



*A holistic framework
for **Empowering SME's**
capacity to increase
their energy **efficiency***

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ

***Ενεργειακή αποδοτικότητα και βιωσιμότητα σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις
(ΜμΕ) για ενεργειακούς διαχειριστές και ειδικούς στην ενέργεια***



POWER SYSTEMS LABORATORY
ARISTOTLE UNIVERSITY OF
THESSALONIKI



Ποιότητα Ισχύος-Αρμονική Παραμόρφωση τάσης και ρεύματος

Χαρης Δημουλιας, Δρ. Ηλεκτρολόγος-Μηχανικός
Καθηγητής ΤΗΜΜΥ, ΑΠΘ

ΗΗ/ΜΜ/ΕΕ



Το έργο αυτό χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας χρηματοδότησης υπ' αριθ. 847132

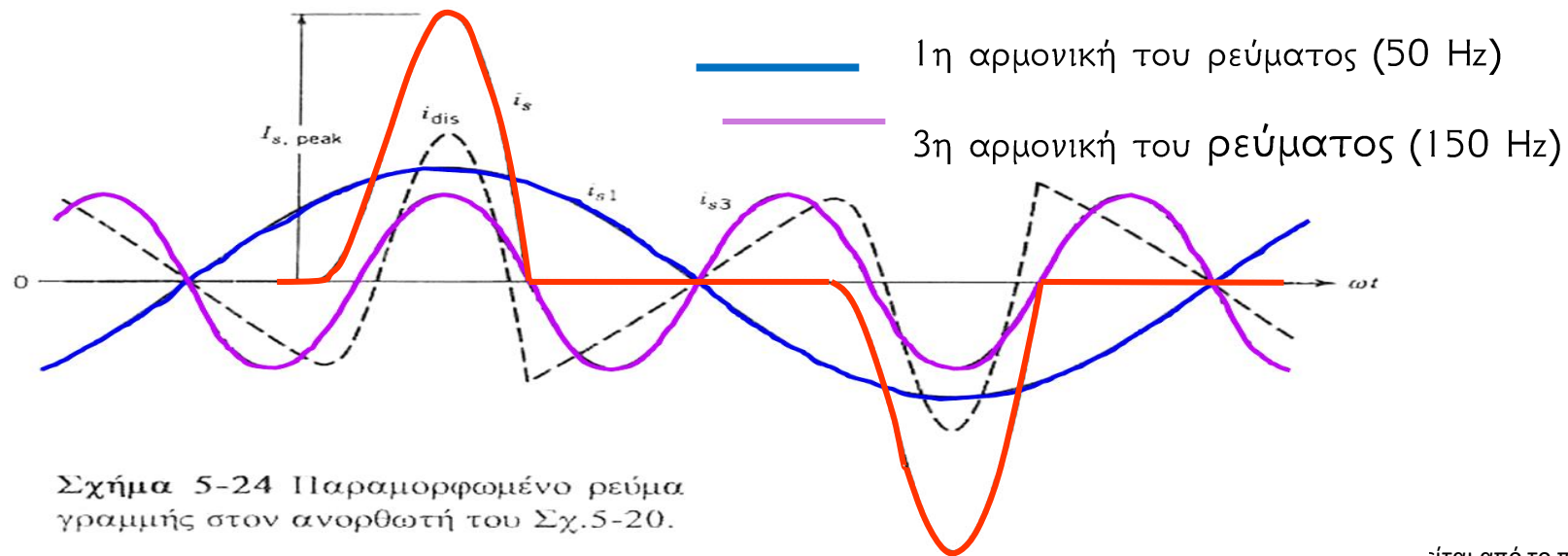
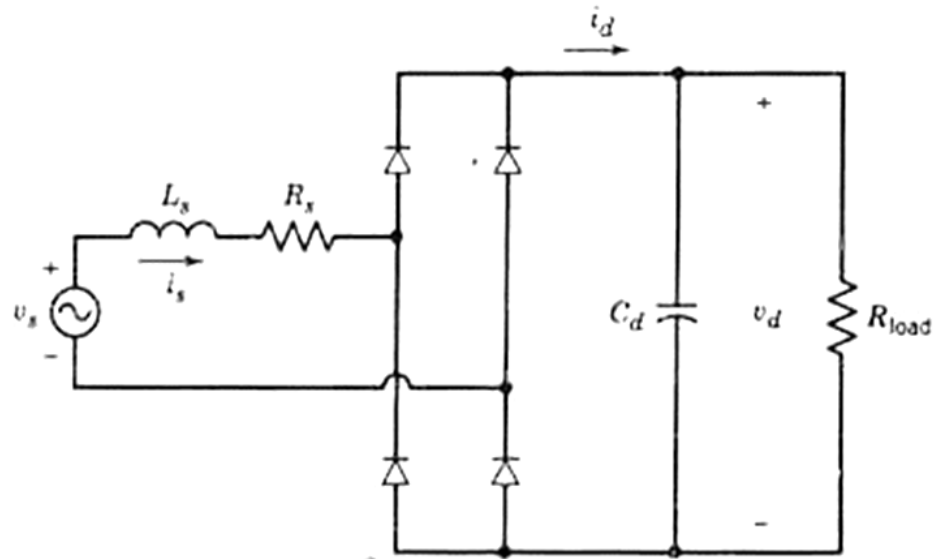
Η χρήση μετατροπών με ηλεκτρονικά ισχύος μεταξύ του μετατροπέα και της πηγής έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα αυτό να φαίνεται σαν **μη γραμμικό φορτίο**.

