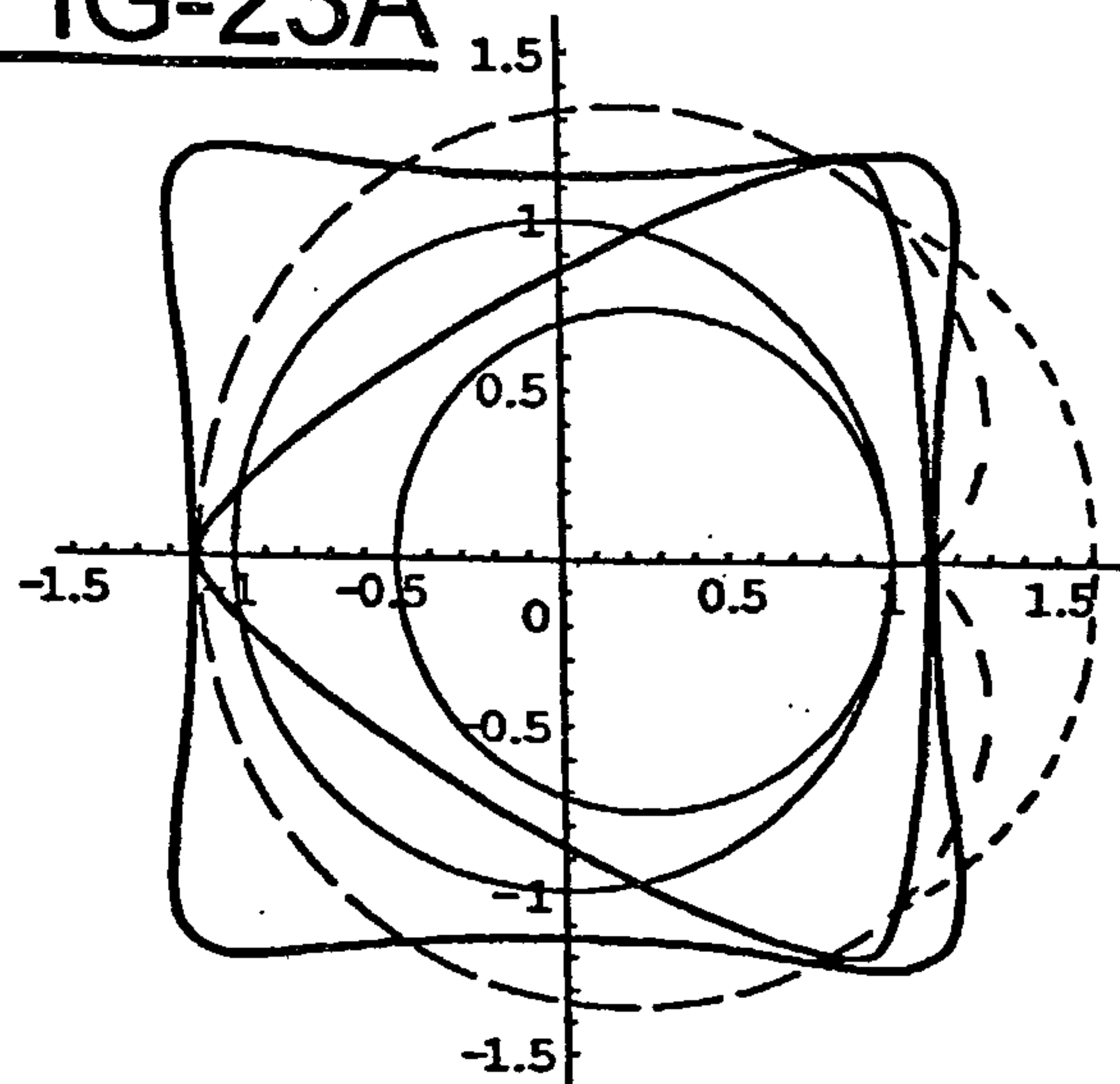
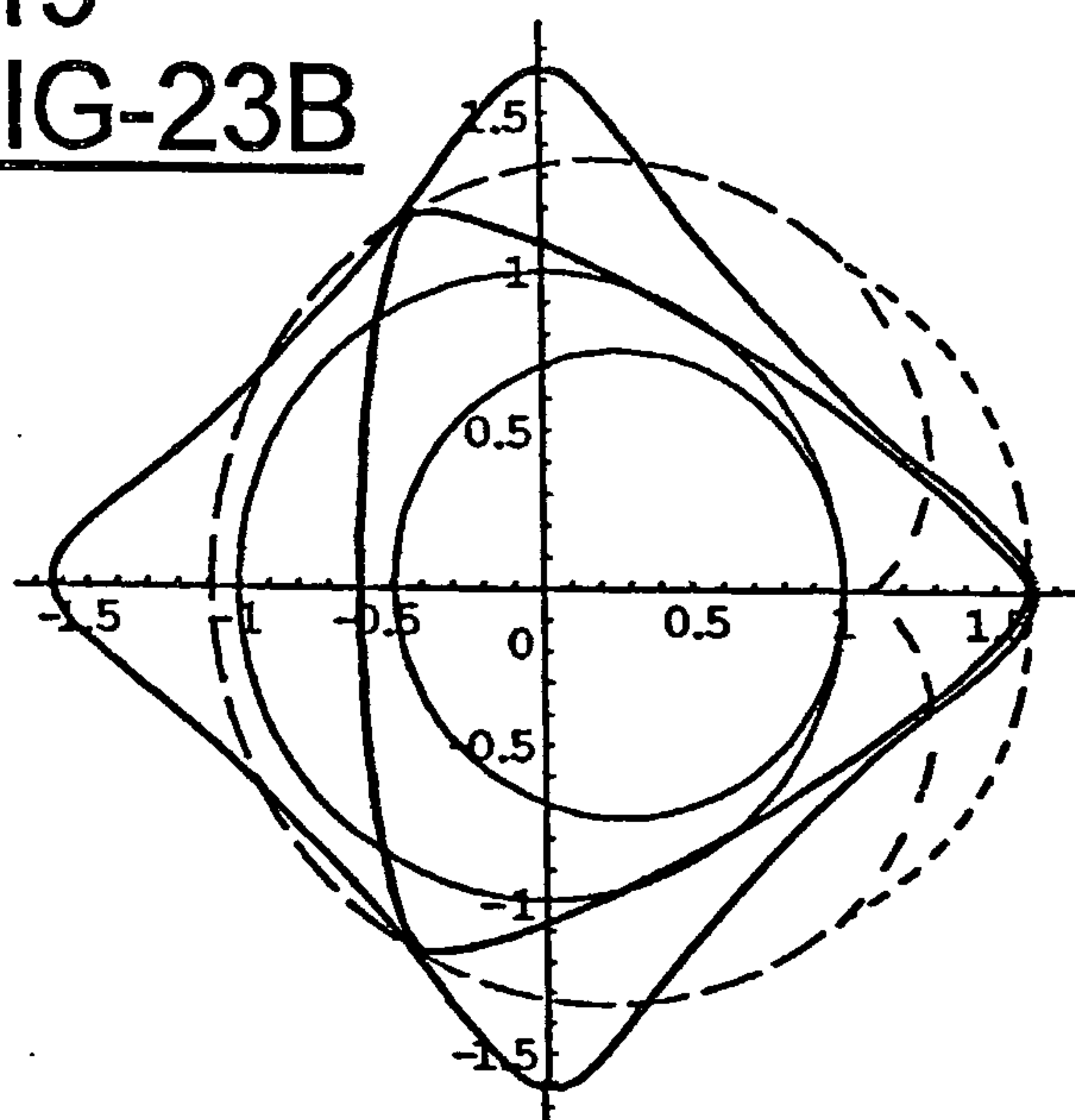
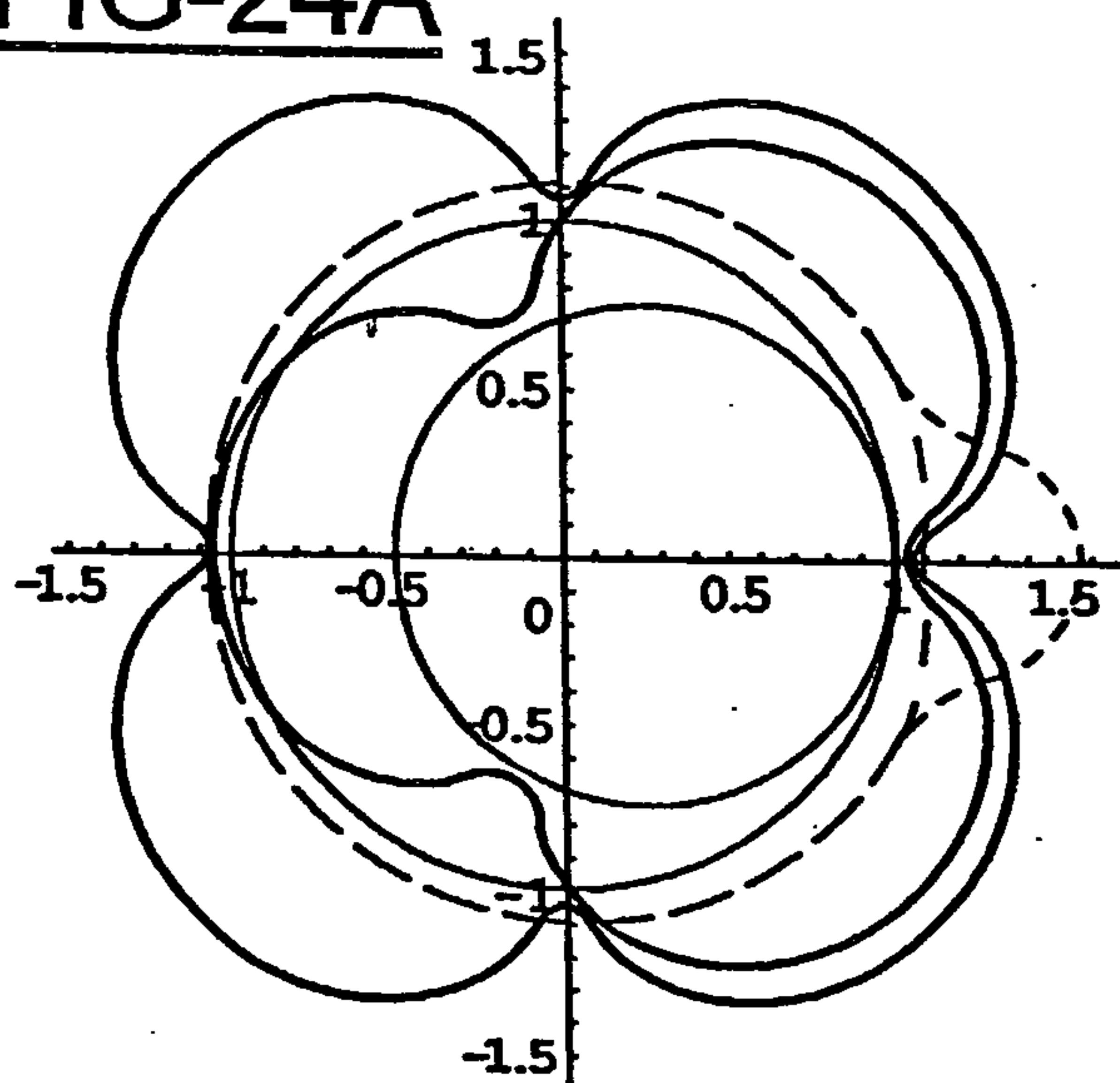
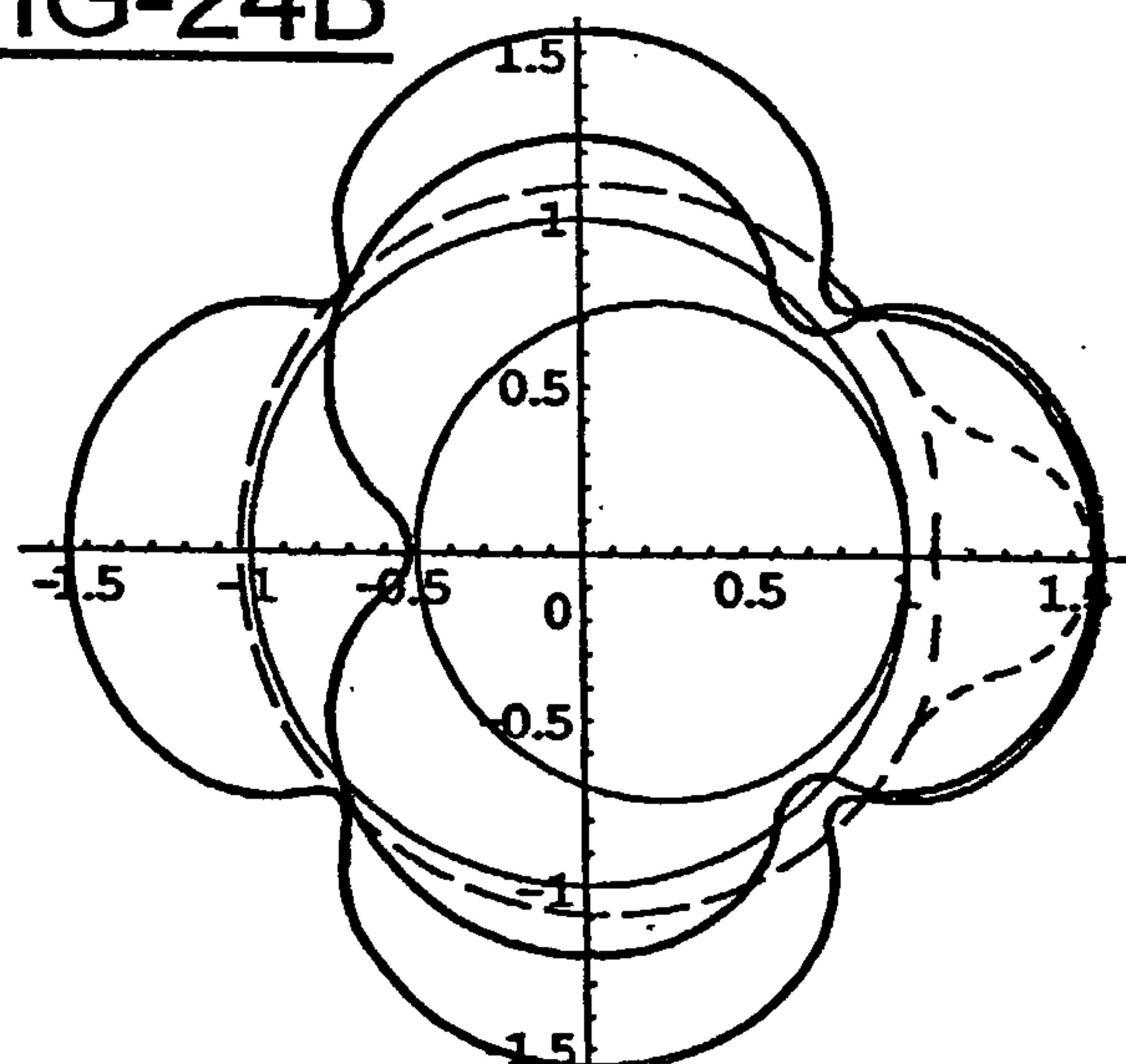