Τα μη γραμμικά φορτία απορροφούν από το δίκτυο εν γένει μη ημιτονοειδή ρεύματα. Τα μη ημιτονοειδή ρεύματα ισοδυναμούν με άθροισμα ημιτονοειδών ρευμάτων με διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες είναι συνήθως ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους (50 Hz).

Συνηθισμένα μη γραμμικά φορτία είναι :

- Οι ρυθμιστές στροφών κινητήρων
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις
- Ανορθωτές
- UPS
- Ηλεκτρονικά ballast
- Λαμπτήρες εκκένωσης, και LED
- Τροφοδοτικά υπολογιστών
- **Επαγωγικοί φούρνοι**

Τυπική Ανορθωτική διάταξη στο τροφοδοτικό του Υπολογιστή



Σχήμα 5-24 Παραμορφωμένο ρεύμα γραμμής στον ανορθωτή του Σχ.5-20.

- Η παραμόρφωση του ρεύματος ορίζεται από την σχέση:

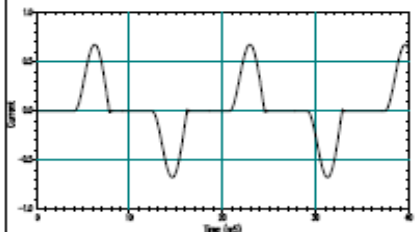
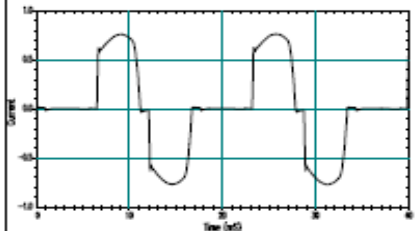
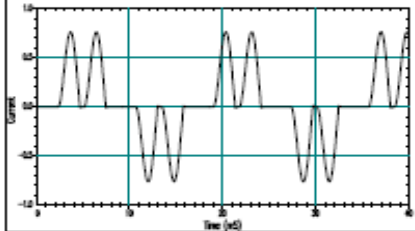
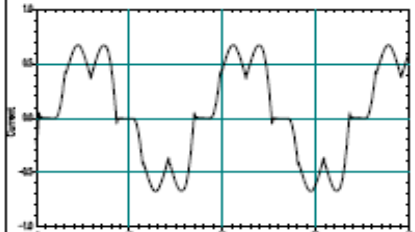
$$THD_i \% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1}$$