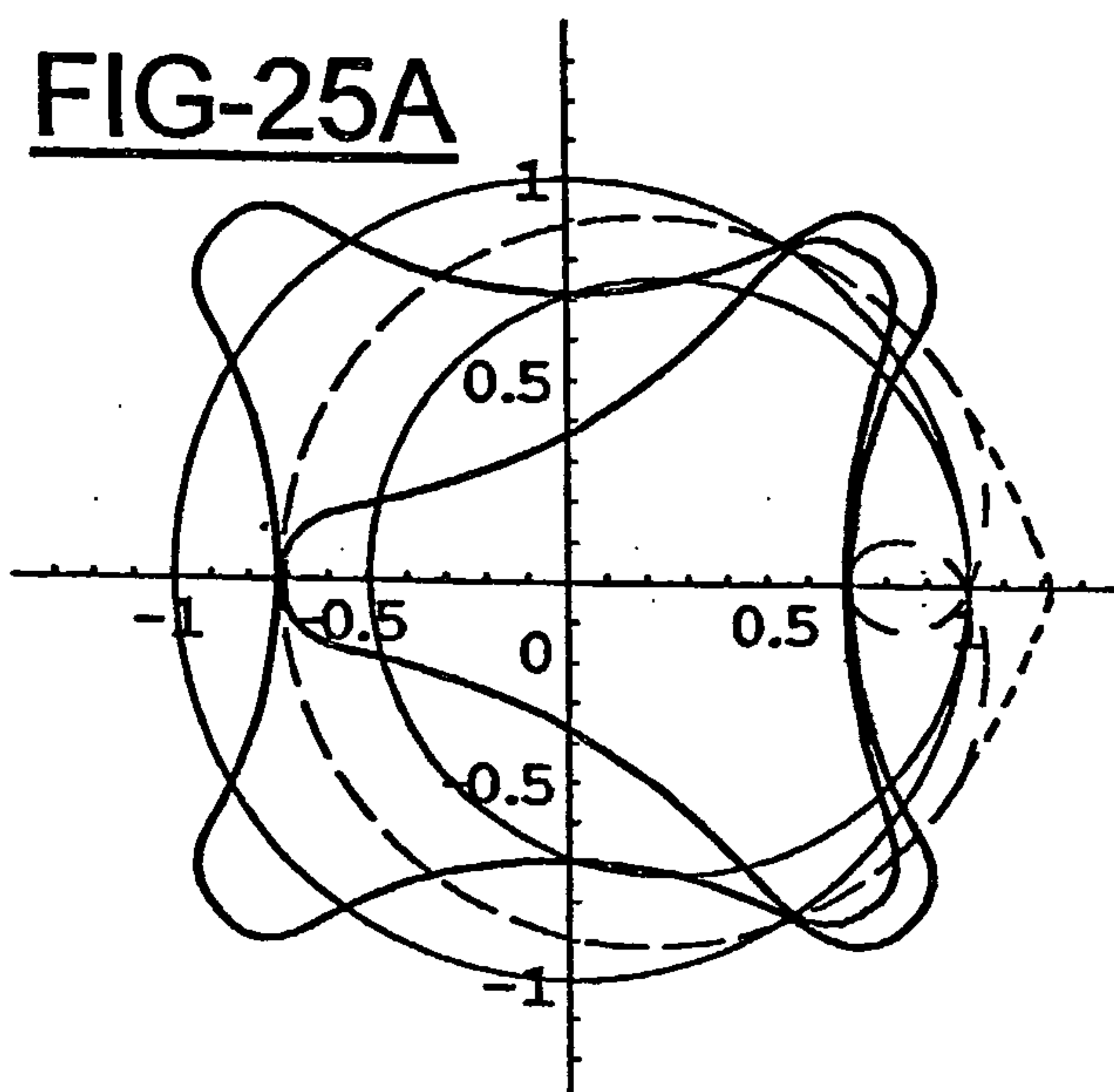
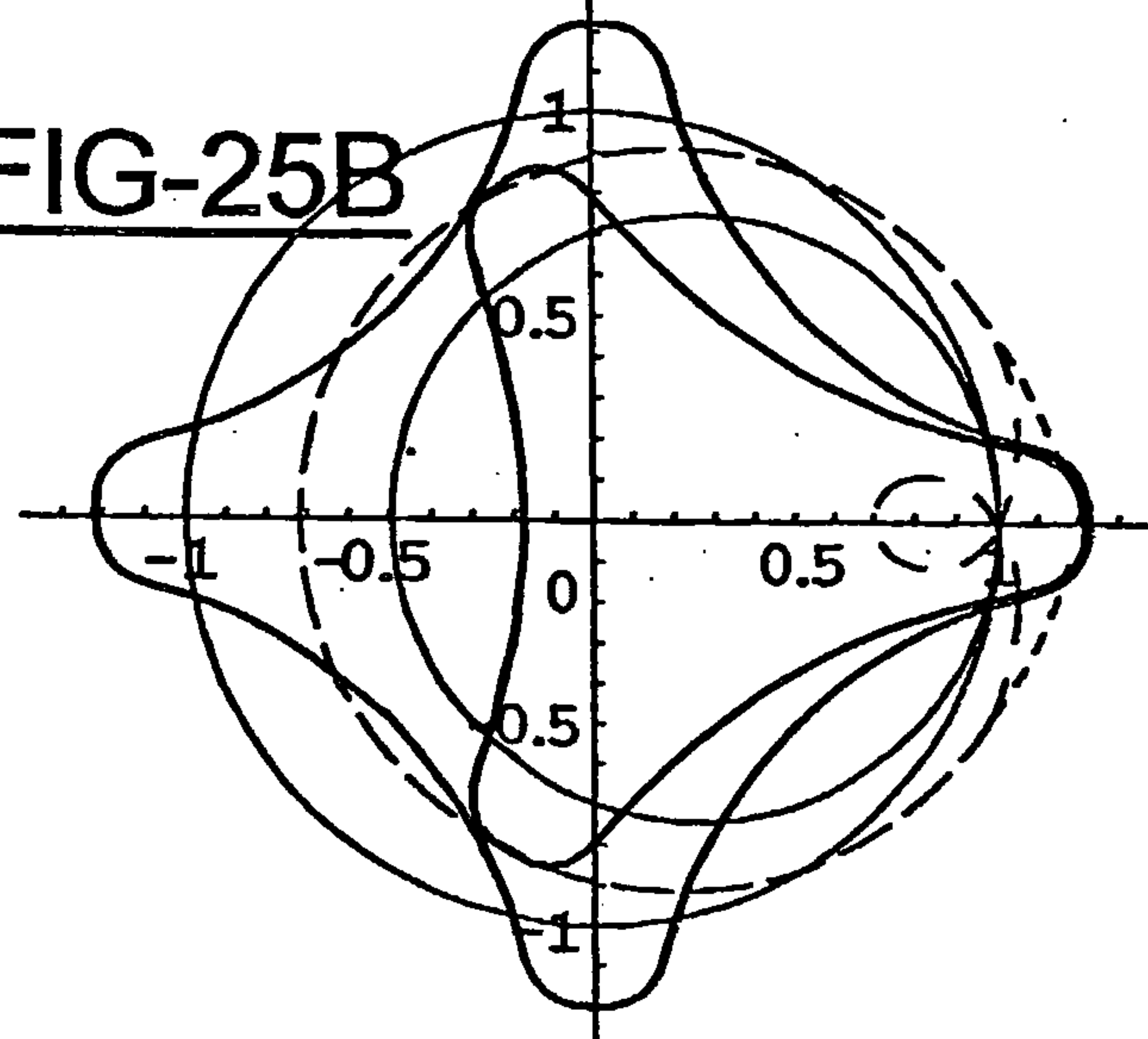
13/19

FIG-17AFIG-17BFIG-18AFIG-18BFIG-19AFIG-19B

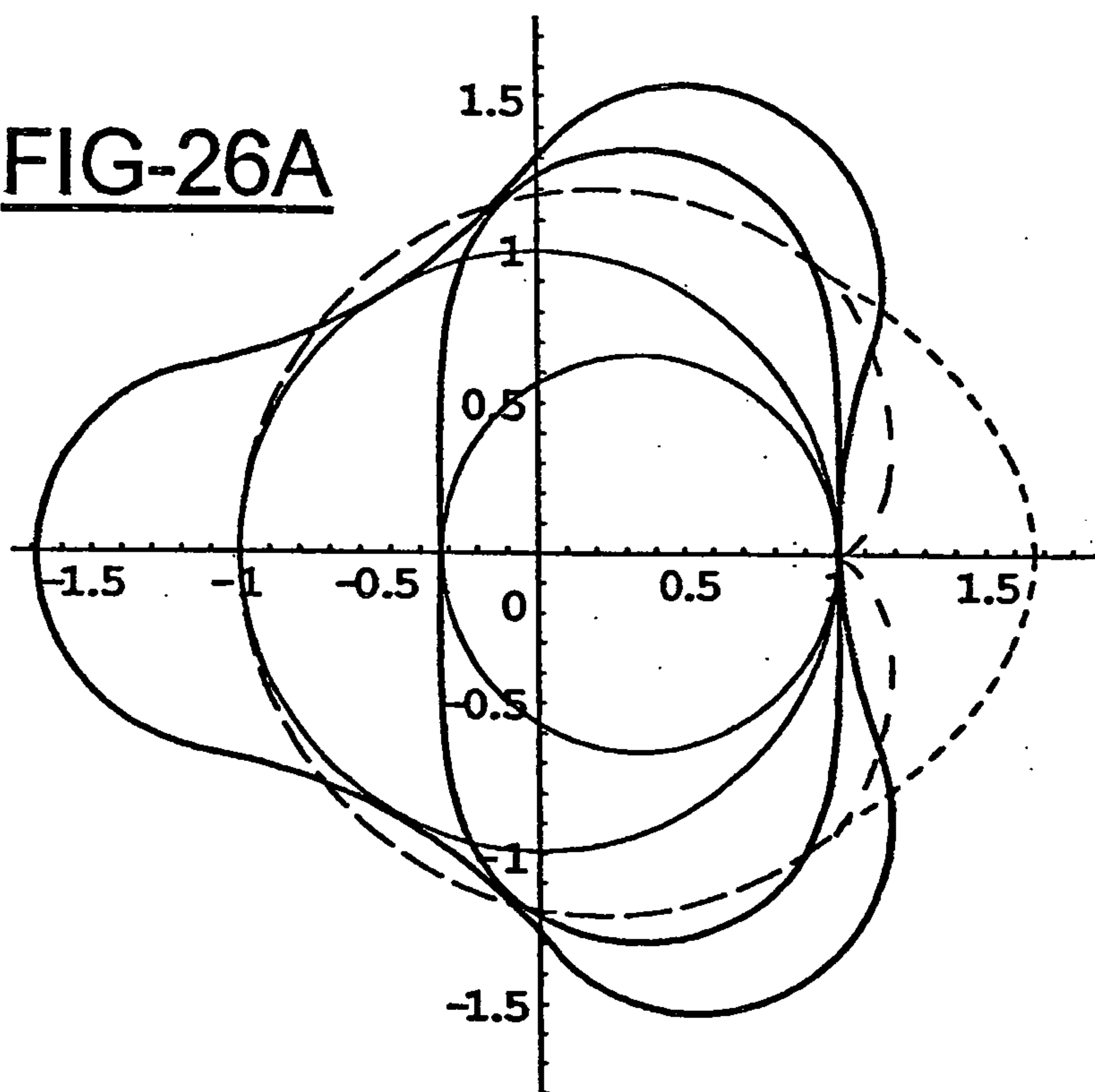
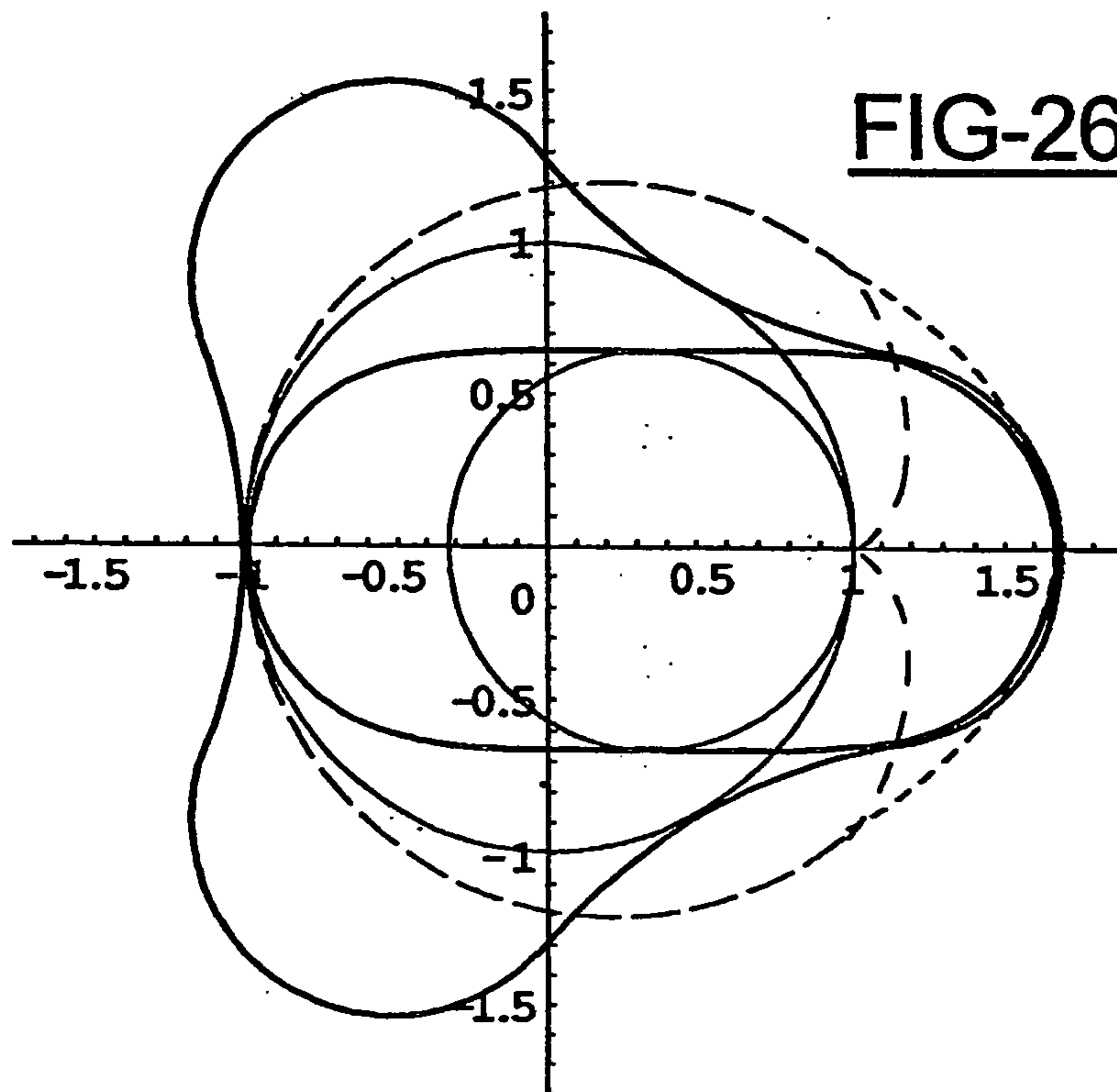
14/19

FIG-20AFIG-20BFIG-21AFIG-21BFIG-22AFIG-22B