όπου I_h είναι η rms τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h

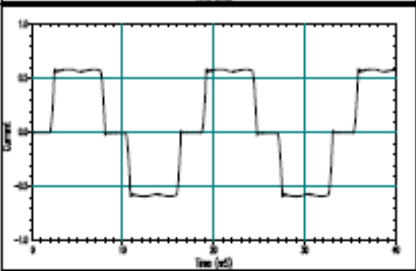
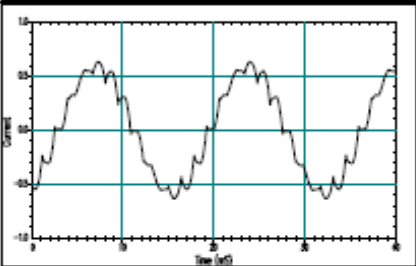
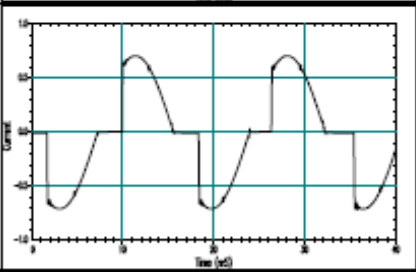
και I_1 , είναι η rms τιμή του ρεύματος της πρώτης (βασικής) αρμονικής.

- Οι αρμονικές ρεύματος σε συνδυασμό με τις σύνθετες αντιδράσεις των καλωδίων δημιουργούν αρμονική παραμόρφωση της τάσης.
- Εάν η τάση παραμορφωθεί, τότε ακόμη και γραμμικά φορτία θα απορροφούν παραμορφωμένο ρεύμα.

Τυπικές Κυματομορφές ρεύματος μη γραμμικών φορτίων

Τύπος φορτίου	Τυπική κυματομορφή	Παραμόρφωση ρεύματος, THD_i
Μονοφασικό τροφοδοτικό		80% (υψηλή 3 ^η αρμονική)
Ημιανορθωτής		Υψηλή 2 ^η , 3 ^η , 4 ^η σε μερικό φορτίο
Ανορθωτής 6 παλμών, με χωρητική εξομάλυνση, χωρίς πηνίο σειράς		80%
Ανορθωτής 6 παλμών, με χωρητική εξομάλυνση, με πηνίο σειράς > 3%, ή τροφοδοσία dc κινητήρα		40%

Τυπικές Κυματομορφές ρεύματος μη γραμμικών φορτίων

<p>Ανορθωτής 6 παλμών, με μεγάλο πηγίο για εξομάλυνση ρεύματος</p>		<p>28%</p>
<p>Ανορθωτής 12 παλμών</p>		<p>15%</p>
<p>Ρυθμιστής ac τάσης</p>		<p>Ανάλογα με την γωνία έναυσης</p>
<p>Λαμπτήρες φθορισμού</p>		<p>17%</p>

Προβλήματα που δημιουργούν οι αρμονικές

- Μείωση του $\cos\phi$ – Αυξημένες απώλειες στα καλώδια
- Συντονισμός-Καταστροφή πυκνωτών και μετασχηματιστών
- Αρμονική παραμόρφωση τάσης-Αύξηση απωλειών σε κινητήρες
- Παρεμβολές σε κυκλώματα ελέγχου και τηλεπικοινωνιών

Μείωση του cosφ – Αυξημένες απώλειες στα καλώδια



- Οι αρμονικές του ρεύματος δεν μεταφέρουν ενεργό ισχύ αλλά συντελούν στην αύξηση της άεργης ισχύος.
- Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερο ρεύμα για μία δεδομένη ενεργό ισχύ.
- Έτσι οι αρμονικές αυξάνουν τις απώλειες ενέργειας στα καλώδια, και στους μετασχηματιστές.