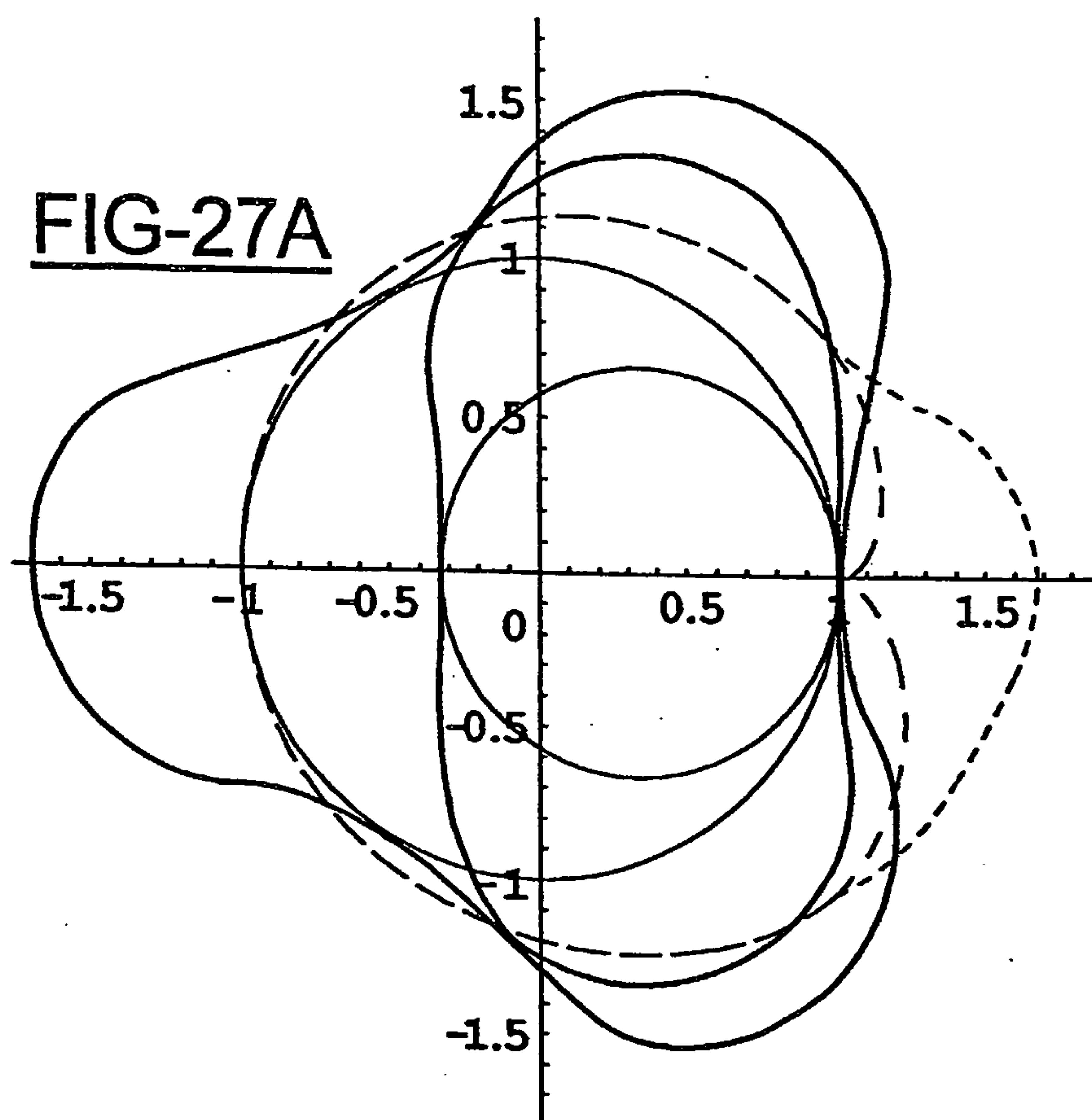
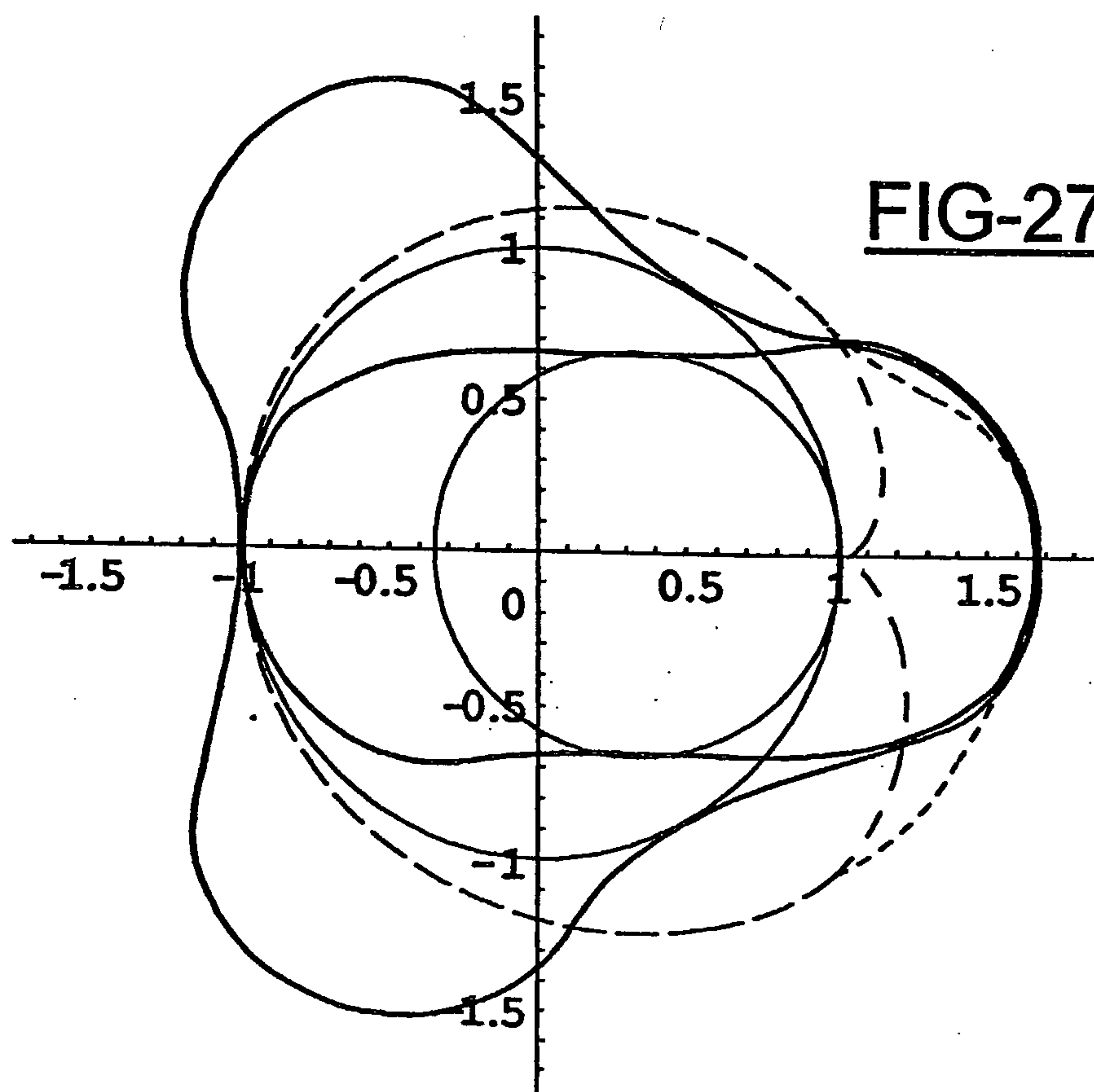
15/19

FIG-23AFIG-23BFIG-24AFIG-24BFIG-25AFIG-25B

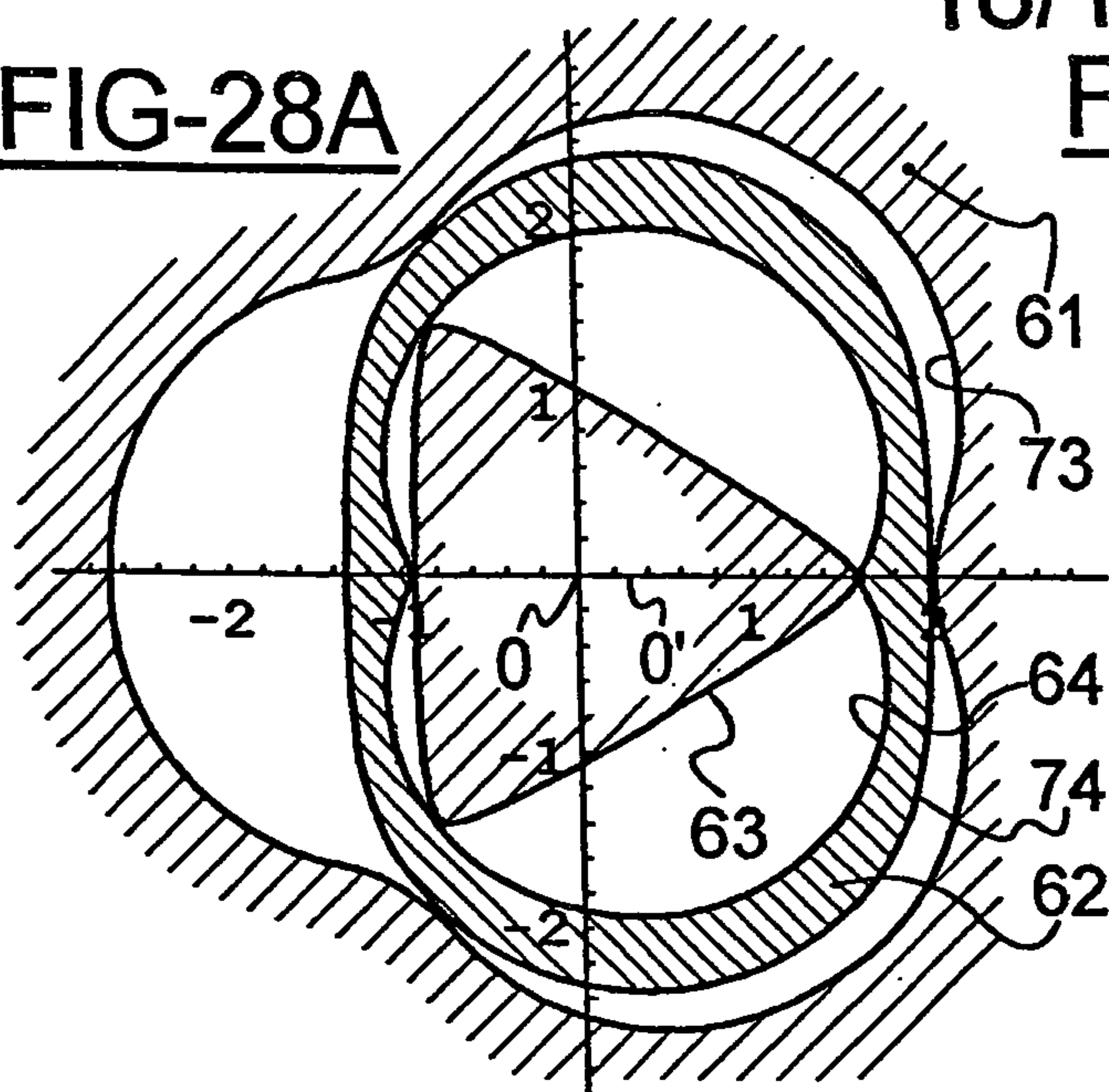
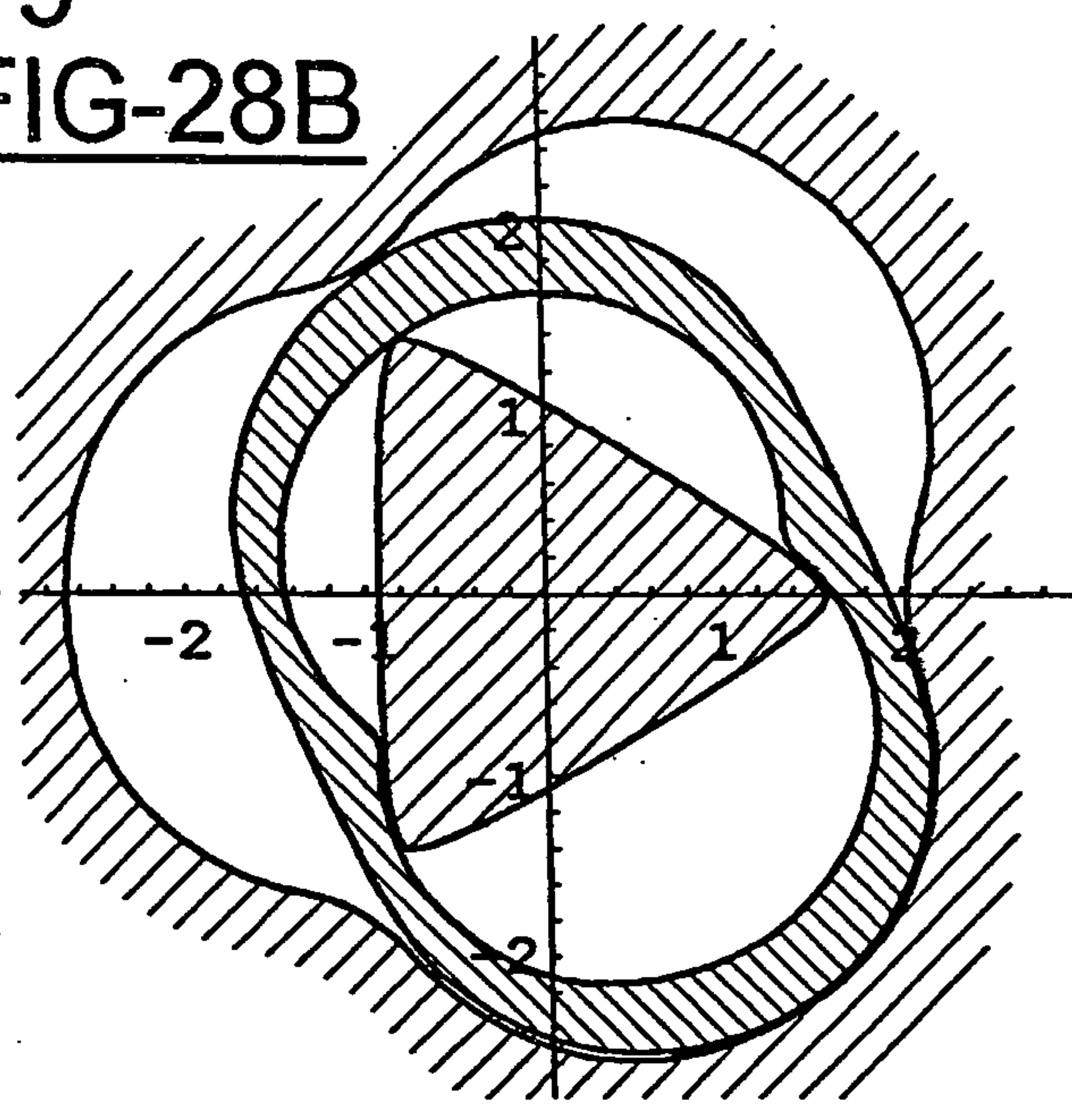
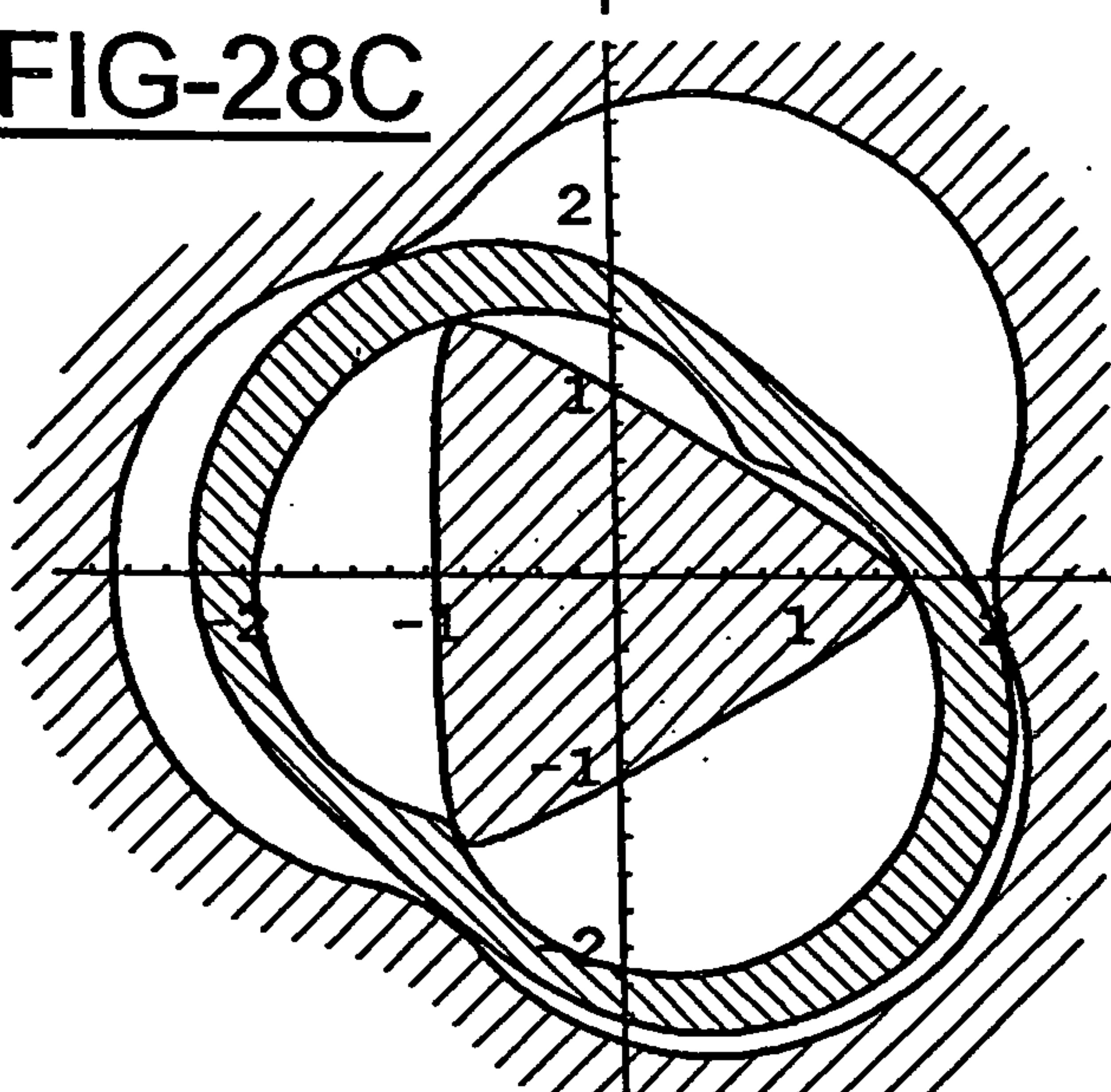
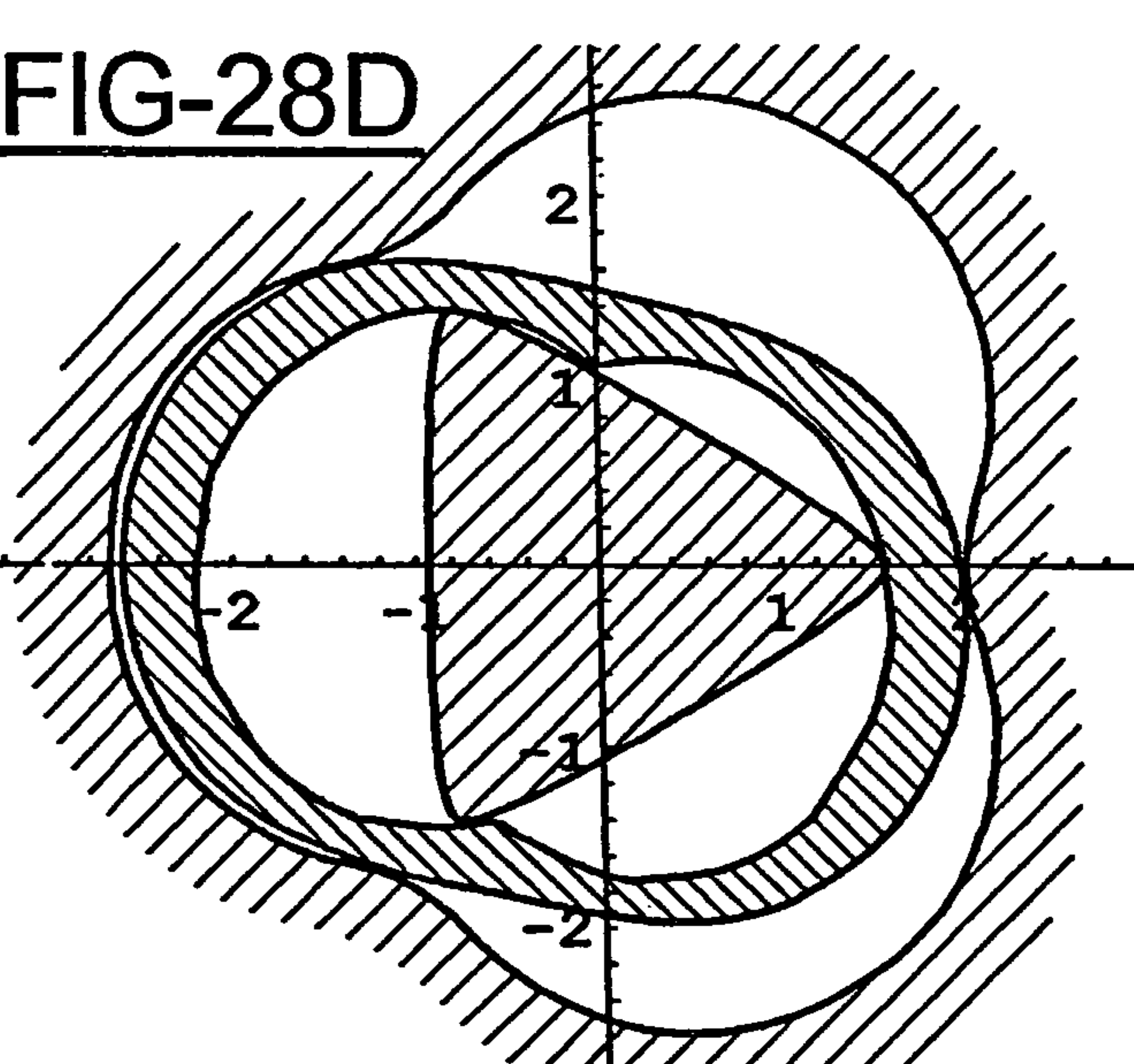