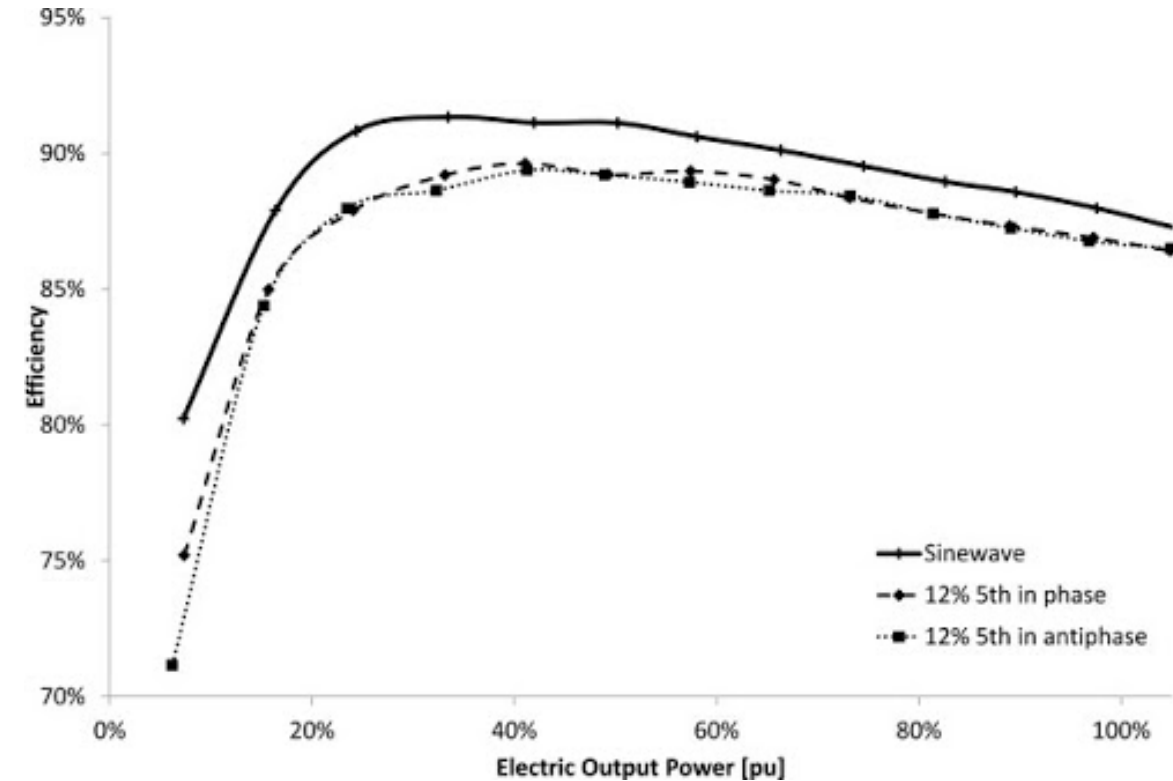
Οι πυκνωτές αντιστάθμισης σε συνδυασμό με τις αυτεπαγωγές σκέδασης κυρίως των μετασχηματιστών αλλά και των καλωδίων δημιουργούν παράλληλα LC κυκλώματα.

Το παράλληλο LC κύκλωμα έχει μία συχνότητα συντονισμού.

Εάν ένα τέτοιο κύκλωμα τροφοδοτηθεί με ρεύμα συχνότητας ίσης με την συχνότητα συντονισμού του τότε το κύκλωμα συντονίζεται με θεωρητικό αποτέλεσμα την δημιουργία άπειρης τάσης στους ακροδέκτες του κυκλώματος (στην συγκεκριμένη περίπτωση στους ακροδέκτες των πυκνωτών και των μετασχηματιστών) και πολύ μεγάλα ρεύματα τα οποία κυκλοφορούν μέσα στον βρόγχο πυκνωτής-μετασχηματιστής.

Αρμονική παραμόρφωση τάσης-Αύξηση απωλειών σε κινητήρες

- Οι αρμονικές ρεύματος καθώς ρέουν στα καλώδια δημιουργούν αντίστοιχες πτώσεις τάσης. Εάν η σύνθετη αντίδραση του καλωδίου είναι μεγάλη τότε δημιουργείται και παραμόρφωση της τάσης με αρμονικές. Αυτή η παραμορφωμένη τάση επιβάλλεται και σε γραμμικά φορτία, όπως οι κινητήρες. Σε αυτές τις περιπτώσεις αυξάνονται οι απώλειες σιδήρου των κινητήρων.
- Επιπλέον ορισμένες αρμονικές όπως η 5^η, 11^η, 17^η, κλπ, δημιουργούν αντίστροφα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στους κινητήρες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αντίστροφες ροπές σε αυτούς, το οποίο ισοδυναμεί με πέδησή τους. Αυτά γίνονται αντιληπτά σαν υπερθέρμανση των κινητήρων, η οποία βαθμιαία οδηγεί σε γήρανση της μόνωσής των και τελικά συχνή αλλαγή της.
- Στατιστικά, εάν η αρμονική παραμόρφωση της τάσης ενός επαγωγικού κινητήρα είναι 5%, οι απώλειές του αυξάνονται κατά 1%



- Σε ορισμένες περιπτώσεις η παραμόρφωση της τάσης μπορεί να επεκταθεί μέχρι και το σημείο σύνδεσης της βιομηχανίας με τον Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΔ), οπότε ενδεχομένως να υπάρχουν ανάλογες κυρώσεις για μόλυνση του δικτύου. (Σύμφωνα με την οδηγία 120 της ΔΕΗ, η ανοχή στην παραμόρφωση της τάσης μπορεί να είναι από 0.5%-6% αναλόγως του μεγέθους της αρμονικής.)
- Οι αρμονικές μεγάλης συχνότητας δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών και ειδικά σε βιομηχανικούς χώρους στη λειτουργία των διαφόρων ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου (προβλήματα στα PLC, λανθασμένες εντολές ελέγχου, κλπ). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των νεκρών χρόνων από δυσλειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων, και επομένως, αύξηση του κόστους συντήρησης.

Όρια αρμονικής παραμόρφωσης -Πρότυπα

Λόγω των ανωτέρω προβλημάτων έχει δημιουργηθεί το πρότυπο **IEEE-519** το οποίο έχει εφαρμογή στις Η.Π.Α. και καθορίζει τα παρακάτω όρια αρμονικών ρεύματος στο σημείο σύνδεσης μίας βιομηχανίας με τον αντίστοιχο ΔΔ.

$$TDD\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_L}$$

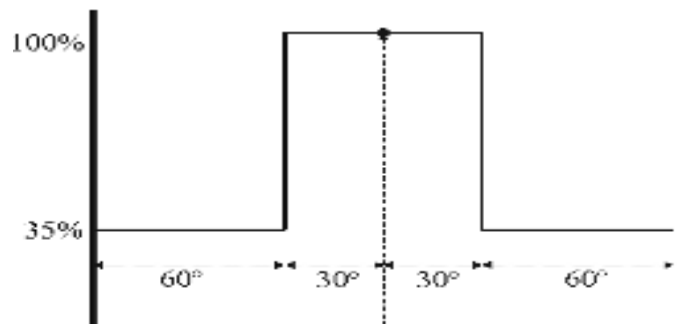
h : είναι η τάξη της αρμονικής

I_L : είναι το μέσο μέγιστο ρεύμα που απορροφά ή βιομηχανία

I_{sc} : είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο σημείο σύνδεσης της βιομηχανίας με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Επιτρεπτά όρια αρμονικών ρεύματος (σαν ποσοστό της βασικής αρμονικής) για τάση τροφοδότησης $V_n \leq 69$ kV						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

- **Class A:** 3ρη εξοπλισμός, κινητήρες, και γενικά εξοπλισμός που δεν εμπίπτει στις προηγούμενες κλάσεις. Χονδρικά περιλαμβάνει εξοπλισμό μεγάλης ισχύος.
- **Class B:** Φορητά Ηλεκτρικά φορτία
- **Class C:** Συσκευές φωτισμού και dimming
- **Class D:** Συσκευές με ειδική κυματομορφή ρεύματος. Το ρεύμα έχει την μορφή παλμών.