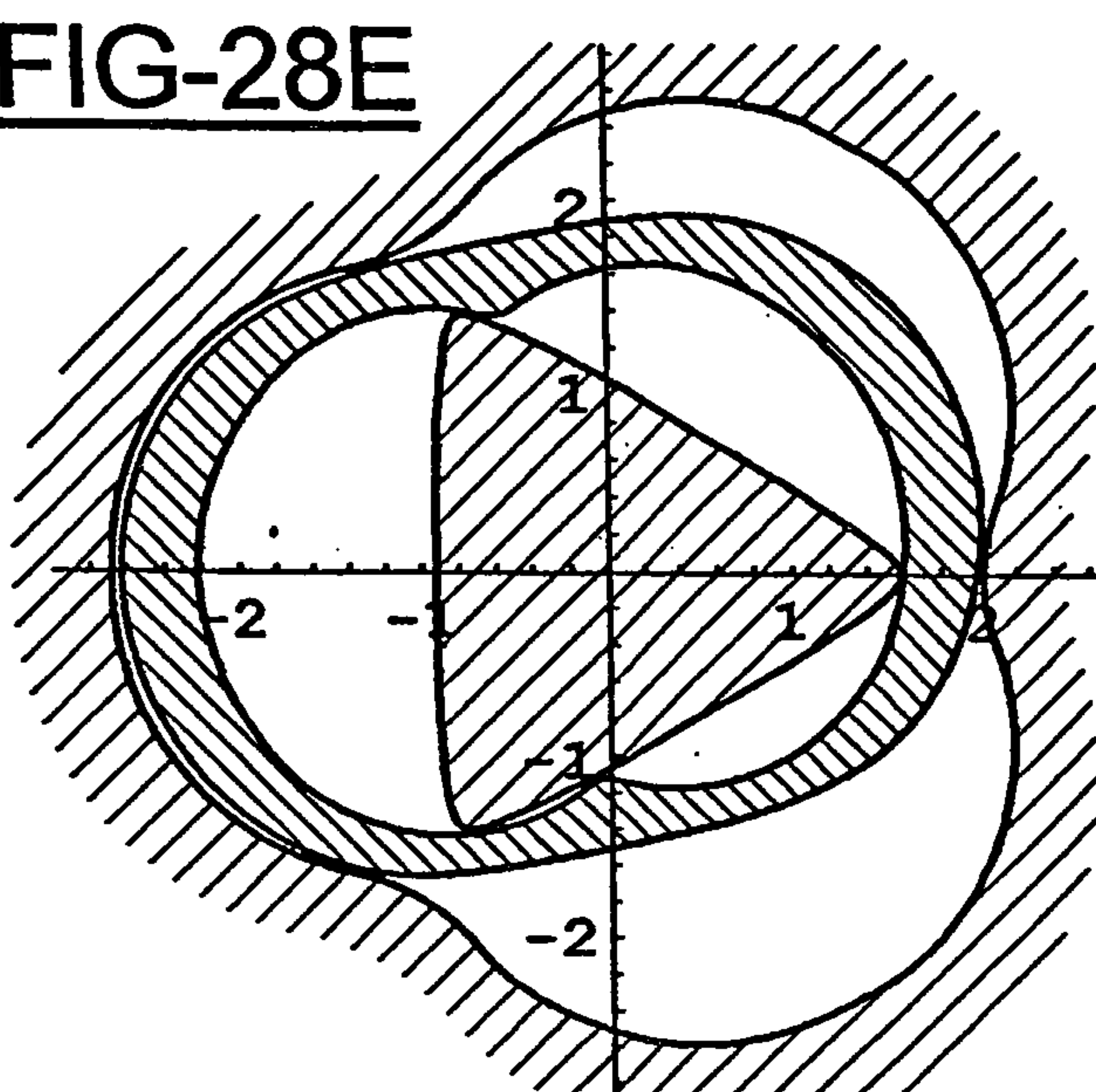
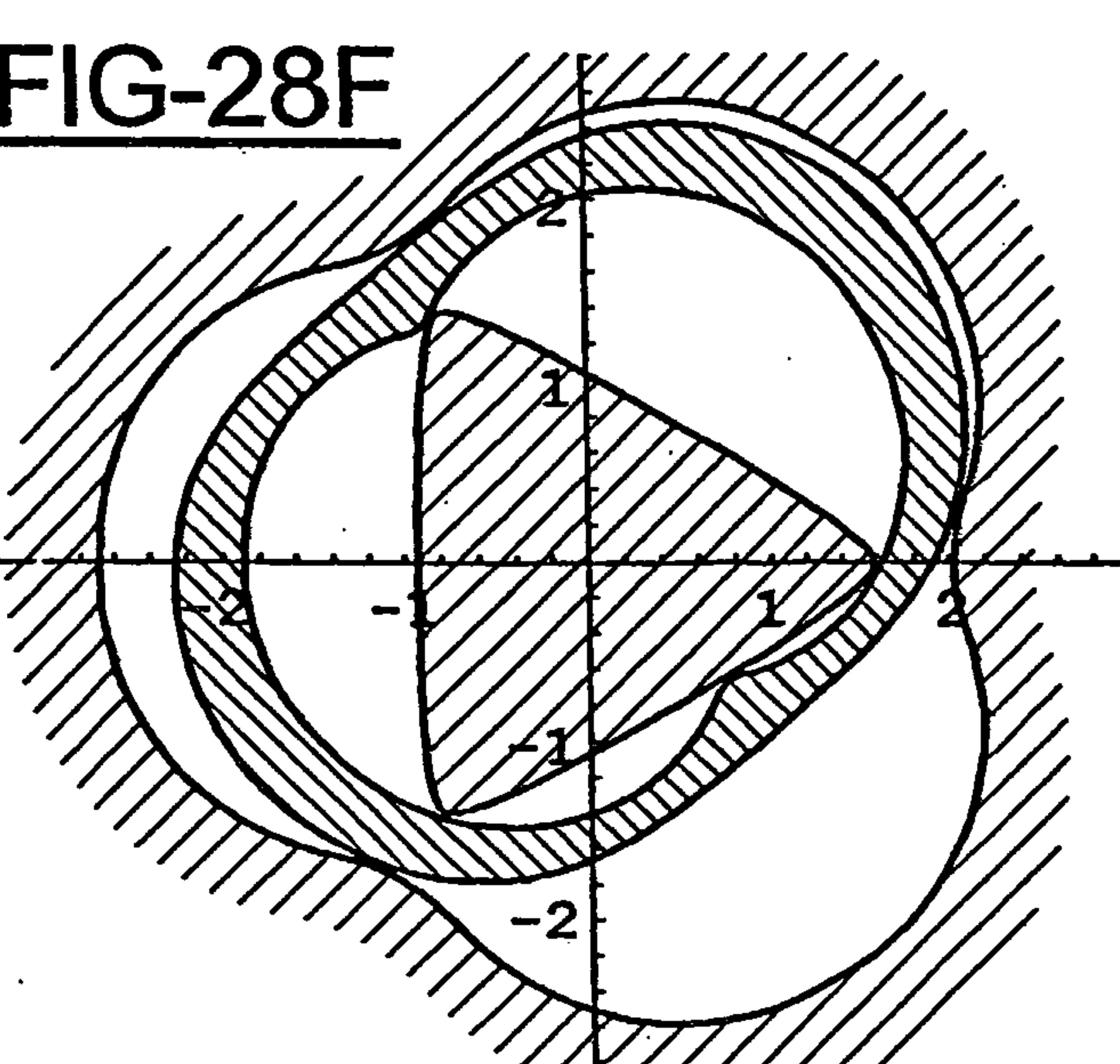
16/19

FIG-26AFIG-26B

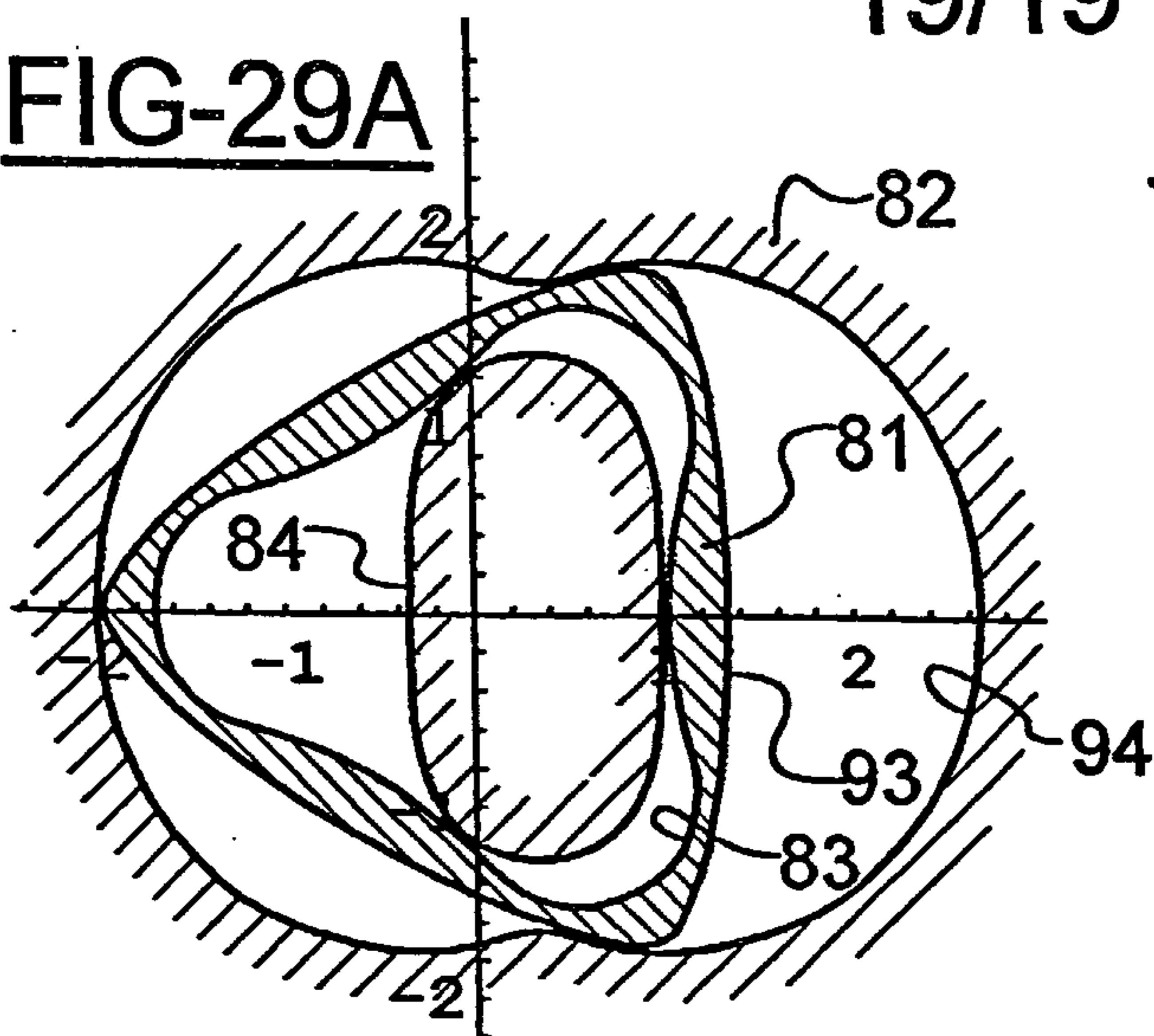