Ενεργειακή αποδοτικότητα και βιωσιμότητα σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (ΜμΕ) για ενεργειακούς διαχειριστές και ειδικούς στην ενέργεια

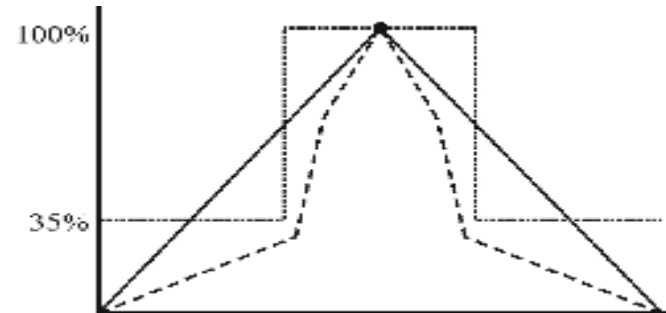


TABLE 5.25 Current Limits According to IEC 61000-3-2

Order	Relative Limit (mA/W)	Absolute Limit (A)
2		1.08
3	3.4	2.30
4		0.43
5	1.9	1.14
6		0.30
7	1.0	0.77
8–40		0.23 (8/n)
9	0.5	0.4
11	0.35	0.33
13	0.30	0.21
15 and above	3.85/n	2.25/n

class A: Ισχύουν οι απόλυτες τιμές

class D: Ισχύουν και οι δύο τιμές. Οι σχετικές τιμές ισχύουν για ισχείς έως 600 W.

class B: Ισχύουν οι απόλυτες τιμές επι 1.5.

Τα όρια για άρτιες αρμονικές ισχύουν για την Class A μόνον.
Για τις άλλες κλάσεις πρέπει να είναι μηδέν!

TABLE 5.26 Current Limits for Lighting Equipment According to IEC 61000-3-2

Harmonic	Current Limit
2	2%
3	Power factor times 30%
5	10%
7	7%
9	5%
11, 13, 15, . . . , 39	3%

TABLE 5.27 Emission Limits for Large Equipment According to IEC 61000-3-4

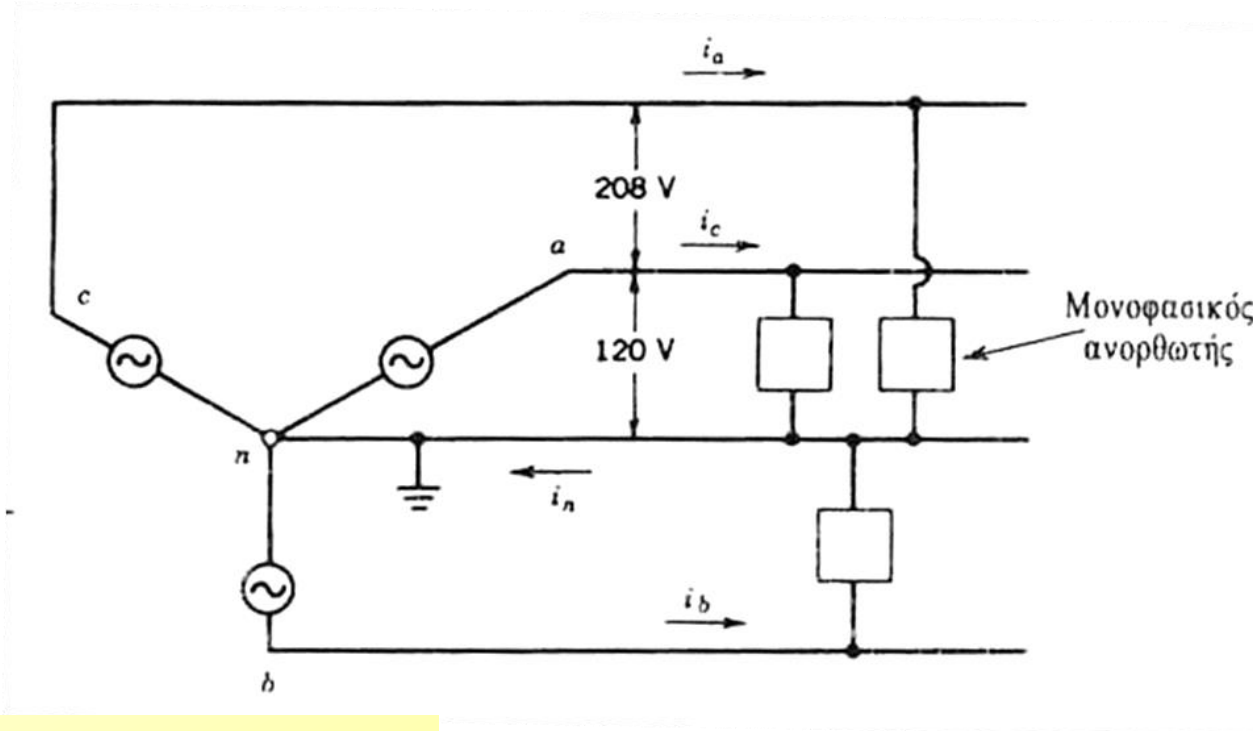
Short-Circuit Ratio	Third	Fifth	Seventh	Ninth	Eleventh	Thirteenth
>33	21.6%	10.7%	7.2%	3.8%	3.1%	2%
>66	23%	11%	8%	6%	5%	4%
>120	25%	11%	10%	7%	6%	5%
>175	29%	14%	11%	8%	7%	6%
>250	34%	18%	12%	10%	8%	7%
>350	40%	24%	15%	12%	9%	8%
>450	40%	30%	20%	14%	12%	10%
>600	40%	30%	20%	14%	12%	10%

Αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργούν οι αρμονικές

- Η αντιμετώπιση του προβλήματος των αρμονικών ρεύματος γίνεται με την εγκατάσταση κατάλληλων φίλτρων.
- Τα φίλτρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα ενεργά φίλτρα και τα παθητικά φίλτρα.
- Τα ενεργά φίλτρα είναι ιδιαίτερα αποδοτικά στην αντιμετώπιση των αρμονικών αλλά έχουν πολύ μεγάλο κόστος. Τα παθητικά φίλτρα απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό για να γίνουν αποτελεσματικά αλλά έχουν μικρότερο κόστος.



ΡΕΥΜΑ ΤΟΥ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΣΕ 3ΦΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, 4 ΑΓΩΓΩΝ