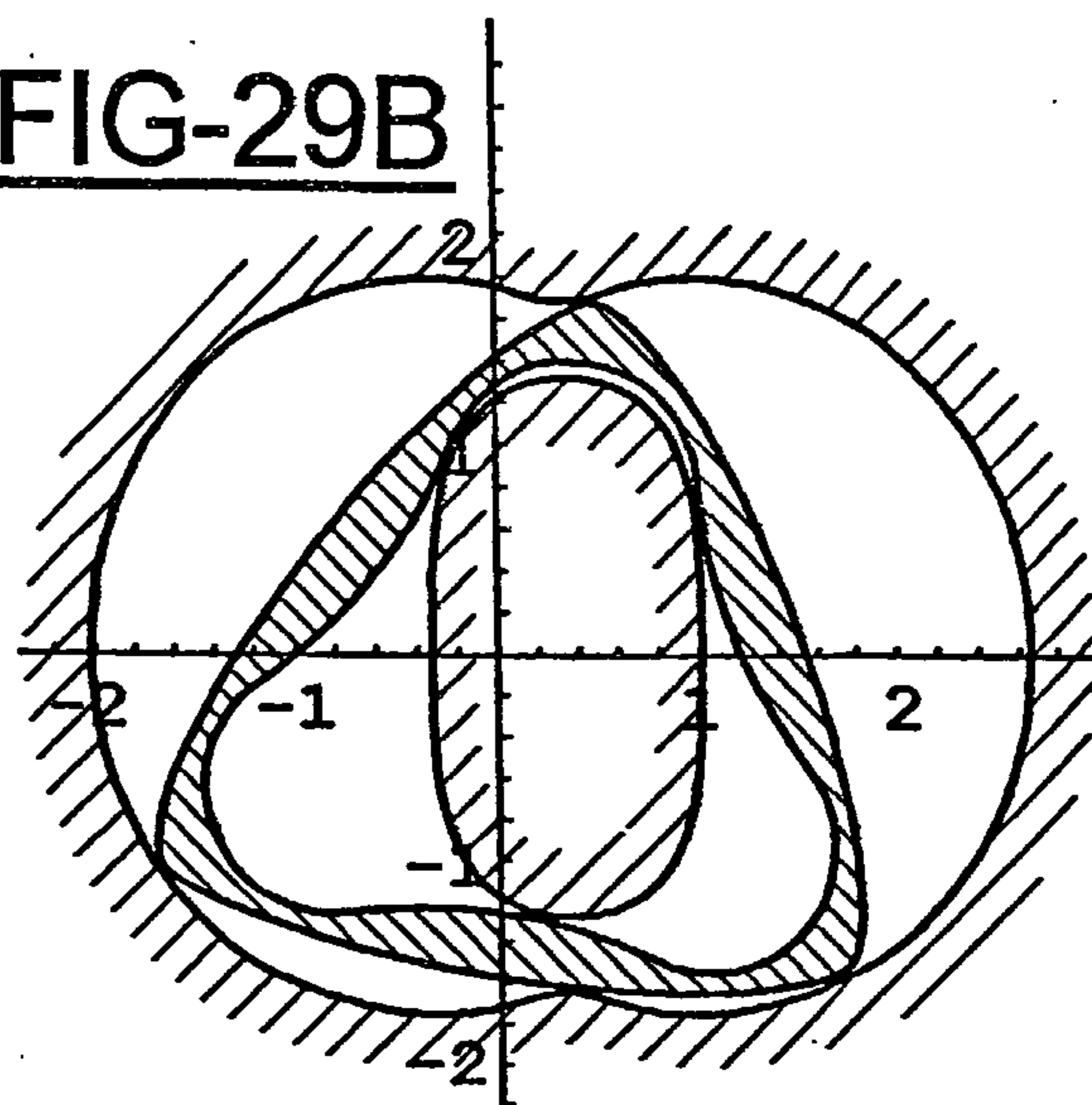
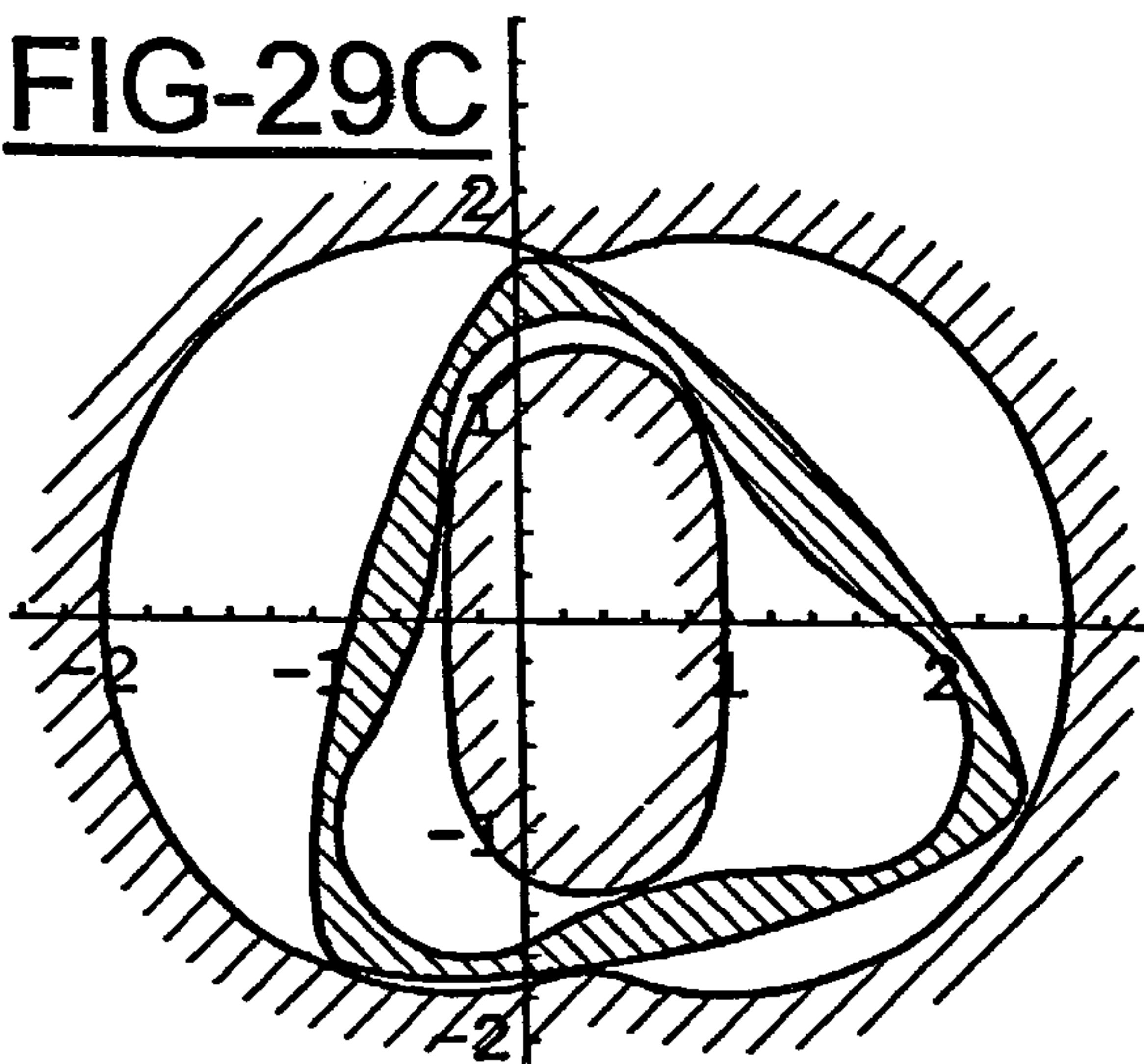
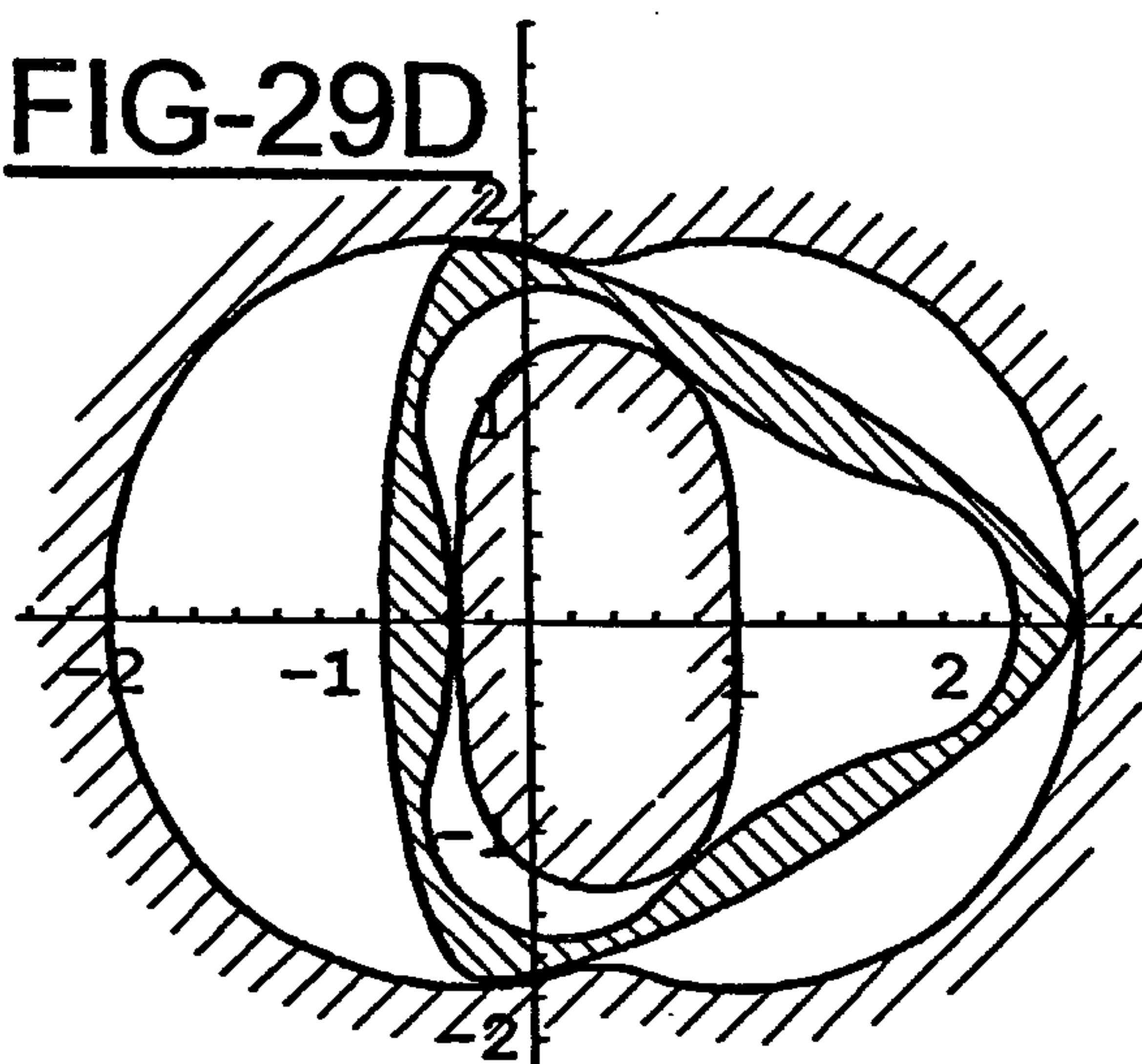
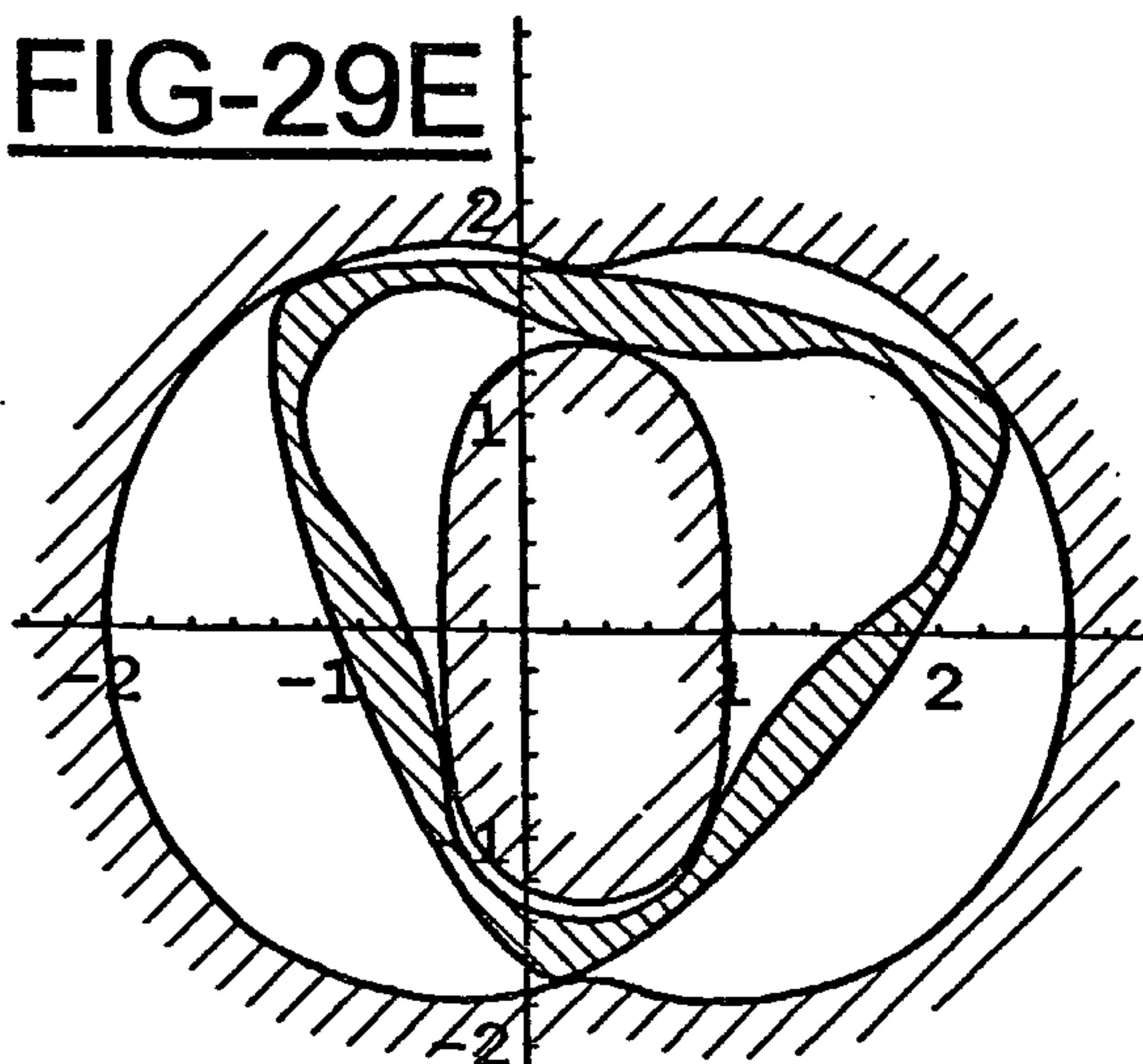
17/19

FIG-27AFIG-27B

18/19

FIG-28AFIG-28BFIG-28CFIG-28DFIG-28EFIG-28F

19/19

FIG-29AFIG-29BFIG-29CFIG-29DFIG-29EFIG-29F