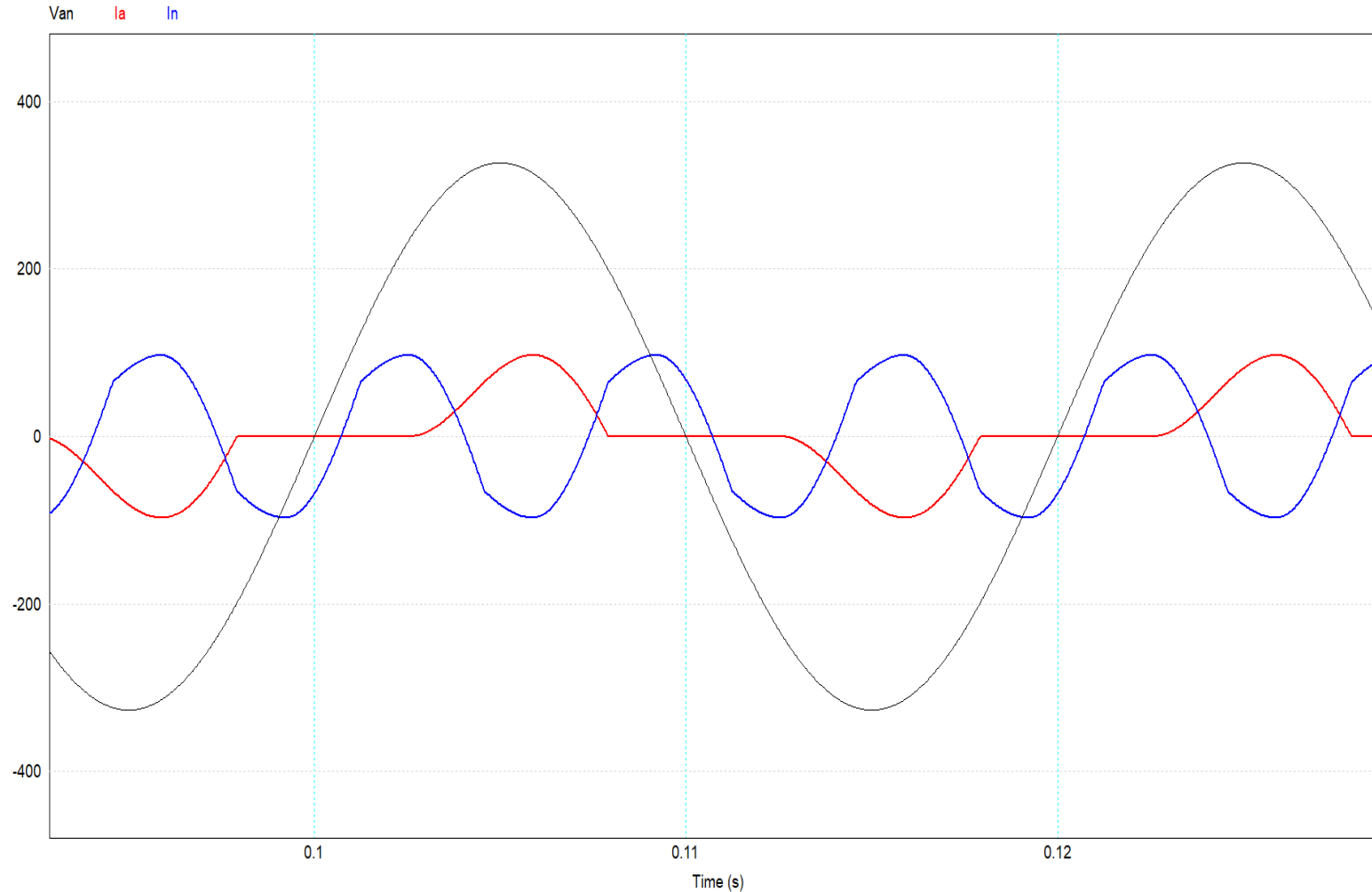
$$i_n = i_a + i_b + i_c$$

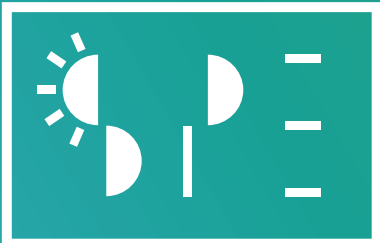
$$i_n = 3 \sum_{h=3(2k-1)}^{\infty} \sqrt{2} I_{sh} \sin(\omega_h t - \phi_h)$$

$$I_n = 3 \sqrt{\sum_{h=3(2k-1)}^{\infty} I_{sh}^2}$$

Ρεύματα στην φάση και στον ουδέτερο αγωγό σε συμμετρικά κυκλώματα με τροφοδοτικά υπολογιστών

Η rms τιμή του ρεύματος του ουδέτερου μπορεί να γίνει και $\sqrt{3}$ φορές την rms τιμή του ρεύματος φάσης.





SME
mPower
Efficiency

Ευχαριστούμε!



POWER SYSTEMS LABORATORY
ARISTOTLE UNIVERSITY OF
THESSALONIKI

ΑΚΟΛΟΥΘΗΣΤΕ ΜΑΣ

f SMePower H2020

🐦 @SmeH2020

in SMePOWER Energy Efficiency



www.smempower.com



Το έργο αυτό χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας χρηματοδότησης υπ' αριθ. 847132